

BA&D

BAHIA ANÁLISE & DADOS

Energias Renováveis



BA&D

BAHIA ANÁLISE & DADOS

Governo do Estado da Bahia

Rui Costa dos Santos

Secretaria do Planejamento

João Felipe de Souza Leão

Secretaria de Infraestrutura

Marcus Benício Foltz Cavalcanti

Superintendência de Energia e Comunicações

Celso Reinaldo Cavalcante Rodrigues

Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia

Eliana Maria Santos Boaventura

Diretoria de Informações Geoambientais

Cláudio Emílio Pelosi Laranjeira

Coordenação de Recursos Naturais e Ambientais

Aline Pereira Rocha

Coordenação de Disseminação de Informações

Augusto Cezar Pereira Orrico

Coordenação de Biblioteca e Documentação

Eliana Marta Gomes Silva Sousa

Editoria-Geral

Elisabete Cristina Teixeira Barretto

Editoria Adjunta

Aline Pereira Rocha, Edmundo Sá Barreto Figueirôa,
Guillermo Javier Pedreira Etkin, Lucigleide Nery Nascimento,
Pedro Marques de Santana

Conselho Editorial

Ângela Borges, Ângela Franco, Ardemirio de Barros Silva, Asher Kiperstok, Carlota Gottschall, Carmen Fontes de Souza Teixeira, Cesar Vaz de Carvalho Junior, Edgard Porto, Edmundo Sá Barreto Figueirôa, Eduardo L. G. Rios Neto, Eduardo Pereira Nunes, Elsa Sousa Krachete, Inaiá Maria Moreira de Carvalho, José Geraldo dos Reis Santos, José Ribeiro Soares Guimarães, Laumar Neves de Souza, Lino Mosquera Navarro, Luiz Mário Ribeiro Vieira, Luiz Filgueiras, Moema José de Carvalho Augusto, Mônica de Moura Pires, Nádia Hage Fialho, Nadya Araújo Guimarães, Oswaldo Guerra, Renato Leone Miranda Leda, Rita Pimentel, Tereza Muricy de Abreu, Vitor de Athayde Couto

Coordenação Editorial

Aline Pereira Rocha, Rita Pimentel

Coordenação de Produção Editorial

Elisabete Cristina Teixeira Barretto

Editoria de Arte e de Estilo

Ludmila Nagamatsu Dias

Assistência de Produção

Marília Gabriela Magalhães Almeida

Revisão de Linguagem

Laura Dantas

Design Gráfico e Web

Julio Vilela, Vinícius Luz

Web Developer

Ingrid Souza Pinheiro

Editoração

Autor Visual / Perivaldo Barreto

Capa

Julio Vilela

Normalização

Isabel Dino Almeida, Patrícia Fernanda Assis da Silva

Impressão

EGBA - Tiragem: 100 exemplares

A *Bahia Análise & Dados* é uma publicação semestral da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), autarquia vinculada à Secretaria do Planejamento do Estado da Bahia. Todos os números podem ser visualizados no site da SEI (www.sei.ba.gov.br) no menu "Publicações". Os artigos publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista da SEI. É permitida a reprodução total ou parcial dos textos desta revista, desde que a fonte original seja creditada de forma explícita. Esta publicação está indexada na *Library of Congress*, *Ulrich's International Periodicals Directory* e no sistema Qualis da Capes.

Bahia Análise & Dados, v. 1 (1991-)
Salvador: Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, 2018.
v.27
n. 1
Semestral
ISSN 0103 8117

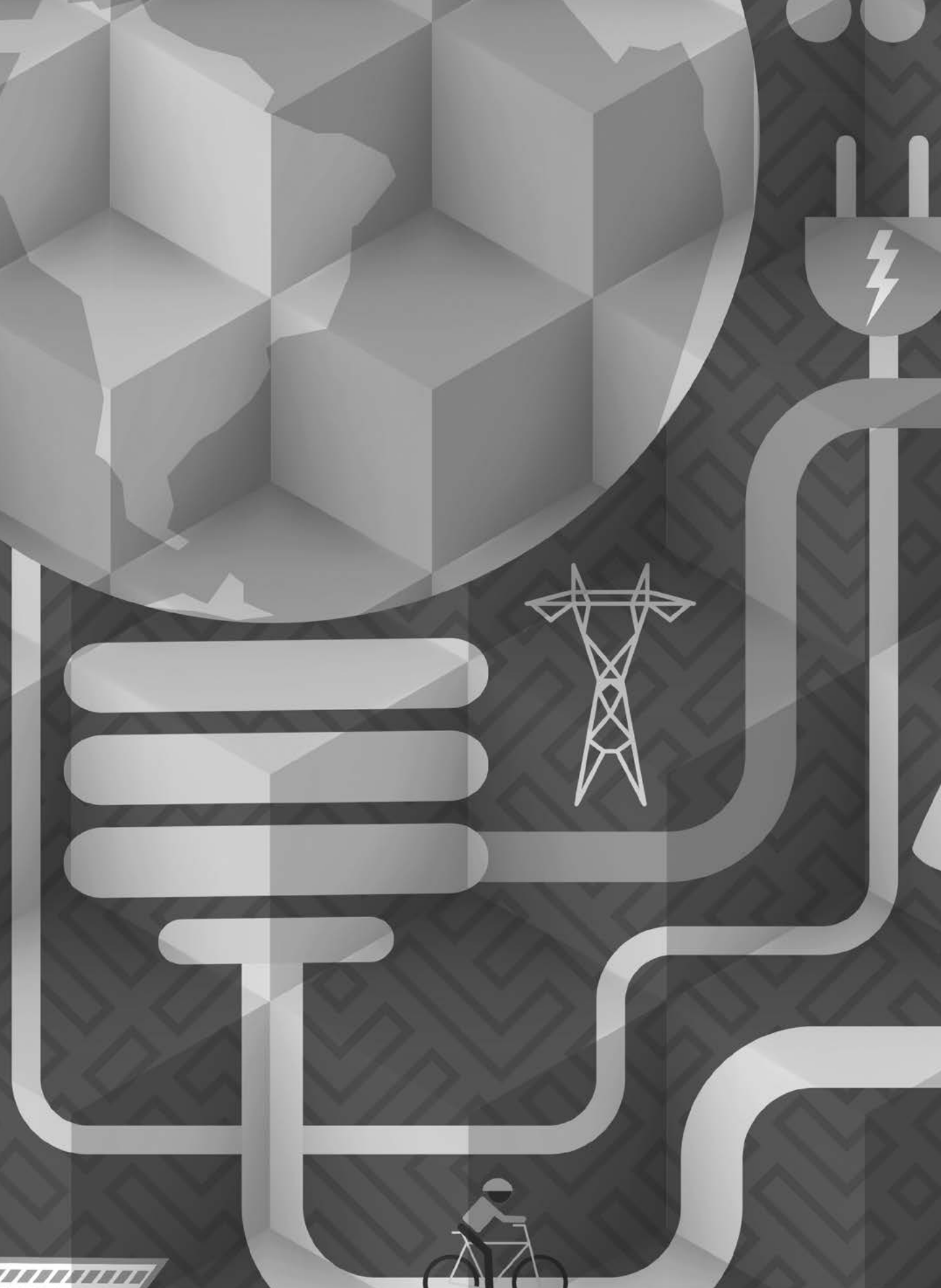
CDU 338 (813.8)



Estado da Bahia

Av. Luiz Viana Filho, 4ª Avenida, 435, CAB
Salvador (BA) Cep: 41.745-002
Tel.: (71) 3115 4822 Fax: (71) 3116 1781
www.sei.ba.gov.br sei@sei.ba.gov.br

Apresentação	05	Biomassa torrefeita: um novo combustível para a indústria	205
Análise comparativa do balanço energético da energia solar (fotovoltaica e termossolar)	07	JOSÉ AIRTON DE MATTOS CARNEIRO JUNIOR CARINE TONDO ALVES EDNILDO ANDRADE TORRES	
PASCOAL DO SACRAMENTO ARAÚJO JÚNIOR			
Geração de energia elétrica por fonte eólica: como atua o licenciamento ambiental no estado da Bahia	29	Energias renováveis: potencialidades e desafios da produção de biodiesel na Bahia	231
THIAGO AWAD PRUDENTE JOSÉ ÂNGELO SEBASTIÃO ARAÚJO DOS ANJOS		JOSÉ ANTONIO LOBO DOS SANTOS CLEIDE DAIANE SOUSA DA CRUZ	
Aplicação do modelo de competitividade FE-CAPBIO na análise do marco regulatório do biodiesel no Brasil	51	Desafios da gestão dos usos múltiplos da água para atendimento energético ante a crise hídrica da bacia hidrográfica do Rio São Francisco Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)	259
MARCELO SANTANA SILVA EDNILDO ANDRADE TORRES FÁBIO MATOS FERNANDES		ALESSANDRA M. L. BARROS LUANA F. G. PAIVA SAULO J. N. CISNEIROS	
Geração de renda e energia em Juazeiro (BA): contribuições da Resolução Aneel nº 4.385/2013 para inserção da energia solar na matriz elétrica	71	Estudo de viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos (FV) para bombeamento de água, com base nas experiências dos estados do Ceará, de Pernambuco e da Bahia	281
FELIPE BARROCO FONTES CUNHA EDNILDO ANDRADE TORRES MARCELO SANTANA SILVA		OSVALDO SOLIANO PEREIRA MARIA CRISTINA FEDRIZZI TEREZA MOUSINHO REIS	
Potencialidades e limitações para a expansão, em bases sustentáveis, da agroenergia na Bahia	101	Biomassa: oportunidades de geração de eletricidade no estado da Bahia	313
ROBERTO ANTÔNIO FORTUNA CARNEIRO LUÍS OSCAR MARTINS		EMANUELLA OLIVEIRA DIAS DANILO LAERT LAGO BRITO GABRIEL CARVALHO DÜRR PAULO ROBERTO FERREIRA DE MOURA BASTOS ARTHUR DE OLIVEIRA UCHOA	
Análise da viabilidade de microgeradores elétricos fotovoltaicos conectados à rede em uma residência de baixa renda em Salvador (BA)	123	Caracterização da biomassa da casca de coco para obtenção de energia	337
ANDERSON GOMES DE OLIVEIRA FRANCK DANTAS SANTOS		MARCELA MAGALHÃES MARCELINO SÍLVIO ALEXANDRE BEISL VIEIRA DE MELO EDNILDO ANDRADE TORRES	
Potencial e inserção de novas energias renováveis na matriz elétrica baiana para geração elétrica centralizada até 2050	145	Panorama da energia eólica na Bahia: uma radiografia de quatro anos (2012-2016)	357
JOSÉ ALEXANDRE FERRAZ DE ANDRADE SANTOS EDNILDO ANDRADE TORRES		ALDO DE FREITAS PINHEIRO JOÃO VICTOR BRICIDIO ARARIBA	
Implantação de parques eólicos no semiárido brasileiro e a promessa da geração de empregos	175		
MARIANA TRALDI			



Apresentação

A Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), autarquia vinculada à Secretaria do Planejamento, lança, em parceria com a Secretaria de Infraestrutura do Estado da Bahia (Seinfra), o volume 27, nº 1, da revista *Bahia Análise & Dados: Energias Renováveis*. O objetivo deste número é facilitar o intercâmbio de conhecimento e informação de alta qualidade, além de proporcionar o compartilhamento de dados, propiciar o desenvolvimento de políticas e estimular a ação conjunta em prol de uma rápida transição global para energias renováveis, abrindo novos caminhos que vão ao encontro da preservação do meio ambiente e da garantia de um futuro sustentável para todos.

Como uma das economias de baixo carbono do planeta, o Brasil firma-se no crescimento da produção e do uso de energias renováveis, suprimindo demandas cada vez mais exigentes e com previsão de atingir 50% de matriz energética sustentável, na qual se incluem a agroenergia (biomassa), a energia eólica e a fotovoltaica, sendo complementada com a energia hidroelétrica, esta última atualmente com maior capacidade instalada. A Bahia insere-se neste contexto, como pode ser verificado na diversidade temática dos artigos que compõem este número e nos vultosos investimentos no setor.

Os textos refletem pontos de vista de atores tanto do setor público como do privado; acadêmicos e pesquisadores mostram os avanços sobre as energias renováveis, no sentido de incentivar o aprimoramento das políticas regulatórias, do planejamento de longo prazo e da implementação de eficiência energética.

Como resultado, este número dispõe de 15 artigos que abordam os eixos temáticos propostos: o licenciamento ambiental, o Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB) e a agricultura familiar, a questão da eficiência energética, as bases sustentáveis da agroenergia, a matriz elétrica baiana e as novas fontes renováveis (energia eólica, solar fotovoltaica, bioeletricidade). A edição traz ainda uma abordagem sobre os usos múltiplos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, além do balanço sobre a energia eólica no estado da Bahia que a insere no cenário nacional como gerador de energia elétrica a partir da força dos ventos, dentre outros assuntos que enriquecem sobremaneira esta publicação.

Agradecemos a todos que, com sua inestimável colaboração, contribuíram para a produção deste número da *Bahia Análise & Dados*.

Resumo

Este artigo tem como objetivo estabelecer uma análise comparativa da eficiência energética de todo o processo produtivo nas energias renováveis do tipo solar (fotovoltaica e termossolar), utilizando-se o método da coleta dos dados secundários em artigos, livros e internet norteada pela ISO 14040 (2006), com duas análises, eficiência energética do ciclo de vida e relação de energia fóssil (output = input). Os resultados obtidos da EECV para o sistema fotovoltaico foi 1.068.120 MJ (- 2.679.234,06 KWh), e a do sistema termossolar - 64.451.216 MJ (- 24.253.758 KWh). A relação de energia fóssil (REF) foi de 84.996 MJ (2.993,61 KWh), em que o maior consumo energético está no processo de fabricação das partes integrantes ao sistema, e de - 825.330.589 MJ (- 239.968.132 KWh), com maior consumo no transporte dos equipamentos e peças de suporte, respectivamente.

Palavras-chave: Balanço energético. Energia solar fotovoltaica. Energia Termossolar.

Abstract

This article aims to establish a comparative analysis of the energy efficiency of the entire production process in solar-type renewable energies (photovoltaic and solar thermal), using the method of collecting secondary data in articles, books and the Internet guided by ISO 14040 (2006), with two analyzes, energy efficiency of the life cycle and relation fossil energy (output = input). The results obtained from EECV for the photovoltaic system were 1,068,120 MJ (- 2,679,234.06 KWh), and that of the thermosolar system - 64,451,216 MJ (- 24,253,758 KWh). The fossil energy ratio (REF) was 84.996 MJ (2,993.61 KWh), where the highest energy consumption is in the process of manufacturing the parts integral to the system, and - 825,330,589 MJ (- 239,968,132 KWh), with higher consumption in the transportation of equipment and support parts, respectively.

Keywords: Energy balance. Solar photovoltaic energy. Energy termosolar.

Análise comparativa do balanço energético da energia solar (fotovoltaica e termossolar)

PASCOAL DO SACRAMENTO
ARAÚJO JÚNIOR

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental e licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), especialista em Gestão Ambiental com ênfase em Gestão de Recursos Hídricos pela Universidade do Estado da Bahia (Uneb) e em Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono pela Universidade Salvador (Unifacs), especialista em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Secretaria do Meio Ambiente. Professor da Secretaria Estadual de Educação do Estado da Bahia. passac2020@gmail.com

RESPONSÁVEL pelo desenvolvimento e a manutenção da vida na Terra, o Sol pode ser visto, de acordo com a escala de tempo e os atuais níveis de consumo de energia, como uma fonte inesgotável. Todas as fontes de energia utilizadas hoje em escala significativa – exceto a nuclear e a geotérmica – são resultantes, direta ou indiretamente, do efeito da incidência da radiação solar sobre a superfície do planeta ao longo dos tempos (RIBEIRO, 2004). Pois, na busca de aproveitamento direto e eficaz da energia solar, diversas tecnologias vêm sendo estudadas para geração de eletricidade, podendo ocorrer de duas maneiras, uma indireta pelo uso do calor para gerar vapor que, expandido em uma turbina a vapor, acionará um gerador elétrico em uma central termelétrica (heliotérmica), e outra direta pelo uso de painéis fotovoltaicos (REIS, 2005).

Dessas duas tecnologias, a fotovoltaica é a que vem conquistando mais mercado nos últimos anos, representando 98% da capacidade instalada entre as duas fontes em 2014. A heliotérmica, por sua vez, por se tratar de uma planta termelétrica, apresenta maior inércia na geração, sendo menos suscetível às variações da irradiação.

A energia solar fotovoltaica é uma das alternativas consideradas pelo programa governamental Luz para Todos, que visa à universalização do acesso à energia elétrica (REIS, 2005)

Além disso, apresenta como vantagem a maior facilidade de funcionar com armazenamento ou em conjunto com outra fonte de *back up*, o que permite sua operação depois que o Sol se põe (REN21, 2015).

Estima-se que o Brasil possua atualmente cerca de 20 MW de capacidade de geração solar fotovoltaica instalada que, em sua maioria (99%), segundo a International Energy Agency (2011), se destina a projetos isolados e remotos, e a sistemas de suporte a antena de telefonia celular e a radares de trânsito. Segundo Reis (2005), isso ocorre devido ao seu elevado custo de instalação. A energia solar fotovoltaica é uma das alternativas consideradas pelo programa governamental Luz para Todos, que visa à universalização do acesso à energia elétrica (REIS, 2005). É neste contexto que, segundo Thomas e outros (1999), um sistema solar pode virtualmente ser dimensionado para suprir qualquer carga, apenas com a ressalva de que cada aplicação pode apresentar requisitos específicos. Basta que exista área suficiente para instalação dos coletores, radiação solar incidente e dinheiro. Sistemas integrados à rede elétrica implicam operações síncronas com a rede e baterias podem ser necessárias para armazenar a energia em sistemas à rede de distribuição ou para alimentar cargas em correntes alternadas (RIBEIRO, 2004).

Somente em 2012, essa modalidade de geração foi regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), através da Resolução Normativa nº 482 (BRASIL, 2012), que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e o sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*). Ao final de 2015, havia o registro de 1.675 sistemas fotovoltaicos conectados sob o regime da REN 482, somando 13,4 MW (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

Um marco da entrada da energia fotovoltaica em grande escala no território brasileiro foi promovido pelo Ministério do Meio Ambiente (MME), com o Leilão de Energia de Reserva de 2014, garantindo a contratação de 890 MW de energia fotovoltaica. Em relação à energia heliotérmica, também foi incluída em alguns leilões de energia nova. No entanto, até 2015 nenhuma usina com essa tecnologia havia sido contratada (TOLMASQUIM, 2016).

Porém, do ponto de vista estratégico, o Brasil possui uma série de características naturais favoráveis, tais como, altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, produtos estes de alto valor agregado. Tais fatores potencializam a atração de investidores e o desenvolvimento de um mercado interno, permitindo que se vislumbre um papel im-

portante na matriz elétrica para este tipo de tecnologia. Neste sentido, reconhecendo as suas vantagens, mas também os seus desafios, cabe ao Estado, em sua função de planejador, encontrar os meios de incentivar a tecnologia solar para que esta possa contribuir para o objetivo nacional de desenvolvimento econômico e de sustentabilidade da matriz energética. Dentre os instrumentos disponíveis, encontram-se modelos de contratação, modelos de financiamento, incentivos via desoneração tributária ou mesmo ofertas de tarifas-prêmio para determinadas tecnologias (TOLMASQUIM, 2012).

Na busca de aproveitamento direto e eficaz da energia solar, diversas tecnologias vêm sendo estudadas, uma delas leva em conta os índices de radiação solar, a oferta de água e a possibilidade de conexão ao sistema elétrico. Para isto, torna-se necessário avaliar os possíveis impactos provenientes desta fonte alternativa de energia, sendo necessário estabelecer um comparativo acerca de sua eficiência energética. Deste modo, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) visa fomentar um entendimento das causas e tipos de impactos ambientais relacionados aos produtos ou serviços, facilitando, assim, a tomada de decisão (UDO DE HAES et al., 2002). Possibilita ainda estudar os aspectos e impactos ambientais ao longo da vida de um produto, desde a extração de recursos naturais, passando por produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem e disposição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Notoriamente, nenhuma produção de energia ou tecnologia de conversão é realizada sem riscos ou resíduos. Em algum ponto de toda a cadeia energética, desde a extração de recursos até a provisão de serviços de energia, poluentes são produzidos, emitidos ou dispostos (HOLDREN; SMITH, 2000). Neste contexto, a metodologia de ACV, estabelecida pela Organização Internacional para Normatização (*International Organization for Standardization*), tem-se destacado como um instrumento apropriado para fornecer as informações necessárias de apoio à tomada de decisões relacionadas à sustentabilidade, ao avaliar os impactos ambientais de todas as fases de uma atividade industrial, desde a aquisição de matéria-prima até sua disposição final (UTIGKAR; THIESEN, 2006).

Portanto, esta análise utilizará o inventário do ciclo de vida para quantificar a demanda total de energia e as eficiências energéticas relativas aos processos e produtos (ANGARITA et al., 2008). Entender a necessidade energética do ciclo de vida da energia solar é a chave para compreender se as matrizes fotovoltaica e termossolar são fontes renováveis de energia. Por isso, este trabalho objetiva estabelecer um comparativo da eficiência energética de todo o processo produtivo das energias renováveis do tipo solar (fotovoltaica e termossolar) para geração de 30

Na busca de aproveitamento direto e eficaz da energia solar, diversas tecnologias vêm sendo estudadas, uma delas leva em conta os índices de radiação solar, a oferta de água e a possibilidade de conexão ao sistema elétrico

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo que o módulo fotovoltaico é a unidade básica de todo o sistema

MW de energia elétrica, facilitando a tomada de decisão de qual modelo pode melhor ser empregado para contribuir com a diversificação da matriz energética nacional.

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo que o módulo fotovoltaico é a unidade básica de todo o sistema. O módulo é composto por células conectadas em arranjos que produzem tensão e corrente suficientes para a utilização da energia. O número de células conectadas em um módulo, com arranjos que podem ser em série e/ou paralelo, depende da tensão de utilização e da corrente elétrica desejada. Para tanto é indispensável que se utilize um inversor que deve satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que não degrade a qualidade do sistema no qual se interliga o arranjo fotovoltaico.

Célula fotovoltaica - A conversão da energia solar em energia elétrica ocorre a partir da utilização de material semicondutor como elemento transformador, obtido pelo Processo Verde de Produção de Silício, através da utilização de insumos energéticos totalmente renováveis, o que garante um balanço favorável de carbono, com captura e armazenamento de CO₂ em todas as etapas. Atualmente, no Brasil, não existe a purificação de silício até o grau solar em nível comercial. Algumas empresas e grupos acadêmicos vêm desenvolvendo, em nível laboratorial, o processo de purificação através da rota térmica, ou metalúrgica, que envolve menor consumo de insumos energéticos, com resultados positivos sobre o custo final.

A produção de silício de grau metalúrgico, com 99% de pureza, consiste na mineração de formações rochosas, na forma de cristais de quartzo de alta pureza, e envolve elevados níveis de investimento e preparo técnico. Para a obtenção do silício de grau metalúrgico é necessário reduzir, em fornos elétricos, os cristais de quartzo, fazendo-os reagir com substâncias ricas em carbono, como carvão mineral ou vegetal. Para a obtenção do silício de grau solar existem duas diferentes rotas tecnológicas: a rota química ou tradicional, e a rota térmica ou metalúrgica.

As células fotovoltaicas podem ser constituídas de *wafers* ('fatias') de cristais de silício monocristalinos ou policristalinos. Os primeiros são cristais homogêneos, que resultam em células de alto rendimento energético, de produção mais difícil e mais cara. Já os policristalinos são peças com mais imperfeições, resultantes de mais de uma formação cristalina e, portanto, representam a parcela mais acessível de células solares. A principal tecnologia utilizada para a ob-

tenção do silício policristalino é a técnica de Bridgman, que envolve a fundição e a cristalização do lingote de silício de forma direcional em uma câmara.

A *wafers* obtida passa por um processo sequencial em que recebe a formatação final na célula fotovoltaica. Neste ponto, a célula é testada e incorporada ao módulo, que é montado usualmente na própria unidade de produção da célula, ou em unidades menores, próximas do mercado consumidor.

Os módulos fotovoltaicos protegem as células solares – que são conectadas em série, e às vezes também em paralelo, por pequenas tiras metálicas que fornecem também contatos externos –, encapsulando-as em materiais plásticos, normalmente EVA (acetato de vinil-etila). O lado exposto ao Sol é coberto com vidro temperado e antirreflexivo, e a parte posterior, revestida com plástico Tedlar®, vidro ou outro substrato. Uma caixa de junção é localizada normalmente na parte posterior do módulo, que, finalmente, é emoldurado com uma estrutura de alumínio anodizado, que lhe dá rigidez e proteção contra as intempéries.

Inversores – São dispositivos elétricos ou eletromecânicos capazes de converter um sinal elétrico CC (corrente contínua) variável produzido pelos módulos em sinal elétrico CA (corrente alternada), em tensão adequada (a mesma da rede elétrica) e com frequência e formato de onda o mais próximo da corrente da rede elétrica, no caso de sistemas interligados.

Cabos – São dimensionados de forma a reduzirem as perdas de potência nas instalações em função da distância entre as cadeias dos módulos fotovoltaicos e o inversor, tensão e/ou corrente. No lado da corrente contínua, os cabos geralmente têm seção transversal pequena, tipicamente entre 2,5 mm² e 10 mm². Entre os módulos e os inversores e entre os inversores e o quadro de força devem existir esquemas de proteção, que são disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos atmosféricos (DPS), chaves seccionadoras etc., empregados para proteger e isolar o sistema fotovoltaico para execução de reparos ou manutenção.

Controladores de carga – São dispositivos eletrônicos que operam a corrente contínua com a função primordial de administrar a carga e a descarga das baterias.

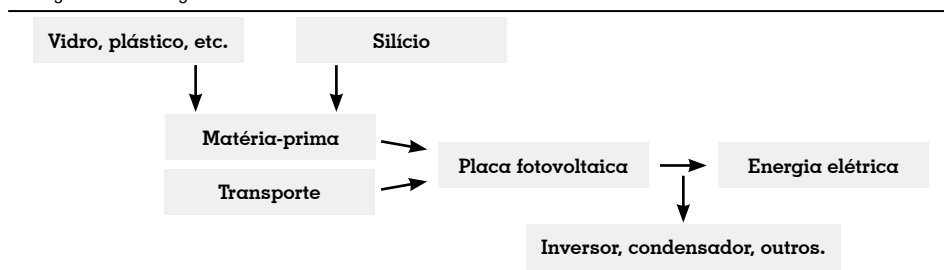
Estrutura de suporte – Normalmente são estruturas metálicas (alumínio anodizado ou aço inox) utilizadas para a fixação dos módulos nos telhados ou no solo.

A principal tecnologia utilizada para a obtenção do silício policristalino é a técnica de Bridgman, que envolve a fundição e a cristalização do lingote de silício de forma direcional em uma câmara

O princípio básico desta tecnologia é a utilização de uma superfície espelhada que reflete e concentra a irradiação solar direta num fluido que gera vapor d'água, que irá acionar o ciclo Rankine

Portanto, pode-se resumir o fluxo do processo na Figura 1:

Figura 1
Fluxograma da energia solar fotovoltaica



Fonte: Elaboração própria.

ENERGIA SOLAR TERMOSSOLAR

O princípio básico desta tecnologia é a utilização de uma superfície espelhada que reflete e concentra a irradiação solar direta num fluido que gera vapor d'água, que irá acionar o ciclo Rankine. As principais configurações de usinas termossolares são os concentradores cilíndrico-parabólicos (calhas) que focalizam o fluido térmico, o qual absorverá a energia da radiação solar, sendo bombeado para os trocadores de calor, onde essa energia absorvida será utilizada para o aquecimento e a vaporização da água, a ser usada posteriormente para a geração de energia através do conjunto turbina/gerador.

As usinas termossolares necessitam de um volume considerável de água para refrigeração do sistema e limpeza dos helióstatos. Assim, as áreas com baixa taxa de nebulosidade (característica de locais áridos) são as ideais para a instalação desses sistemas, mas devem ter disponibilidade hídrica suficiente para o funcionamento da usina, condições que nem sempre se obtêm simultaneamente.

Concentradores cilíndrico-parabólicos (calhas) - São espelhos côncavos em que, na linha focal, passa um tubo absorvedor de calor por onde circula um fluido térmico. Esse fluido, normalmente óleo sintético, tem grande capacidade térmica e é aquecido à medida que escoar pelo tubo, também chamado de HTF (sigla do termo em inglês *Heat Transfer Fluid*); é bastante poluente e, em caso de vazamentos, pode ocasionar impactos ambientais ao redor da usina. Finalmente, o fluido escorre para um trocador de calor (gerador de vapor) onde se gera o vapor d'água pressurizado que aciona o ciclo Rankine. Para aumentar a eficiência e a absorção da energia solar, os concentradores, juntamente com o tubo absorvedor, giram em torno do próprio eixo acompanhando a inclinação do Sol ao longo do dia. Essa movimentação faz com que seja necessária a utilização de juntas flexíveis nos tubos absorvedores. Os concentradores solares analisados possuem índices de eficiência que variam de 22% a 25% de aproveitamento da energia solar incidente.

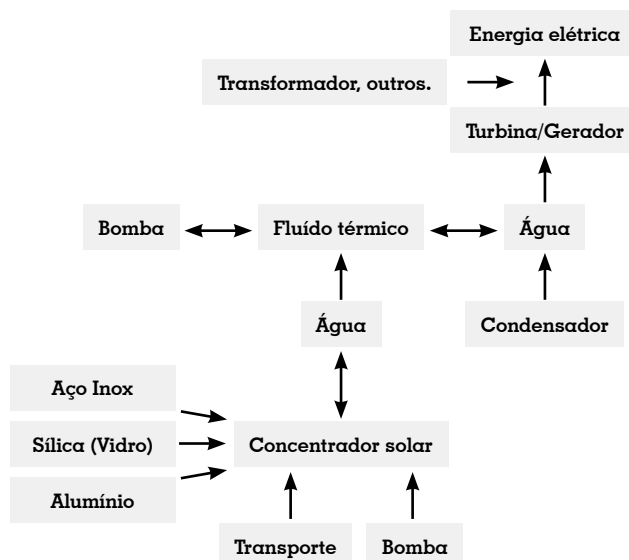
Outros componentes das usinas - Um conjunto turbogerador é constituído basicamente pelos seguintes equipamentos: 1) Turbina: responsável pela conversão termodinâmica da energia contida no vapor de alta pressão e temperatura em energia mecânica no seu eixo; 2) Redutor: responsável pela adequação da rotação nominal da turbina à velocidade síncrona do gerador; 3) Gerador: responsável pela conversão eletrodinâmica da energia mecânica do eixo da turbina em energia elétrica nos seus bornes; 4) Condensador: é um trocador de calor onde o vapor de exaustão da turbina é novamente convertido em água; 5) Torres de resfriamento: têm como função reduzir a temperatura da água de resfriamento que circula no condensador da turbina e em outros trocadores da central de geração, ou seja, é o elemento responsável pela rejeição de calor do sistema de geração para a atmosfera. A dissipação do calor nas torres é facilitada graças à forma construtiva destas, que possuem em seu interior um sistema de lâminas lisas que proporcionam uma distribuição uniforme da água, que cai por gravidade da parte superior das torres em contracorrente forçada com o ar puxado de baixo para cima por exaustores instalados no topo das mesmas; 6) Desaerador: é o equipamento responsável pela retirada de gases (O_2 e CO_2) dissolvidos na água oriunda do condensador da turbina, desempenhando, também, as funções de aquecimento da água de alimentação e de reservatório pulmão da caldeira. Sua operação garante o aumento da vida útil da caldeira, visto que toda tubulação estará menos sujeita à oxidação; 7) Água: serve para resfriamento das usinas, sendo que a vazão de circulação necessária para resfriamento é de $55 \text{ m}^3/\text{h}$ para cada ciclo Rankine fechado.

A dissipação do calor nas torres é facilitada graças à forma construtiva destas, que possuem em seu interior um sistema de lâminas lisas que proporcionam uma distribuição uniforme da água

Portanto, pode-se resumir o fluxo do processo na Figura 2:

Figura 2

Fluxograma da energia solar termossolar



A metodologia desta pesquisa baseia-se em análise de dados secundários em artigos, livros e internet, sendo inteiramente norteada pela série de normas ISO 14040

METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa baseia-se em análise de dados secundários em artigos, livros e internet, sendo inteiramente norteada pela série de normas ISO 14040 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), sobre sistema de produção, direta ou indiretamente, da energia solar, tendo como unidade funcional 30 MW de energia elétrica produzida pelas fontes fotovoltaica e termossolar, e vida útil de 30 anos, sendo utilizadas duas análises de tipos de eficiência energética (ANGARITA et al., 2008). A primeira, denominada de eficiência global ou “eficiência energética do ciclo de vida”. E a segunda é o que se define como “relação energia fóssil”, também conhecida como relação energia renovável-energia fóssil ou relação output/input (ANGARITA et al., 2008).

A eficiência energética do ciclo de vida é a simples relação entre a energia total do combustível (energia produzida)¹ e a energia primária total²:

$$\text{Eficiência energética do ciclo de vida} = \frac{\text{Energia produzida}}{\text{Energia primária total}}$$

A relação de energia fóssil ou output/input mostra se a fonte de energia é renovável ou não. É definida pela relação entre a energia final produzida e o total de energia gasta durante todo o processo³.

$$\text{Relação output/input} = \frac{\text{Energia produzida}}{\text{Energia gasta no processo}}$$

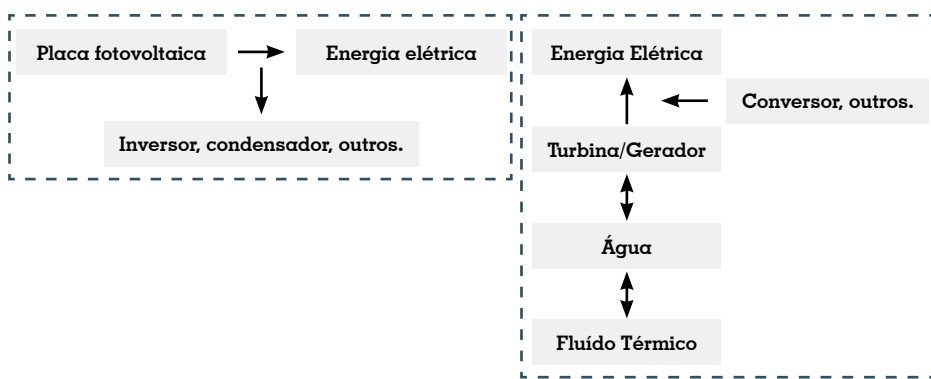
Se esse índice for igual a 0 (zero), então o combustível é completamente não renovável, mas também não produz energia útil. Se o índice for igual a 1 (um), ainda assim o combustível é considerado não renovável. Um índice infinito indica que o combustível é completamente renovável e que qualquer valor maior do que 1 (um) reflete que ele é renovável num certo grau.

Para esta análise, foram utilizados dados secundários, obtidos na literatura específica do assunto, porém, rastrear uma vasta cadeia produtiva produziria inúmeros fluxos de materiais e energia, representando um enorme desafio. Neste sentido, foi apresentado o limite do sistema analisado nas figuras 3 e 4, para a energia solar fotovoltaica e termossolar.

- 1 É a energia contida no produto final e que está disponível para produzir trabalho em um motor.
- 2 É a energia que pode estar contida em toda matéria-prima extraída do ambiente. Na estimativa de energia primária total de todo o ciclo de vida de cada combustível são considerados os conteúdos energéticos de todos os recursos extraídos do ambiente.
- 3 É o maior subconjunto de energia primária. É toda energia utilizada no processo, excluindo-se a energia da matéria-prima, ou seja, é a energia extraída do ambiente necessária à extração e ao processamento da energia, que não é incorporada ao produto final.

Figura 3 e 4

Fluxogramas delimitando o sistema de análise para energia solar fotovoltaica e termossolar



Fonte: Elaboração própria.

Características técnicas

a) Arranjo fotovoltaico - Foi definido um arranjo de 20 painéis/módulos em série por string, 13 strings em paralelo formando um painel, 18 mesas de painéis formando um arranjo, totalizando 30 arranjos. Assim, usinas com 30 MW contêm 30 arranjos. E assim por diante. Importante destacar que, para cada um destes arranjos, haverá após um inversor e um transformador para aumento da tensão, de 220 volts AC para 13,8 kV volts AC. O inversor, modelo E-FORCE PV-1000 (Magnetek), é o responsável pela conversão do sinal elétrico em corrente contínua (DC) do gerador fotovoltaico para um sinal elétrico em corrente alternada (AC), além de fornecer o ajuste necessário da frequência e do nível de tensão da rede.

Módulo fotovoltaico - A placa utilizada para a composição das mesas e, por fim, dos arranjos, será o modelo CHSM6609P Series, da Astronergy, composta de 54 células fotovoltaicas, conforme Tabela 1.

Tabela 1

Dados da placa solar

	Potência máxima	215 Wp
Número de células		54
Máxima tensão no sistema (células ligadas em série)		600 V
Corrente máxima		6,67 A
Tensão de circuito aberto		33,88 V
Corrente de curto circuito		8,53 A
Comprimento		1,50 M
Largura		0,99 M
Espessura		4,5 cm
Peso		18,00 Kg

Fonte: AcoSolar.⁴

Foi definido um arranjo de 20 painéis/módulos em série por string, 13 strings em paralelo formando um painel, 18 mesas de painéis formando um arranjo, totalizando 30 arranjos. Assim, usinas com 30 MW contêm 30 arranjos

4 Global AcoSolar é uma empresa online de distribuição e venda de equipamentos para instalação de projetos solares.

Cada campo fotovoltaico de 1 MW (1.095.120 Wp) é composto por 16 subcampos fotovoltaicos de 68,445 kWp, ou seja, 8.112 módulos fotovoltaicos

- **Inversor** - Para realizar a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede AC (ou carga AC) utilizar-se-á o inversor solar modelo E-FORCE PV-1000 da Magnetek, conforme dados de entrada e saída do inversor apresentados nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2

Dados de entrada do inversor

Dados de entrada	
Faixa de tensão MPP	450 – 850 V
Corrente contínua máxima (Iccmax)	2302 A

Fonte: AcoSolar.⁵

Tabela 3

Dados de saída do inversor

Dados de saída	
Potência nominal	1000 KW
Corrente AC máxima	2396 A
Tensão AC nominal	265 V
Frequência AC nominal	50/60 Hz
Distorção Harmônica Total (THD)	< 5%
Fator de potência	± 0.95 (referente à pot. nominal)
Eficiência máxima (rendimento)	97.00%

Fonte: AcoSolar.

As estações de média tensão são equipadas pelo sistema de proteção e controle, para a conversão da corrente contínua (CC) em baixa tensão (450 a 820 V) gerada pelos campos fotovoltaicos de 1 MW, em corrente alternada (CA) a média tensão de 20kV. Cada campo fotovoltaico de 1 MW (1.095.120 Wp) é composto por 16 subcampos fotovoltaicos de 68,445 kWp, ou seja, 8.112 módulos fotovoltaicos. Portanto, com os módulos policristalinos acoplados ao sistema de rastreadores, a produtividade é de 1.999Wh/Wp/ano.

Transformador - Um sistema de corrente alternada opera, em cada uma de suas partes, com a tensão mais conveniente, tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico. Esta flexibilidade é obtida através dos transformadores, também chamados de trafos. Sendo um componente que transfere energia (potência) de um circuito elétrico para outro, o transformador toma parte nos sistemas de potência para ajustar a tensão de saída de um estágio do sistema à tensão de entrada do seguinte. O transformador poderá também assumir outras funções, como isolar eletricamente circuitos entre si, ajustar a impedância do estágio seguinte à do anterior, ou todas estas finalidades citadas ao mesmo tempo. O modelo ainda está em definição.

5 Global AcoSolar é uma empresa online de distribuição e venda de equipamentos para instalação de projetos solares. Mesma referência para a tabela 3.

b) Arranjo termossolar

Dados principais:

- Capacidade nominal de produção de vapor: 140 ton/h para cada uma
- Combustível utilizado: radiação solar
- Pressão nominal de operação da caldeira: 6,5 MPa
- Temperatura nominal do vapor produzido: 673K
- Potência nominal do turbogerador: 1 x 30 MW

- Tipo: condensação

- Medidas: comp. 2.5 m; larg. 1.5 m; alt. 2 m

- Peso: 4.500 kg

- Modelo: "MINI" / SST-050 (SANTOS, 2012)

- Eficiência da turbina solar: 30,6% (KALOGIROU, 2009)

- Redutor
 - Potência nominal: 1 x 30MW
 - Rotação eixo de alta: rotação da turbina
 - Rotação eixo de baixa: 1.800 rpm
 - Fator de serviço: $\geq 1,2$

- Gerador
 - Potência nominal: 1 x 37,5MW
 - Fator de potência: 0,8
 - Tensão nominal: 13,8 kV
 - Frequência nominal: 60 Hz
 - Rotação: 1.800 rpm

Localização do empreendimento

Para este artigo são levados em conta os índices de radiação solar, a oferta de água e a possibilidade de conexão ao sistema elétrico (região de consumo). O município de Itaguaçu da Bahia mostra-se como um dos melhores pontos para a instalação de usinas termossolares e, conseqüentemente, fotovoltaicas. A cidade está localizada a 475 km de Salvador. Saindo da capital, utiliza-se a BR-324 até Feira de Santana, em seguida passa-se a utilizar a BA-052, Estrada do Feijão. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Itaguaçu da Bahia contabilizou 13.209 habitantes para ano de 2010 (CENSO DEMOGRÁFICO, 2010).

O município de
Itaguaçu
da Bahia
mostra-se
como um dos
melhores pontos
para a instalação
de usinas
termossolares e,
conseqüentemente,
fotovoltaicas

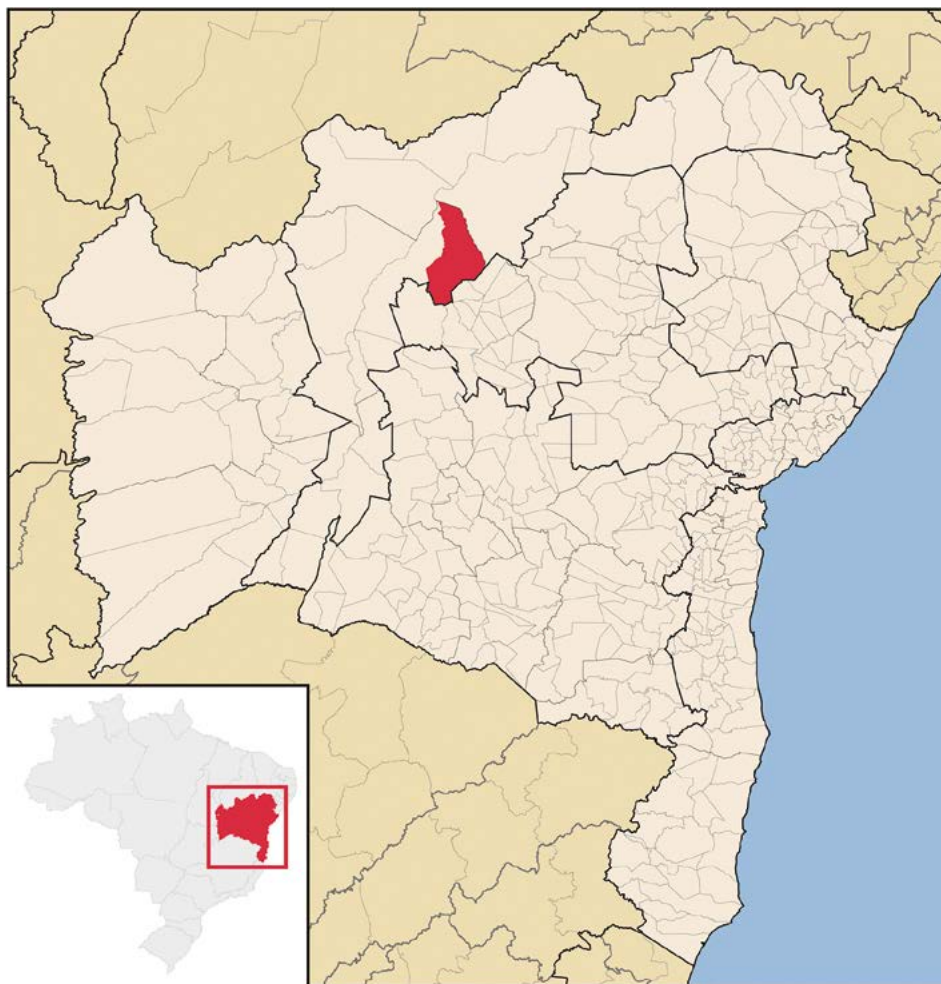
O potencial de radiação solar da cidade de Itaguaçu da Bahia foi caracterizado com fator DNI (*Direct Normal Incidence*), Radiação Direta Normal de aproximadamente 6,1 kWh/m²/dia

A partir da base de dados de medições solares do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito e Centro de Pesquisas de Energia Elétrica do Sistema Eletrobrás (2004) bem como as medições solares do Solar and Wind Energy Resources Assessment (SWERA) – Programa para o Meio Ambiente das Nações Unidas, o potencial de radiação solar da cidade de Itaguaçu da Bahia foi caracterizado com fator DNI (*Direct Normal Incidence*), Radiação Direta Normal de aproximadamente 6,1 kWh/m²/dia.

Com essa magnitude de radiação, e levando-se em conta os índices de nebulosidade da região em questão, torna-se viável a instalação de empreendimento termossolar e fotovoltaico de capacidade mínima de 30MW, conforme as figuras 5 e 6.

Figura 5

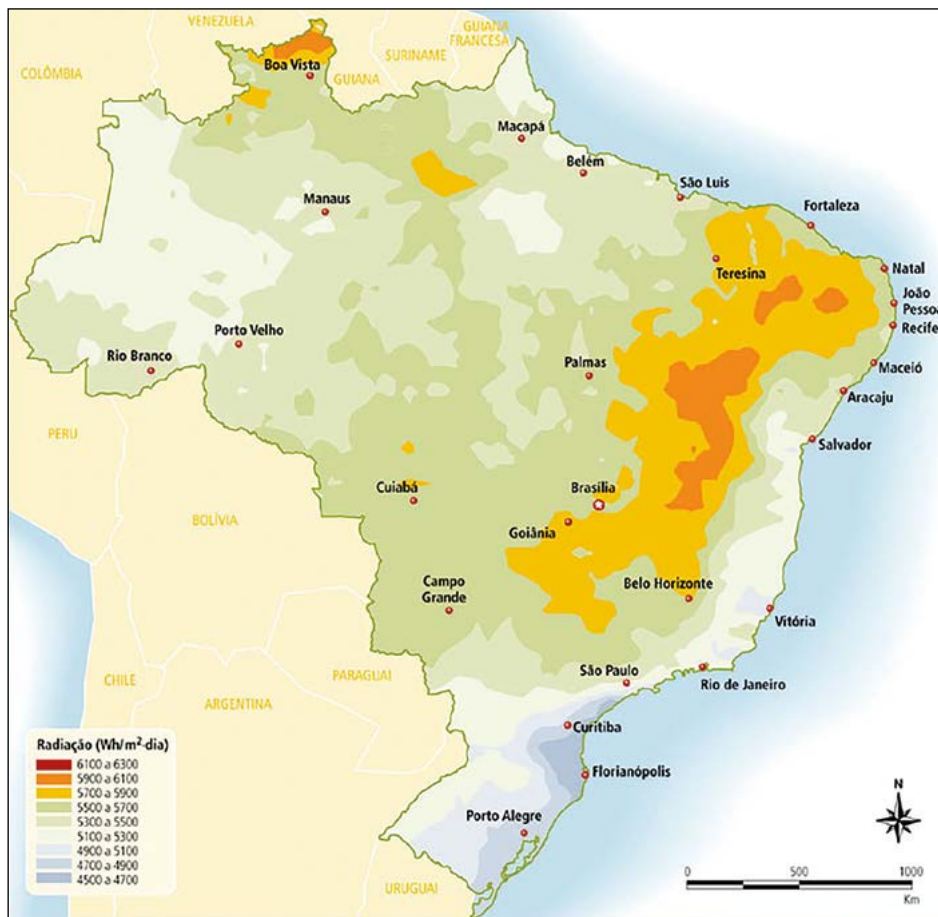
Localização do município de Itaguaçu da Bahia



Fonte: Abreu (2006).

Figura 6

Média anual de insolação do Brasil (horas)



Fonte: Tiba (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o estudo feito por Dones e Frischknech (1998), para a produção de um painel fotovoltaico foram considerados: a metalurgia do silício monocristalino (MG-Si) com um custo energético de produção de 14KWh/Kg; a produção de lâminas de silício de 0,67Kg, a um custo energético de 1,57KWh por cada unidade produzida; a confecção de células de 1,3KWh por cada célula produzida, e a energia de 11KWh para produzir um painel. Todos os valores em KW/h foram transformados em Megajoule (MJ) através do produto entre os valores em KW/h por 3,6, conforme dados da Tabela 4.

Todos os valores em KW/h foram transformados em Megajoule (MJ) através do produto entre os valores em KW/h por 3,6

Para a quantidade de energia a ser produzida, considerando um cenário de 30MW em 30 anos, torna-se necessário 29.160 células em um arranjo de 540 placas de 54 células cada uma, e peso de 18 Kg, conforme especificação técnica do fabricante

Tabela 4

Fase de extração e beneficiamento da matéria-prima para a produção do painel fotovoltaico

Matéria-prima	Quantidade	Energia (KWh)	Energia em MJ
MG-Si ^[5]	1 Kg	14	50,4
Produção de lâminas de silício ^[5]	0,67 Kg	1,57	5,7
Produção de células ^[5]	1	1,3	4,7
Produção de painel ^[5]	1	11	39,6

^[5] Fonte: Dones e Frischknech (1998).

Para a quantidade de energia a ser produzida, considerando um cenário de 30MW em 30 anos, torna-se necessário 29.160 células em um arranjo de 540 placas de 54 células cada uma, e peso de 18 Kg, conforme especificação técnica do fabricante.

A Tabela 5 apresenta o cálculo do consumo energético da placa fotovoltaica no período de 30 anos.

Tabela 5

Energia consumida no processo de produção do módulo fotovoltaico

Matéria-prima	Quantidade total	EE (Mj)	EE (KWh)
Produção de célula	29.160	1.154.736	320,76
Produção de painel	540	21.384	5,94
Somatório		1.176.120	326,7

Fonte: Elaboração própria.

O trajeto a ser considerado é o transporte terrestre do painel, da cidade de São Paulo (SP) até o município de Itaguaçu da Bahia (BA), perfazendo um total de 1.470 Km, realizado por carreta com capacidade para 28t e gasto energético da ordem de 5,36 MJt Km (TAVARES, 2006). Na Tabela 6 encontram-se o cálculo do consumo energético do transporte da placa fotovoltaica.

Tabela 6

Energia consumida no transporte do módulo fotovoltaico

Fases	Componentes	Quantidade	EE (Mj)	EE (KWh)
Produção	Painel solar	540	1.176.12	326,7
Transporte	Painel solar	540	23.004	6,39
Somatório			24.180,12	333,09

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com o estudo feito por Dones e Frischknech (1998), para a produção de um concentrador solar (calha) com capacidade para produzir 30MW de potência, foram considerados: a matéria-prima do aço inox refletivo e não reflexivo com um custo energético de produção de 15,7KWh/Kg (concentrador e suporte), o alumínio com custo energético de produção de 1,0 KWh/Kg (bordas do concentrador) e 1,3 KWh/Kg de cobre para o tubo focal. Todos os valores em KW/h foram transformados MJ através do produto entre os valores em KW/h por 3,6. Dados representados na Tabela 7.

Tabela 7

Fase de extração e beneficiamento da matéria-prima para produção do concentrador solar parabólico (calha)

Matéria-prima	Quantidade	Energia (KWh)	Energia em Mj
Aço inox ^[6]	0,58 Kg	15,7	57
Alumínio ^[6]	0,38 Kg	1	3,60
Silica (vidro) ^[6]	0,58 Kg	0,7	2,5
Cobre ^[6]	0,74	1,3	4,7
Produção do concentrador solar ^[7]	1	15	54

^[6] Fonte: Dones e Frischknech (1998).^[7] Kalogirou (2009).

O consumo energético do concentrador solar é de 74.520 Mj (EEMj = 74.520)

A quantidade de energia que o concentrador solar parabólico (calha), adquiridos em Nagoya (Japão), precisa para produzir 30MW é de, aproximadamente, 1.380 coletores, ou 476 fileiras (PÉREZ, 2011), com peso de 18 Kg, eficiência solar-elétrica de 15%, conforme especificação (KALOGIROU, 2009). Portanto, o consumo energético do concentrador solar é de 74.520 Mj (EEMj = 74.520).

Para o cálculo de transporte de produtos foi considerado o meio hidroviário, por navio de carga oceânico modelo Bulk Commodity Carrier/10000 to 20000dwt/Ocean (GLO), citado no estudo de Monteiro (2008), com consumo energético de 0,13MJtKm, (TAVARES, 2006), do porto de Nagoya (Japão) até o porto de Santos (SP), no Brasil, perfazendo 21.681,36 km. E deste, até a cidade de Itaguaçu da Bahia, conforme dados explicitados no cálculo para os painéis solares, porém, devido ao tamanho, à quantidade e à forma de armazenamento, estes valores serão multiplicados por dois, correspondendo ao número de viagens necessário ao transporte total de concentradores cilíndricos necessários ao projeto, conforme Tabela 8.

Tabela 8

Energia consumida no transporte do concentrador solar

Fases	Componentes	Quantidade	EE (Mj)	EE (Mj)
Produção	Concentrador solar	1378	74.412	20,67
Transporte terrestre	Concentrador solar	1378	58.704	16,31
Transporte hidroviário ^[8]	Concentrador solar	1378	863.976.438,08	239.993,45
Somatório			997.092.438,08	276.973.45

^[8] Lacerda (2004).

Nota: Lacerda e sua posterior conversão em Km (uma milha náutica equivale a 1,852Km).

A quantidade de energia do sistema termossolar da turbina geradora para o cenário de produção de 30MW, com capacidade nominal de produção de vapor de 140 ton/h, peso de 4500 kg, Modelo: "MINI"/SST-050 da Siemens, tem eficiência estimada de 30,6%. O transporte da turbina geradora será realizado com as mesmas características descritas (origem, destino, distância e veículo) para a placa fotovoltaica, representadas na Tabela 9.

A Relação de Energia Fóssil (REF) ou *output/imput* mostra se a fonte de energia é renovável ou não, sendo definida pela relação entre a energia final produzida e o total de energia gasta durante todo o processo

Tabela 9

Energia consumida na produção e no transporte da turbina

Fases	Componentes	Quantidade	EE (Mj)	EE (KWh)
Produção	Turbina	1	98.039.216	27.233.116
Transporte terrestre	Turbina	1470	10.650,15	2.958,38
Somatório			98.049.866	30.191.491

Fonte: Elaboração própria.

O cálculo do consumo energético total para o sistema fotovoltaico, na produção do arranjo composto do total de placas solares formando o arranjo total, e do consumo do transporte necessário a sua implantação foi de 30.191.491 KWh. E o do sistema termossolar, formado com o arranjo total dos concentradores de energia e a turbina\gerador, foi de 307.161.612,23 KWh, conforme Tabela 10.

Tabela 10

Consumo energético total dos sistemas fotovoltaico e termossolar

Etapas	Consumo energético dos materiais (Mj)	Consumo energético do transporte (Mj)	Consumo energético total (Mj)	Consumo energético total (KWh)
Produção de arranjo fotovoltaico	1.176.120	1.199.124	2.375.244	659.790
Etapas	Consumo energético dos materiais (Mj)	Consumo energético do transporte (Mj)	Consumo energético total (Mj)	Consumo energético total (KWh)
Produção do arranjo termosol	74.412	922.680.438	997.092.438	276.970.121,67
Turbina\Gerador	98.039.216	10.650,15	108.689.366	30.191.490,56
Somatória			1.105.781,80	307.161.612,23

Fonte: Elaboração própria.

Para este cálculo foi considerada como energia produzida a energia requerida nos dados apresentados: 30 MW = 3000 KWh = 10.800 Mj, portanto, a Eficiência Energética do Ciclo de Vida (EECV) do sistema fotovoltaico é observada pela simples relação entre a energia total do combustível e a energia primária total (10.800 - 1.176.12 = -1.068.120 Mj ou 3.000 - 320.765.94 = - 2.679.234,06 KWh). Para o sistema termossolar, foram encontrados os seguintes resultados: 10.800 - 74.412 + 98.039.216 = - 98.102,828 Mj ou 3.000 - 20,67 + 27.233.116 = - 27.232.183 KWh. Dados demonstrados na Tabela 11.

A Relação de Energia Fóssil (REF) ou *output/imput* mostra se a fonte de energia é renovável ou não, sendo definida pela relação entre a energia final produzida e o total de energia gasta durante todo o processo que, para a o sistema fotovoltaico, foi de 10.800 - 23.004 = 12.204 Mj ou 3.000 - 6,39 = 2.993,61KWh. E, para o sistema termossolar, foi de 10.800 - 933.330.589 = - 922.530.58 Mj ou 3.000 - 242.968.132 = - 239.968.132 KWh. Dados resumidos na Tabela 11.

Tabela 11

Eficiência Energética do CV e da REF dos sistemas fotovoltaico e termossolar

Sistema	EECV		REF	
	EE (Mj)	EE (KWh)	EE (Mj)	EE (KWh)
Fotovoltaico	-1.068.120	-2.679.234,06	12.204	2.993,61
Termossolar	-64.451.216	-24.253.758	-825.330,589	-239.968.132

Fonte: Elaboração própria.

A análise dos resultados mostra que os dois sistemas são renováveis, porém, é preciso avançar tecnologicamente no mercado interno, o que alavancaria uma série de estudo mais aprofundados em busca de solução tecnológica nacional. O melhor aproveitamento da matéria-prima disponível no mercado interno e no meio ambiente e o incentivo à reciclagem de materiais por ora descartados, podem aumentar o passivo ambiental nas cidades, nas indústrias e no comércio.

A análise estabelece ainda que todo o processo precisa de melhorias contínuas, investimento e descobertas de novas matérias-primas, ou melhor, utilização das existentes, e a energia solar, seja ela fotovoltaica ou termossolar, precisa avançar muito neste quesito, pois, países que não dispõem das condições ambientais do Brasil estão na vanguarda de toda e qualquer alternativa renovável de energia. Atualmente, as políticas públicas de incentivos a fontes renováveis ainda são bem modestas no Brasil, que se aprimorou nas hidrelétricas, com soluções remotas e sistemas isolados de energia solar, precisando de um incentivo mais contundente e políticas mais audaciosas. Com mudança de paradigma, estas fontes se tornariam mais competitivas e melhor aproveitadas, a partir de uma gestão equilibrada dos custos de oportunidade associados a três objetivos fundamentais – disponibilidade de energia, proteção ambiental e crescimento econômico.

A maior dificuldade encontrada para aplicação da metodologia adotada é a carência de dados específicos e precisos sobre a temática ACV estudada, pois, quando se encontram os dados, estes diferem de autor para autor, sendo necessário citar a referência adotada e o equipamento utilizado, pois existe uma enorme variação de forma, tamanho e função dentro do mesmo sistema. Por tudo isso há prejuízo da análise já que esta também toca nos chamados segredos industriais, visto que determinado equipamento ou tecnologia não está disponível para consulta pública.

Atualmente,
as políticas
públicas de
incentivos
a fontes
renováveis
ainda são bem
modestas no
Brasil, que se
aprimorou nas
hidrelétricas,
com soluções
remotas e
sistemas
isolados de
energia solar,
precisando
de um
incentivo mais
contundente e
políticas mais
audaciosas

CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos no balanço energético do ciclo de vida, do ponto de vista da eficiência energética, a energia solar fotovoltaica e a termossolar são parecidas, consideradas renováveis, sendo que, para o sistema fotovoltaico, o maior consumo energético está no processo de fabricação das partes integrantes ao sistema, e para a termossolar, o maior consumo está justamente no transporte dos equipamentos e peças de suporte, pois, mais de 70% do peso do concentrador solar está na estrutura de suporte e não na parte de concentração de energia.

Duas preposições são de fundamental importância para o aumento da participação da energia solar na matriz energética: a) estudar a criação de incentivos fiscais e tributários para a modernização industrial e a eficiência energética; b) elaborar, em parceria com o setor industrial, programas focados na eficiência de processos térmicos industriais e em projetos de cogeração.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. L. Map locator of Bahia's Itaguaçu da Bahia city. Sept. 2006. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1132928>>. Acesso em: 5 de dez. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Geração distribuída amplia número de conexões em 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9044&id_area=>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- ANGARITA, E. E. Y. et al. Produção de óleos vegetais e biodiesel: tecnologia e análise do ciclo de vida. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. (Org.). Biomassa para energia. Campinas, SP: UNICAMP, 2008. p. 531-568.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 abr. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2017.

CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2017.

DONES, R.; FRISCHKNECH, R. Life-cycle assessment of photovoltaic systems: results of swiss studies on energy chains. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 117-125, Mar./Apr. 1998.

HOLDREN, J. P.; SMITH, K. R. Energy, the environment and health. In: UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. World energy assessment: energy and the challenge of sustainability. New York: UNDP, 2000. chap. 3, p. 65-104.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Trends in photovoltaic applications: survey report of selected IEA countries between 1992 and 2010. Paris: IEA, 2011. Disponível em: <http://www.ieapvps.org/index.php?id=1&eID=dam_frontend_push&docID=898>. Acesso em: 10 abr. 2017.

KALOGIROU, S. A. Solar energy engineering: processes and systems. San Diego, EUA: Academic Press Elsevier, 2009.

LACERDA, S. M. Navegação e portos no transporte de contêineres. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v.11, n. 22, p. 215-243, dez. 2004. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/.../bndes.../revista/rev2209.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

MONTEIRO, M. F. Avaliação do ciclo de vida do fertilizante superfosfatado simples. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_marcio_monteiro.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.

PÉREZ, M. S. Planta solar termoeétrica de 50MW com coletores cilindro-parabólicos em Sonora-México-I. [S.l.: s.n.], Mayo 2011. Disponível em: <<http://renewablengineering.blogspot.com.br/2011/05/planta-solar-termoelectrica-de-50-mw.html>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

REIS, L. B. dos; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. São Paulo: Manole, 2005. p. 59-95.

REN21. Renewables 2015: global status report. 2015. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2017.

RIBEIRO, C. M. Universalização do serviço de energia elétrica, eletrificação rural e o papel da energia solar fotovoltaica. In: TOLMASQUIM, M. T. Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil. Rio de Janeiro: Relume Dumará: COPPE: Cenergia, 2004.

SANTOS, J. B. Energy power generation. 2012. Disponível em: <<http://www.siemens.co.ao/pool/events/connect-to-siemens-angola/produthoo-e-gerathoo-de-energia.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

TAVARES. S. F. Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. 2006. 225 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

THOMAS, M. G.; POST, H. N.; DEBLASIO, R. Photovoltaic systems: an end-of-millennium review. Progress in Photovoltaics West Sussex, UK, v. 7, p. 1-19, 1999. Disponível em: <[http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1099-159X\(199901/02\)7:1%3C::AID-PIP251%3E3.O.CO;2-X/full](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1099-159X(199901/02)7:1%3C::AID-PIP251%3E3.O.CO;2-X/full)>. Acesso em: 10 abr. 2017.

TIBA, C. (Coord.). Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2000. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. Estudos avançados, São Paulo, v. 26, n. 74, 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10636/71178>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

TOLMASQUIM, M. T. Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil. Rio de Janeiro: Relume Dumará: COPPE: CENERGIA, 2004.

TOLMASQUIM, M. T. (Coord.). Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

UDO DE HAES, H. A. et al. Life-cycle impact assessment: striving towards best practice. Flórida, USA: SETAC, 2002. 272 p.

UTGIKAR, V.; THIESEN, T. Life cycle assessment of high temperature electrolysis for hydrogen production via nuclear energy. International Journal of Hydrogen Energy, [S.l.], v. 31, n. 7, p. 939-934, June 2006.

Resumo

As crises energética e ambiental no Brasil, respectivamente relacionadas à matriz hidráulica e ao uso de material fóssil, têm provocado o avanço no uso de energias renováveis no Brasil, a exemplo da energia eólica, em especial, no estado da Bahia, que possui um alto potencial de ventos locais. O licenciamento ambiental para empreendimentos eólicos no estado baiano tem sido referência para o resto do país devido à desburocratização das solicitações exigidas. Inclusive uma Comissão Técnica de Garantia Ambiental (CTGA) foi organizada para atender, junto ao órgão ambiental estadual, à demanda dos que pretendem manter a atividade de geração de energia elétrica por fonte eólica. O estado da Bahia agregou a energia eólica à matriz renovável a partir de março de 2003 e atualmente é responsável pela geração de, aproximadamente, 1,75 GW dessa energia.

Palavras-chave: Energia eólica. Legislação. Licenciamento ambiental. Bahia.

Abstract

The energy and environmental crisis in Brazil, respectively related to hydraulic matrix and use of fossil material, has led the advance in the use of renewable energy such as wind power in the country, and especially in the state of Bahia because of its high potential for local winds. Environmental licensing for wind farms in such status has been reference to the rest of the country due to bureaucracy, moreover, had a Environmental Guarantee Technical Committee (CTGA) to meet with the state environmental agency, the demand of requests required for the activity generation of electricity through wind power. The state of Bahia added wind power in renewable matrix from March 2003, currently responsible for generating approximately 1.75 GW of that energy.

Keywords: Wind power. Legislation. Environmental licensing. Bahia.

Geração de energia elétrica por fonte eólica: como atua o licenciamento ambiental no estado da Bahia

THIAGO AWAD PRUDENTE

Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Salvador (Unifacs). Estagiário no Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema). thiagoawad@hotmail.com

JOSÉ ÂNGELO SEBASTIÃO ARAÚJO DOS ANJOS

Doutor e mestre em Engenharia Mineral, pela Universidade de São Paulo (USP), especialista em Planejamento e Administração dos Recursos Naturais, pela Universidade de Católica do Salvador (UCSal), em Avaliação de Impacto Ambiental, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e em Planejamento e Administração dos Recursos Naturais, pela UCSal, graduado em Geologia, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor adjunto e pesquisador no Grupo de Pesquisa Geoquímica da Interfaces do Instituto de Geociências da UFBA. jose.anjos@ufba.br

A ENERGIA ELÉTRICA tornou-se essencial para o mundo contemporâneo, no qual qualquer interferência na geração de eletricidade ocasiona consequências desastrosas para a população, a economia e a política. A demanda por esta energia cresce de forma exponencial, excedendo os limites da geração. Logo, é necessária adequação para maior eficiência e crescimento na geração, transmissão e na distribuição (BARDELIN, 2004).

Segundo Calijuri e Cunha (2013), ao contrário do Brasil, a matriz de geração elétrica do mundo é de origem predominantemente fóssil, como carvão e derivados de petróleo. Potências, como Estados Unidos da América e China, geram majoritariamente energia elétrica a partir da queima de carvão, enfrentando problemas com a poluição urbana e preocupações frequentes com o aquecimento global. Já o Brasil possui geração elétrica de caráter renovável, com mais da metade de seus empreendimentos voltados para a tecnologia hidrelétrica, utilizando a fonte hidráulica, em que a emissão de poluentes não impacta significativamente em âmbito global.

A geração de energia por fonte eólica no Brasil é responsabilidade de 442 parques eólicos, sendo aproximadamente 78% deles localizados na Região Nordeste

Em 17 de junho de 2017, o Brasil possuía um total de 4.683 empreendimentos geradores de energia elétrica, com 152.698,198 MW de potência instalada, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) (2017). Dentre eles, somente 217 identificados como Usinas Hidrelétricas (UHE), porém com 101.138,278 MW de potência instalada; ou seja, as UHE eram responsáveis por 61,05% da matriz elétrica brasileira.

Em 5 de junho de 2016 existia no país um total de 4.529 empreendimentos geradores de energia elétrica, com 143.934,474 MW de potência instalada. Nesse período, a matriz energética brasileira teve um acréscimo de 139 empreendimentos geradores, somando 8.322,577 MW, sendo que 5.124,166 MW pertencem a uma UHE, confirmando a centralização da matriz neste tipo de tecnologia para a geração de energia elétrica.

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (2017), a geração de energia por fonte eólica no Brasil é responsabilidade de 442 parques eólicos, sendo aproximadamente 78% deles localizados na Região Nordeste. Deste percentual de concentração, 20% estão instalados no estado da Bahia, atrás apenas do Rio Grande do Norte, que concentra 36,8% dos parques. Estes empreendimentos são responsáveis pela geração de 10,1 GW.

Ainda assim é necessária a importação de energia elétrica de países vizinhos para complementar a geração interna e atender à demanda da população. O Ministério de Minas e Energia (MME), por meio da Portaria nº 105 (BRASIL, 2015), autorizou a importação de 570 MW do Uruguai até 2018, que são ofertados semanalmente para o mercado do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), por meio da Resolução nº 006, de setembro de 1987, estabelece critérios sobre o licenciamento para obras de grande porte, em especial para empreendimentos nos quais a União tenha grande interesse, tais como os de geração e distribuição de energia elétrica. Tal resolução determina que, para empreendimentos com abrangência regional, ocupando mais de um estado, os órgãos estaduais devem manter entendimento prévio no sentido de uniformizar as exigências, sendo o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) responsável pela supervisão.

Porém, entre os anos de 2001 e 2002, houve interrupções frequentes no fornecimento da energia elétrica no Brasil, denominados de “apagões”, principalmente por conta do aumento no consumo de energia e da queda nos níveis de precipitação, impactando diretamente nas hidrelétricas. Neste período, a matriz elétrica do Brasil era composta por aproximadamente 90% de UHE e derivados. Mesmo com outras crises energéticas ocorridas anteriormente no país, essa foi a de maior magnitude.

O país tem
capacidade
estimada de
geração de
energia elétrica
por fonte eólica
na ordem de
143 GW

Para tentar sanar a crise elétrica, a União criou programas e leis fundamentadas para o setor de geração de energia. Ainda em 2001, criou-se a Resolução nº 279 (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2001), que estabelece procedimentos de licenciamento ambiental simplificado para empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. Foi o primeiro instrumento a alavancar o processo de licenciamento de usinas eólicas, possibilitando rapidez ao processo.

Por meio da Lei Federal nº 10.438 (BRASIL, 2002), criou-se também o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), revisado pela Lei Federal nº 10.762 (BRASIL, 2003), com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica com base em fonte eólica e outras fontes renováveis. A iniciativa do Ministério de Minas e Energia (MME), de caráter estrutural, impulsionaria os ganhos de escala, a aprendizagem tecnológica, a competitividade industrial no mercado e a identificação e apropriação dos benefícios técnicos, ambientais e socioeconômicos na definição da competitividade econômico-energética de projetos de geração nos quais se utilizem fontes limpas e sustentáveis.

A transformação da energia mecânica das águas em energia elétrica, para usinas de médio e grande porte, além de causar significativos impactos socioambientais e, por isso estar submetida a limitações no processo de licenciamento ambiental, possui elevados custos de transmissão devido a localização afastada das usinas em relação às grandes cidades. Logo, embora a matriz elétrica baiana, bem como a brasileira, seja majoritariamente formada por fonte hidráulica, passou-se a viabilizar o grande potencial eólico da Bahia, diante do diagnóstico do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro de 2001, posteriormente detalhado nos Atlas de Potencial Eólico do Estado Bahia de 2002 e de 2013.

Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE et al., 2002), o país tem capacidade estimada de geração de energia elétrica por fonte eólica na ordem de 143 GW. E, segundo o Atlas do Potencial Eólico da Bahia de 2013, o estado possui um potencial de geração na ordem de 70 GW a 100 m de altura e ventos superiores a 7 m/s.

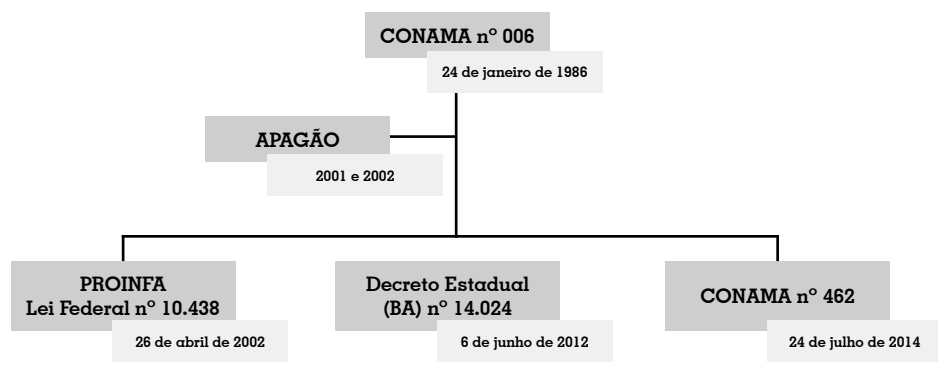
Em 2012 entrou em vigor o Decreto Estadual nº 14.024 e suas alterações, que estabelece normas e padrões relacionados ao licenciamento ambiental em geral, no estado da Bahia, aprovando o regulamento da Lei nº 10.431 (BAHIA, 2006), que instituiu a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia, e da Lei nº 11.612 (BAHIA, 2009), que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

O estudo da legislação ambiental e o acompanhamento da sua dinâmica por parte dos empreendedores são de fundamental importância para o sucesso da implementação de um parque eólico

A Resolução 462 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (2014), que altera a Resolução 279 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (2001) e dá outras providências, determina procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, denominada de *onshore*, porém, esta resolução ainda se encontra em revisão.

Atualmente, conforme a Figura 1, ainda está em vigor para o licenciamento ambiental o Decreto Estadual nº 14.024 (BAHIA, 2012), porém com alterações do Decreto Estadual nº 15.682 (BAHIA, 2014). Tais modificações também estabelecem critérios para o processo de licença ambiental de empreendimentos eólicos e linhas de distribuição de energia no estado, alterando o regulamento da Lei nº 10.431 (BAHIA, 2006) e da Lei nº 11.612 (BAHIA, 2009), aprovadas pelo Decreto nº 14.024 (BAHIA, 2012).

Figura 1
Fluxograma resumido do avanço das normativas para o licenciamento eólico



Fonte: elaboração própria.

O estudo da legislação ambiental e o acompanhamento da sua dinâmica por parte dos empreendedores são de fundamental importância para o sucesso da implementação de um parque eólico. A complementariedade da energia eólica, sendo uma geração energética mais limpa, é essencial para diminuir a dependência do país em relação às usinas hidrelétricas. Este projeto tem como objetivo informar os benefícios resultantes do processo de licenciamento ambiental para energia eólica no estado da Bahia, favorecido pelo seu alto potencial eólico para a geração de energia elétrica.

MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados secundários obtidos por meio de revisões bibliográficas, tais como: livros, artigos, normas que versam sobre o tema, dados quantitativos publicados e

disponibilizados na internet, assim como informações técnicas de sites oficiais de órgãos como Aneel, MME, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), Inema, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica). Também foram feitas entrevistas com funcionários da Comissão Técnica de Garantia Ambiental (CTGA), da Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado da Bahia (SDE) e do Inema.

Utilizaram-se as ferramentas de geoprocessamento, ArcGis 10.2.2 e Google Earth PRO para auxílio na análise da área estudada, bem como para a elaboração de imagens georreferenciadas. As bases cartográficas no formato *shapefile*, em domínio público, foram coletadas de órgãos públicos. Tais bases são: polígonos municipais da Bahia (SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA, 2016), sedes municipais da Bahia (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1976), curva de nível do estado da Bahia (1976), polígonos de parques eólicos em Caetité (BA).

O período escolhido para coleta e acompanhamento da evolução dos dados foi de pouco mais de um ano, entre 5 de junho de 2016 e 5 de julho de 2017. Tais dados foram acompanhados e retirados do Banco de Informações de Geração (BIG), criado pela Aneel de acordo com o princípio da transparência, a fim de exteriorizar uma série de dados que a agência reúne sobre o parque gerador brasileiro.

RESULTADOS

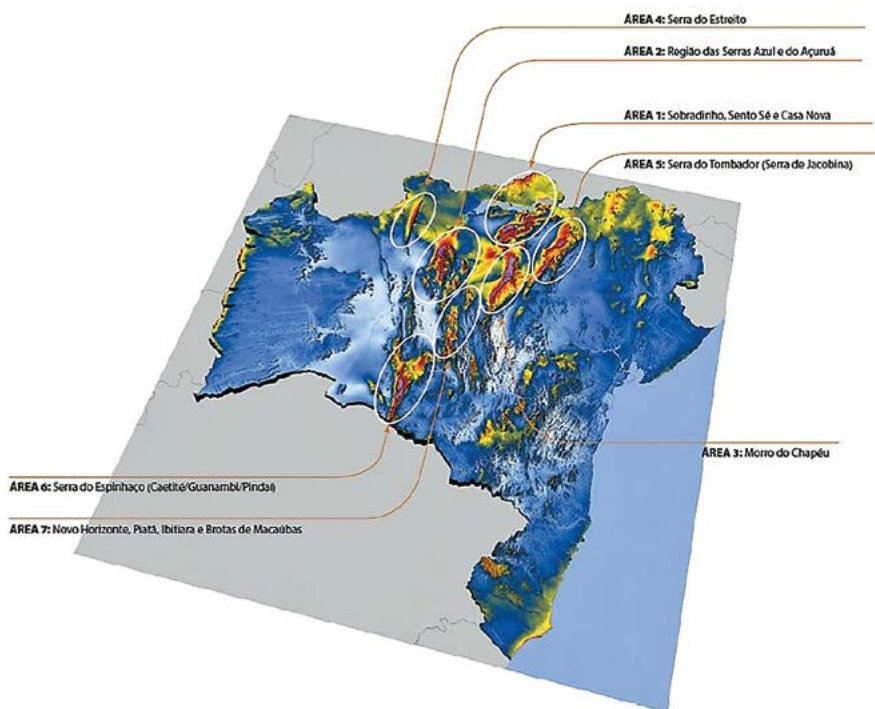
O estado da Bahia, devido ao seu alto potencial energético hidráulico, solar ou eólico, tem suas particularidades bem definidas em relação à geração energética, a fim de não provocar conflitos quanto ao uso e à ocupação do solo. Em 2013, o governo estadual, em parceria com instituições privadas, elaborou um novo atlas eólico para o estado, com informações mais atualizadas devido ao avanço tecnológico nos setores envolvidos. O atlas anterior, principal instrumento consultivo neste ramo, foi publicado no ano de 2002, logo após o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro em 2001.

Segundo o Atlas Eólico da Bahia de 2013, as áreas com potencial mais relevante encontram-se em Unidades de Conservação (UC) do estado. Os estudos, minuciosamente realizados entre os anos de 2009 e 2013, identificaram sete áreas com elevado potencial de geração futura, com média aritmética de 6,87 GW (Figura 2). Porém, todas essas zonas localizam-se em UC, Área de Proteção Ambiental (APA), Parque Nacional ou Estadual e/ou Área de Proteção Permanente (APP).

O estado da Bahia, devido ao seu alto potencial energético hidráulico, solar ou eólico, tem suas particularidades bem definidas em relação à geração energética, a fim de não provocar conflitos quanto ao uso e à ocupação do solo

As três principais regiões com potencial de geração com média acima de 10 GW situam-se em áreas protegidas por lei

Figura 2
Maior potencial eólico no estado da Bahia



Fonte: Atlas Eólico da Bahia (2013).
Nota: alterado pelo autor.

As três principais regiões com potencial de geração com média acima de 10 GW situam-se em áreas protegidas por lei. Morro do Chapéu, com potencial de 11,4 GW, e Serra do Tombador, com potencial de 9,0 GW, situam-se no Parque Nacional da Chapada Diamantina (Parna), UC Federal de Proteção Integral, enquanto a região de Sobradinho, Sento Sé e Casa Nova, com potencial de 10 GW, encontra-se parcialmente inserida em área de interesse para a implementação de UC na região de Boqueirão da Onça. A localidade de Morro do Chapéu, por sua vez, está inserida no Parque Estadual de Morro do Chapéu, também UC de Proteção Integral, bem como a região de Sobradinho, Sento Sé e Casa Nova, inserida da APA estadual Lago de Sobradinho, de uso sustentável.

O zoneamento dessas terras, compreendidas em UC, possui restrições específicas, conforme a Lei Federal nº 9.985 (BRASIL, 2000), que regulamenta o Artigo 225 da Constituição Federal e, principalmente, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Em resumo, UC de uso sustentável, como APA, possui menos restrições quanto ao uso e à ocupação do solo em relação a UC de proteção integral, a exemplo do Parna.

CONFLITOS COM A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL VIGENTE

As principais localidades estabelecidas no Atlas do Potencial Eólico da Bahia de 2013 para exploração do potencial energético no estado entram em conflito com algumas leis e normas por serem áreas próximas ou de topo de morro, APP conforme estabelecido no art. 4º inciso IX da Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal Brasileiro).

A Resolução 396 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (2006), de caráter consultivo, estabelece em seu art. 3º as possibilidades de intervenção ou supressão de vegetação em APP para obras de utilidade pública quando o requerente comprovar:

- I. a inexistência de alternativa técnica e locacional às obras, planos, atividades ou projetos;
- II. atendimento às condições e padrões aplicáveis ao corpo de água;
- III. averbação de área de reserva legal; e
- IV. a inexistência de risco de agravamento de processos de enchentes, erosão ou movimentos acidentais de massa rochosa.

Logo, o Código Florestal Brasileiro, entendendo que a geração de energia elétrica é de utilidade pública, autoriza intervenção em APP para esse tipo de empreendimento, conforme estabelecido em seu art. 8º. Atualmente, já existem implantados parques eólicos em áreas de topo de morro no estado da Bahia, possíveis de serem identificados via foto ou geoprocessamento, conforme as figuras 3 e 4, a exemplo da área 06 destacada no Atlas Eólico da Bahia – Serra do Espinhaço, Caetité.

Todo e qualquer empreendimento ocasiona impacto ambiental, tanto de natureza positiva quanto de natureza negativa. Por isso há necessidade de estudos com alta precisão e qualidade para prever tais impactos aos meios e, assim, propor medidas mitigadoras e compensatórias.

A Resolução 462 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (2014) determina, em seu parágrafo 3º inciso III, que não será considerado de baixo impacto o empreendimento, exigindo a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), além de audiências públicas, nos termos da legislação vigente. Os empreendimentos eólicos localizados em zonas de amortecimento de UC de proteção integral, devem adotar o limite de três quilômetros, a partir do limite da UC cuja zona de amortecimento não esteja ainda estabelecida.

Há necessidade de estudos com alta precisão e qualidade para prever tais impactos [ambientais] aos meios e, assim, propor medidas mitigadoras e compensatórias

Figura 3

Parque eólico situado em altos topográficos no município de Caetité (BA)



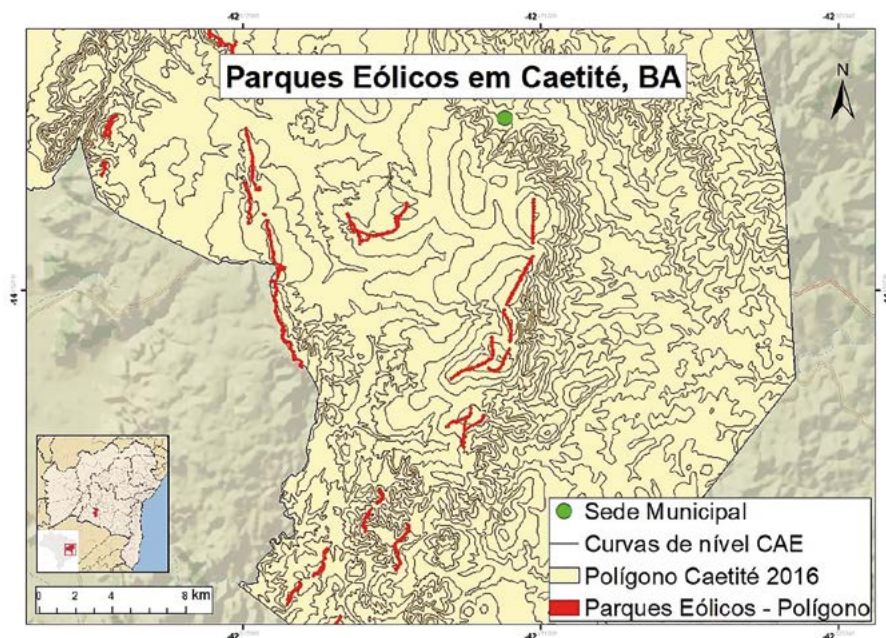
Foto: Thiago Prudente.

Assim
consideradas
pele órgão
ambiental
licenciador,
com
fundamento
em EIA/Rima,
só poderá ser
concedido
após anuência
do órgão
responsável
pela
administração
da UC

O Decreto Estadual nº 14.024 (BAHIA, 2012) e suas alterações, em vigor para o licenciamento ambiental na Bahia sistematiza, em seu art. 143, que o licenciamento de empreendimentos ou atividades de significativo impacto ambiental, que possam afetar UC específica ou sua Zona de Amortecimento (ZA), assim consideradas pelo órgão ambiental licenciador, com fundamento em EIA/Rima, só poderá ser concedido após anuência do órgão responsável pela administração da UC. No mesmo artigo, em seu parágrafo 3º, o decreto estabelece que, nos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos ao EIA/Rima, o órgão ambiental licenciador deverá dar ciência ao órgão responsável pela administração da UC quando o empreendimento puder causar impacto direto na área, quando estiver localizado na sua ZA, e/ou quando estiver localizado no limite de até dois quilômetros da UC cuja zona de amortecimento não tenha sido estabelecida.

Figura 4

Localização de parques eólicos no município de Caetité (BA)



Fonte: elaboração própria.

A UC Boqueirão da Onça, em uma das sete áreas com potencial significativo de ventos para geração de energia elétrica, estava prevista para ser o maior parque da caatinga baiana, de proteção integral. Porém, atualmente, devido à identificação desta área como propícia para empreendimentos geradores de energia por fonte eólica, o parque previsto foi dividido em várias UC, visando à adequação do ambiente legal para a implantação dos parques e de empreendimentos mineradores.

O Parque Estadual Morro do Chapéu, também devido à pressão do setor privado, sofreu diversas alterações em sua poligonal para a adequação do ambiente legal à implantação de parques eólicos. Logo, torna-se essencial uma ampla discussão entre priorizar o interesse em investimentos ou assegurar a preservação de áreas naturais para a manutenção da biodiversidade local.

LEILÕES DE CONTRATAÇÃO DE ENERGIA

Os leilões de energia elétrica são processos promovidos via licitações pelo poder público para construção e operação de empreendimentos geradores desta energia, sendo o principal instrumento para a contratação de energia no Brasil.

Existem nove tipos de leilões: Leilão de Venda, Leilão de Fontes Alternativas, Leilão de Excedentes, Leilão Estruturante, Leilão de Energia de

Torna-se
essencial
uma ampla
discussão
entre priorizar
o interesse em
investimentos
ou assegurar
a preservação
de áreas
naturais para
manutenção da
biodiversidade
local

Mesmo antes de o Proinfa atuar em 2004, estava sendo licenciado o primeiro projeto eólico no estado, o Parque Eólico de Caetité, entre outubro de 2002 e março de 2003

Reserva, Leilão de Energia Nova, Leilão de Energia Existente, Leilão de Compra e Leilão de Ajuste.

O segundo impulso ao crescimento da energia eólica no Brasil e na Bahia foi dado no ano de 2009, quando o segundo Leilão de Energia de Reserva (LER), que tem como objetivo elevar a segurança no fornecimento de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), foi aberto exclusivamente para a participação da fonte eólica. Foram contratados 1.805 MW de energia elétrica provenientes da fonte eólica em todo o país, sendo 390 MW (cerca de 21,6%) contratados para projetos na Bahia.

No terceiro LER e no segundo Leilão de Fontes Alternativas (LFA), em agosto de 2010, dos quais a biomassa e as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) também participaram, foram contratados 2.047,8 MW de fonte eólica, sendo a Bahia responsável por aproximadamente 28,4% da energia eólica contratada no país. Já em 2011, segundo a ABEEólica, o quarto LER, o Leilão de Energia Nova (LEN) A-3 e o LEN A-5 negociaram juntos o total de 2,9 GW.

Segundo dados da CCEE, no oitavo e último LER, em novembro de 2015, a Bahia teve participação de 90% nas vendas de Usinas de Energia Eólica (UEE) em todo o país, e aproximadamente 89,9% na potência eólica total.

VANTAGENS DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA ENERGIA EÓLICA NA BAHIA

Mesmo antes de o Proinfa atuar em 2004, estava sendo licenciado o primeiro projeto eólico no estado, o Parque Eólico de Caetité, entre outubro de 2002 e março de 2003. Embora as leis e os programas não estivessem totalmente regulamentados, o processo de licença foi concluído em 138 dias, unindo rapidez e precisão, visando sempre ao melhor meio de mitigação dos impactos, conforme a plataforma virtual Cerberus, responsável pela gestão de processos antecedentes a 2011 no órgão ambiental do estado da Bahia.

Em 2010, a criação da Comissão Técnica de Garantia Ambiental (CTGA), pela Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração (SICM), atual Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE), foi fundamental para suprir a demanda de licenciamento ambiental para energia eólica no estado da Bahia. Tendo como referência a Resolução Cepam nº 2933/2002, que aprovou a Norma Técnica nº 002/2002, visando à Gestão Integrada de Responsabilidade Ambiental, a CTGA consolidou os procedimentos para licenciamento ambiental no estado, agindo juntamente com o Inema na fase inicial da concessão das licenças e habilitando os empreendimentos

eólicos e energéticos para participação em leilões de energia promovidos pelo governo federal, tornando mais rápida a conclusão dos procedimentos: compra de energia em leilões e licenciamento ambiental.

A empresa que desejasse solicitar os serviços da CTGA, por meio de financiamento contratual, contava com uma equipe especializada em geração de energia eólica e em processos de licenciamento. Tal comissão teve o papel de estudar, analisar e, caso necessário, modificar o projeto requerente da licença ambiental, tanto para viabilizá-lo em relação à maior mitigação possível dos impactos ambientais negativos, quanto para melhorar a exploração dos impactos positivos. Além disso, os relatórios e pareceres elaborados pela comissão e encaminhados ao Inema asseguram ao técnico responsável a sustentabilidade do projeto e a viabilidade da licença ambiental requerida.

Outra vantagem local ocorre por conta das linhas de transmissão de energia elétrica. Segundo o Decreto Estadual nº 14.024 (BAHIA, 2012), art. 150-A, os projetos de linhas de transmissão ou de distribuição de energia elétrica não estão sujeitos à Licença de Operação (LO), devendo ser informado ao órgão ambiental o início de suas operações. Entende-se que não é necessário requerer a LO devido ao mínimo impacto causado somente pela transmissão de energia, concentrando-se os impactos negativos na Licença Prévia, de localização, e na Licença de Implantação, o que tem agilizado o processo.

Além disso, cinco das sete melhores áreas para exploração do potencial eólico no estado, incluindo Morro do Chapéu e Serra do Tombador, possuem linhas de transmissão de energia elétrica. As outras duas áreas – a região de Sobradinho, Sento Sé e Casa Nova, e a Serra do Estreito – estão em localidades próximas a subestações.

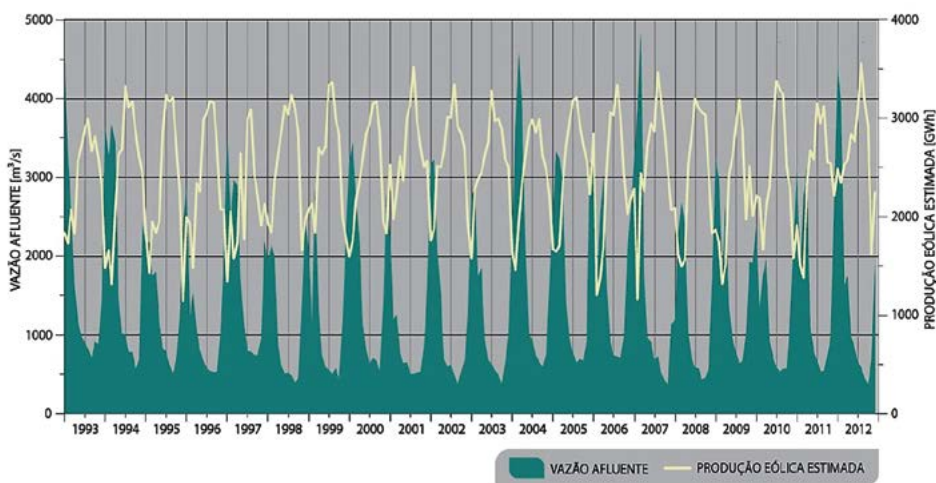
Ainda assim, segundo dados disponibilizados no Atlas eólico (2013), é comprovada a complementaridade entre a fonte eólica e a hidráulica do Rio São Francisco para geração de energia elétrica (Figura 5). Ou seja, a sazonalidade no potencial de ventos no estado da Bahia é inversamente proporcional ao período de maior vazão do Rio São Francisco, principal fonte para geração de energia elétrica por fonte hídrica.

Logo, desde os primeiros processos de licenciamento ambiental de empreendimentos geradores de energia elétrica por fonte eólica, é notória a estratégia estadual de velocidade. Ou seja, quanto maior a rotatividade dos processos em questão, maior o investimento no setor de energias renováveis e no estado da Bahia. Isso possibilita maior visibilidade, aumentando o interesse do setor privado em investir no estado, uma vez que os processos possuem maior garantia de sucesso devido às estratégias ofertadas pelo sistema estadual de licenciamento.

Segundo dados disponibilizados no Atlas eólico (2013), é comprovada a complementaridade entre a fonte eólica e a hidráulica do Rio São Francisco para geração de energia elétrica

Em 2016, a Bahia possuía 205 empreendimentos geradores de energia em operação, produzindo 9.492,777 MW de potência para o estado, segundo dados da Aneel

Figura 5
Vazão do Rio São Francisco x simulação de produção eólica com potencial de 8 GW



Fonte: Atlas eólico (2013).
Nota: alterado pelo autor.

CENÁRIO ATUAL NO ESTADO DA BAHIA

Em 2016, a Bahia possuía 205 empreendimentos geradores de energia em operação, produzindo 9.492,777 MW de potência para o estado, segundo dados da Aneel (Tabela 1). Apenas dez empreendimentos eram UHE, no entanto, com potência de 5.608,557 MW, responsáveis por 59,08% da matriz elétrica baiana. Em 05 de junho de 2016, 65 empreendimentos eólicos eram responsáveis por 17,3% da geração elétrica, com potência de 1.642,208 MW.

Tabela 1
Empreendimentos em operação - Bahia - Jun. 2016

Tipo	Quantidade	Potência (kW)	%
Eólica	65	1.642.208	17,3
UHE	10	5.608.557	59,08
Outros	130	2.242.012	23,62
Total	205	9.492.777	100

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2016).
Nota: alterado pelo autor.

Atualmente, existem 216 empreendimentos em operação, gerando 9.713,921 MW de potência para o estado, também segundo dados da Aneel (Tabela 2). Apenas dez empreendimentos são UHE, porém responsáveis por 57,74% da geração de energia elétrica na Bahia. Em 05 de julho de 2017, 71 empreendimentos eólicos eram responsáveis por aproximadamente 18% da matriz elétrica baiana, 1.750,14 MW. Ou seja, foram finalizados seis parques eólicos que estavam em construção, totalizando um crescimento de, aproximadamente, 7% para o período.

Tabela 2

Empreendimentos em operação - Bahia - junho 2017

Tipo	Quantidade	Potência (kW)	%
Eólica	71	1.750.140	18,02
UHE	10	5.608.557	57,74
Outros	130	2.355.224	24,24
Total	205	9.713.921	100

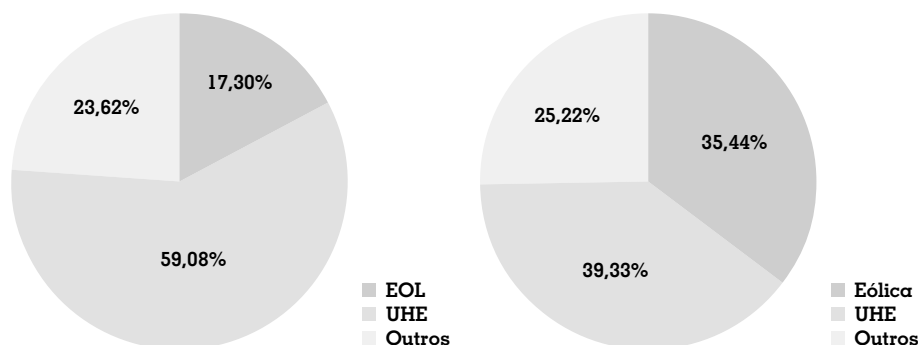
Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017).

Nota: alterado pelo autor.

Ainda segundo a Aneel, a geração de energia por fonte eólica no estado ainda possui muitas obras incompletas e não iniciadas. A potência total desses empreendimentos de UEE, juntamente com os em operação, equivale a 5.471,19 MW e a 56,33% da matriz elétrica baiana, em relação ao potencial instalado somente de empreendimentos em fase de operação (gráficos 1 e 2).

Gráficos 1 e 2

Potencial eólico no estado - Bahia - 2016



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2016).

Nota: alterado pelo autor.

A energia eólica no estado da Bahia obteve o maior crescimento dentre as outras fontes para geração de energia elétrica, passando de 18,02% para 56,33% (gráficos 3 e 4), uma vez que os outros empreendimentos em construção e com obras não iniciadas contribuem na escala de MW ($10^6 \times W$) em relação à eólica, que contribui na escala de GW ($10^9 \times W$). Quando comparado, observa-se que, em 2016, o estado tinha um potencial outorgado de 35,44% e potencial instalado de 17,3%.

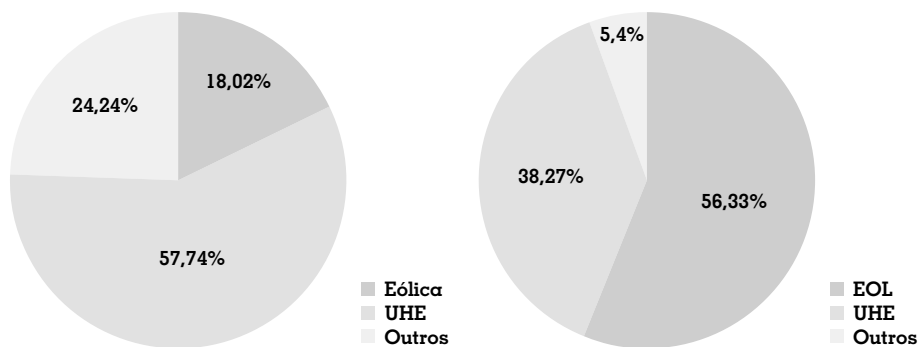
Ou seja, houve um acréscimo na geração de energia eólica de somente 0,72%, ou 107,932 MW, na matriz elétrica baiana, devido à operação de seis novos parques. Porém, o potencial outorgado aumentou aproximadamente 21% na colaboração para a matriz elétrica nas condições descritas. Embora com este acréscimo em números de energia, houve decréscimo de, aproximadamente, 137,4 MW.

A potência total desses empreendimentos de UEE, juntamente com os em operação, equivale a 5.471,19 MW e a 56,33% da matriz elétrica baiana, em relação ao potencial instalado somente de empreendimentos em fase de operação

O decréscimo identificado foi devido à conclusão das obras de empreendimentos geradores de energia elétrica por outras fontes, com exceção de UHE, em que se teve um aumento de 0,62%, ou 113, 212 MW, no período destacado

Gráficos 3 e 4

Potencial eólico no estado - Bahia - 2017



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017).

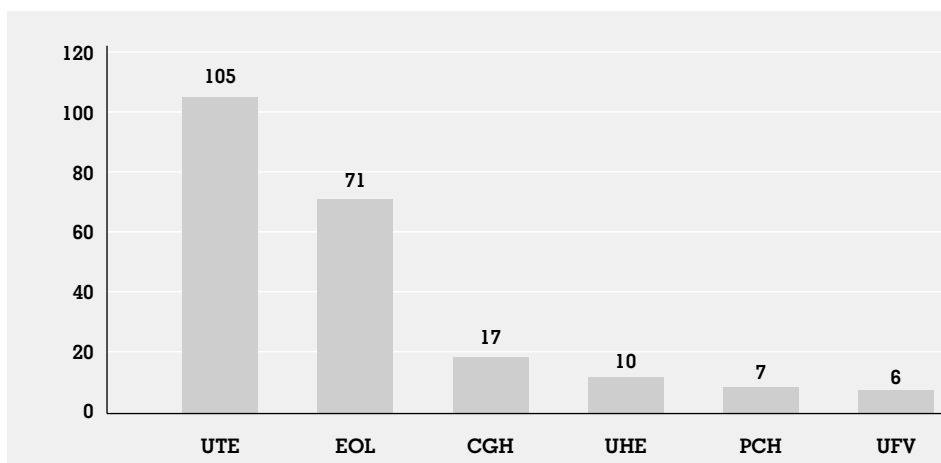
Nota: alterado pelo autor.

O decréscimo identificado foi devido à conclusão das obras de empreendimentos geradores de energia elétrica por outras fontes, com exceção de UHE, em que se teve um aumento de 0,62%, ou 113, 212 MW, no período destacado. Essas obras foram: usinas termoeletricas (UTE); pequenas centrais hidrelétricas (PCH); usina solar fotovoltaica (UFV) e central de geração hidrelétrica (CGH).

A distribuição de empreendimentos geradores de energia elétrica na Bahia é desproporcional, ou seja, 81,5% destes empreendimentos são UTE e parques eólicos com potencial instalado de aproximadamente 3,88 MW, sendo que apenas 1,2% destes empreendimentos são UHE, responsáveis por 57,74% da geração de energia elétrica no estado (Gráfico 5).

Gráfico 5

Quantidade de empreendimentos geradores de energia elétrica por fonte - Bahia - 2017



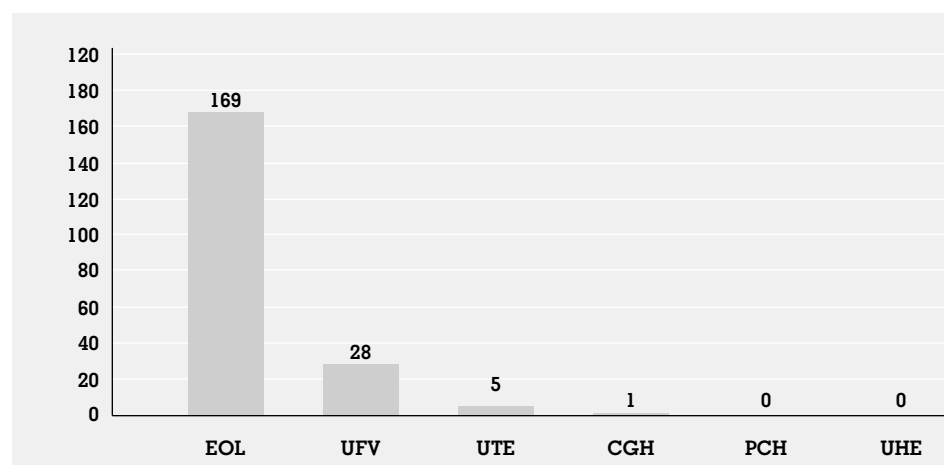
Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017).

Nota: alterado pelo autor.

Os empreendimentos em construção e com obras não iniciadas e o potencial de geração já outorgado e com processo de licenciamento ambiental já concluído ou em andamento são majoritariamente referentes à geração eólica (Gráfico 6). Isso confirma tanto o potencial das jazidas de ventos na Bahia, como o vantajoso processo de licenciamento em busca de praticidade e agilidade na adequação do uso e da ocupação do solo para este tipo de obra. Com isso, o investimento no estado torna-se viável devido às vantagens cedidas pelo governo estadual, trazendo impactos positivos sociais significativos, como oferta de emprego e renda, e também impactos negativos, que podem ser mitigados ou compensados.

Gráfico 6

Empreendimentos em construção ou com obras não iniciadas para geração de energia elétrica por diferentes fontes no estado da Bahia



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017).

Nota: alterado pelo autor.

A tendência no estado da Bahia, para geradores de energia elétrica, pode ser identificada no Gráfico 7, que mostra todos os empreendimentos outorgados para esse tipo de geração, estejam eles em operação, construção ou com obras não iniciadas. A eólica lidera com 240 projetos, seguida das usinas termoeletricas, com 109.

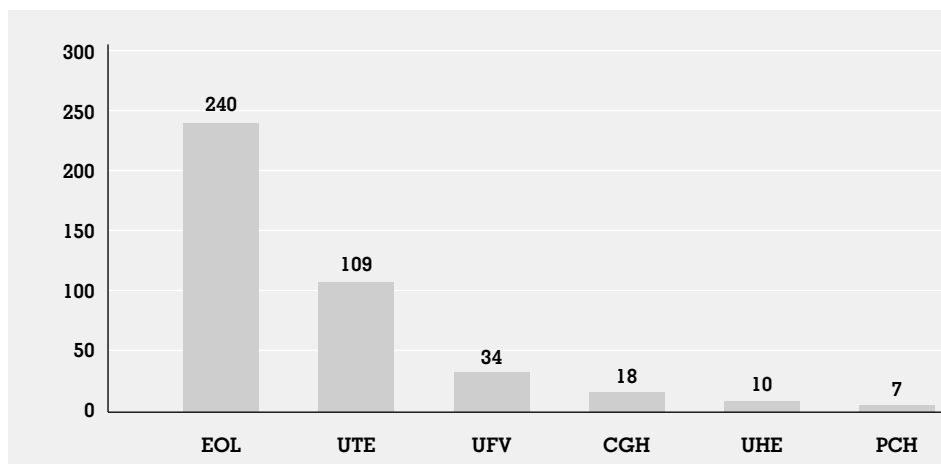
Mesmo com restrita porcentagem de áreas no estado, por conta das particularidades já discutidas, e com a grande demanda para geração elétrica por fonte eólica, ainda existem áreas significativas com potencial não outorgado. Com isso, com o passar dos anos, à medida que novos leilões forem realizados, será possível a continuidade da expansão desta energia em relação às outras, que sofrem restrições em razão de conflitos no uso e na ocupação do solo e do elevado custo de produção.

À medida que novos leilões forem realizados, será possível a continuidade da expansão desta energia em relação às outras, que sofrem restrições em razão de conflitos no uso e na ocupação do solo e do elevado custo de produção

O potencial outorgado de energia eólica no estado da Bahia em leilões também vem aumentando devido à maior agilidade dada ao processo de licenciamento ambiental em seus trâmites legais

Gráfico 7

Total de empreendimentos para geração de energia elétrica por diferentes fontes - Bahia - 2017



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017).
Nota: alterado pelo autor.

CONCLUSÃO

O grande potencial de ventos para geração de energia elétrica, concentrado no interior da Bahia, é uma fonte alternativa e renovável para a descentralização da matriz elétrica baiana. O aproveitamento desse tipo de energia, de modo complementar à fonte hidráulica, é fundamental para impulsionar a economia e a promoção da saúde, da qualidade de vida e da sustentabilidade ambiental.

A estratégia estadual, visando dar maior celeridade ao processo de licenciamento ambiental na Bahia, possibilita maior rotatividade da demanda por esse tipo de geração. Tal processo, realizado em consonância entre o órgão ambiental estadual e a CTGA do estado, pode diminuir possíveis erros no projeto, que se torna mais ágil, atraindo mais investidores.

O potencial outorgado de energia eólica no estado da Bahia em leilões também vem aumentando devido à maior agilidade dada ao processo de licenciamento ambiental em seus trâmites legais. Portanto, é notória a eficácia da atuação conjunta entre o órgão e a comissão, o que possibilita a manutenção do projeto inicial e maior celeridade no seu andamento.

Porém, ainda é necessária a resolução dos problemas legais quanto ao uso e à ocupação do solo de áreas preservadas e protegidas por lei, assegurando a sustentabilidade ambiental para garantir e promover condições ideais de vida. Para isso, é fundamental a integração entre

o poder público, o setor privado e a sociedade civil organizada para a adequação dos novos projetos.

O potencial instalado das usinas hidrelétricas, também associado ao sistema estudado, assegura a energia elétrica necessária ao estado e possibilita maior exportação desta. Assim, o sistema híbrido composto pela inserção da fonte eólica na matriz baiana torna-se uma alternativa para limitar a expansão de novas hidrelétricas com reservatório. Isso se verifica pelo alto potencial de geração da fonte eólica em uso ou disponível, e pela sua complementaridade quando associada às usinas hidrelétricas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Banco de informações de geração*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

AMARANTE, O. A. C. do et al. *Estado da Bahia: atlas do potencial eólico*. Salvador: COELBA, 2002. 61 p.

AMARANTE, O. A. C. do et al. *Atlas do potencial eólico brasileiro*. Brasília: MME; ELETROBRÁS; CEPEL, 2001. 44 p.

ATLAS eólico: Bahia. Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI; SEINFRA; CIMATEC/SENAI, 2013. 96 p.

BAHIA. Decreto nº 14.024 de 06 de junho de 2012. Aprova o Regulamento da Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006, que instituiu a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia, e da Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial [do] Estado*, Salvador, 7 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.sema.ba.gov.br>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

_____. Decreto nº 15.682 de 19 de novembro de 2014. Altera o Regulamento da Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006 e da Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009, aprovado pelo Decreto nº 14.024, de 06 de junho de 2012. *Diário Oficial [do] Estado*, Salvador, 27 nov. 2014. Disponível em: <<http://www.sema.ba.gov.br>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

BAHIA. Lei nº 11.612 de 08 de outubro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado da Bahia*,

Salvador, 9 out. 2009. Disponível em: <[http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/Lei_11612\[1\].pdf](http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/Lei_11612[1].pdf)>. Acesso em: 6 jun. 2017.

BAHIA. Lei Estadual nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado da Bahia*, Salvador, 21 dez. 2006. Disponível em: <<http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2014/10/LEI-10431-2006.pdf>>. Acesso em: 6 jul. 2017.

BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. *Invista na Bahia*. Disponível em: <<http://www.sde.ba.gov.br/>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

BARDELIN, C. E. A. *Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica*. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 29 fev. 2016.

_____. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 29 abr. 2002. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110438.htm>. Acesso em: 11 maio 2016.

_____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o artigo 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 19 jul. 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. Acesso em: 6 jul. 2017.

BRASIL. Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, altera as Leis nos 8.631, de 4 de março de 1993, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 12 nov. 2003. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.762.htm>. Acesso em: 6 jun. 2017.

_____. Ministério de Minas e Energia. Portaria nº 105, de 31 de março de 2015. Reconhece a necessidade de importação de energia elétrica da República Oriental do Uruguai, de forma excepcional e temporária. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 01 abr. 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1942329/Portaria+105+de+31-03-2015+Publicado+no+DOU+01-04-2015/44d8e428-40ee-46cb-9e48-2a02abf2e7af;jsessionid=400600909AA8005F7C4C2FFF0E80A3CD.srv155>>. Acesso em: 8 jul. 2017

CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. G. F. *Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. Rio de Janeiro: Elsevier; Campus, 2013. 789 p..

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *Leilões de energia elétrica*. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/>>. Acesso em: 6 jun. 2016.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução 279, de 27 de junho de 2001. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 29 jun. 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=277>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

_____. Resolução 396, de 29 de março de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 29 mar. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/legiabre.cfm?codlegi=489>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

_____. Resolução 462, de 24 de julho de 2014. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, altera o art. 1º da Resolução CONAMA nº 279, de 27 de julho de 2001, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 25 jul. 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=703>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução 006, de 24 de janeiro de 1986. Aprova os modelos de publicação de pedidos de licenciamento em quaisquer de suas modalidades, sua renovação e a respectiva concessão e aprova os novos modelos para publicação de licenças. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res86>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (BA). Resolução nº 2.933 de 22 de fevereiro de 2002. Aprova a Norma Técnica NT-002/02, que dispõe sobre Gestão Integrada e Responsabilidade Ambiental, para as Empresas e Instituições com atividades sujeitas ao Licenciamento Ambiental, no Estado da Bahia. *Diário Oficial do Estado da Bahia*, Salvador, 23 fev. 2002 Disponível em: <<http://oads.org.br/leis/2863.pdf>>. Acesso em: 6 jul. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Proposta para a expansão da geração eólica no Brasil*. Rio de Janeiro: EPE, 2009. (Nota Técnica PRE 01/2009-r0).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Base de dados georreferenciados: sedes municipais*. Brasília: IBGE, 1976.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. *Base de dados georreferenciados: polígonos municipais da Bahia*. Salvador: SEI, 2016.

Resumo

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) tornou-se um sucesso, elevando o Brasil a figurar entre os maiores produtores e consumidores mundiais deste biocombustível. Todavia, o marco regulatório do PNPB apresenta algumas barreiras institucionais. Os objetivos deste trabalho, portanto, foram diagnosticá-las e sugerir estratégias e proposições para resolvê-las, melhorando a competitividade da cadeia. Para tanto foi utilizado o Método dos Fatores Estruturantes aplicados à Cadeia Produtiva do Biodiesel. Como resultado, foi possível constatar que as mudanças ocorridas no marco regulatório do biodiesel ao longo de mais de uma década foram apontadas como favoráveis, mas o PNPB ainda falha nos objetivos de inclusão social, mesmo com o sistema de leilões e com a adoção do Selo Combustível Social.

Palavras-chave: Quadro regulatório. Biodiesel. Competitividade.

Abstract

The National Program for the Production and Use of Biodiesel (PNPB) became a success, bringing Brazil to be among the largest producers and consumers in general of this biofuel. However, its regulatory framework raises many questions. The objectives of this study were to diagnose as institutional barriers found in the regulatory framework of the PNPB and to suggest strategies and proposals to solve them, improving a chain competitiveness. For that, the Structural Factors method applied to the Biodiesel Production Chain was used. As a result, it was possible to verify that the changes occurred in the regulatory framework of biodiesel over more than a decade were pointed out as favorable, but the PNPB still fails in the objectives of social inclusion, even with the auction system and with an adoption Social Fuel Seal.

Keywords: Regulatory framework. Biodiesel. Competitiveness.

Aplicação do modelo de competitividade FE-CAPBIO na análise do marco regulatório do biodiesel no Brasil¹

MARCELO SANTANA SILVA

Pós-doutor em Engenharia Industrial e doutor em Ciências, Energia e Ambiente, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA); mestre em Regulação da Indústria de Energia, pela Universidade de Salvador (Unifacs) e especialista em Economia de Empresas e graduado em Economia, pela Universidade de Estadual de Santa Cruz (UESC). Professor do Instituto Federal da Bahia (IFBA) e professor permanente do Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação do IFBA; professor participante do Doutorado em Ciências, Energia e Ambiente, do Mestrado e Doutorado do Programa de Engenharia Industrial da UFBA; pesquisador do Grupo de Pesquisa do Laboratório de Energia e Gás da UFBA e de Ecologia Industrial do IFBA.
marcelosilva@ifba.edu.br

EDNILDO ANDRADE TORRES

Pós-doutor em Energia Renovável e Biocombustíveis, pela Florida Agricultural and Mechanical University (FAMU/FSU US); doutor em Engenharia Mecânica, pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); mestre em Engenharia Mecânica, pela Universidade de São Paulo (USP) e graduado em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor titular da UFBA e professor permanente do Doutorado em Ciências, Energia e Ambiente e do Mestrado e Doutorado do Programa de Engenharia Industrial da UFBA e coordenador do Grupo de Pesquisa do Laboratório de Energia e Gás e do Centro de Energia e Ambiente da UFBA.
ednildotorres@gmail.com

FÁBIO MATOS FERNANDES

Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial, pela Faculdade de Tecnologia (Senai); doutorando em Engenharia Industrial e especialista em Administração de Serviços, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e graduado em Administração, pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Professor auxiliar da Universidade do Estado da Bahia (Uneb).
fmfernandes@uneb.br

A INSERÇÃO e o aumento da participação de fontes renováveis de energia, que reduzam a dependência de recursos não renováveis nas matrizes energéticas nacionais, tornaram-se um dos grandes desafios políticos para o desenvolvimento sustentável em vários países. Neste contexto, os biocombustíveis são vistos como uma saída, pois contribuem significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a geração de empregos.

No Brasil, a produção de etanol e biodiesel responde por 21,4% da matriz energética de transporte, participação superior à dos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), onde este percentual é de 4,1% (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2016).

No caso do biodiesel, o governo brasileiro fomentou uma política intersetorial que resultou na criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) em 2005.

¹ Trabalho oriundo da tese de doutorado do primeiro autor.

A motivação desta pesquisa foi justamente poder contribuir com a temática nas áreas de regulação e de gestão econômica e social

Este programa é tido como inovador, pois desenvolveu um mercado interno 'a partir do zero', estimulando o investimento privado na formação do parque industrial do biodiesel e contemplando aspectos sociais, como a inclusão da agricultura familiar nesta cadeia produtiva (PEDROTI, 2013).

Os instrumentos regulatórios do PNPB possuem uma complexa engenharia institucional, com destaque para a Lei nº 11.097/2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira (BRASIL, 2005), e a Lei nº 13.263/2016, que estabeleceu critérios para a expansão do percentual de mistura do biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, passando de 7% (B7) em 2016 para 8% (B8) em 2017, 9% (B9) em 2018 e 10% (B10) em 2019. Esse percentual poderá chegar a 15% (B15), caso testes e ensaios em motores validem a utilização dessa mistura (BRASIL, 2016). Contudo, para estimular corretamente o investidor, o marco regulatório precisa ser estável, claro o suficiente e ter um sentido bem definido, independentemente das correções que se fizerem necessárias posteriormente.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivos: diagnosticar as barreiras institucionais encontradas no marco regulatório do PNPB e sugerir estratégias e proposições para resolvê-las à luz dos fatores estruturais de um modelo de competitividade.

A problemática da pesquisa reside na ideia de que o marco regulatório do PNPB e os mecanismos que ele introduz são insuficientes para que se estabeleçam alterações substantivas para melhorar a competitividade na cadeia produtiva do biodiesel no Nordeste, em especial no estado da Bahia. Com base neste questionamento, foi levantada a hipótese de que o desenho institucional do programa não tem sido capaz de promover alterações significativas que impulsionem novas instalações de usinas de biodiesel e que promovam a fixação das existentes, de modo a consolidar outros agentes de fomento dessa cadeia, bem como aumentar a área plantada de oleaginosas (mamona e palma, especialmente) para fortalecer o mercado nacional de biodiesel.

A motivação desta pesquisa foi justamente poder contribuir com a temática nas áreas de regulação e de gestão econômica e social, pois a maioria dos estudos relaciona-se apenas com os processos químicos e genéticos dessa fonte energética.

METODOLOGIA

A abordagem metodológica adotada pode ser classificada como aplicada, qualitativa-descritiva com aplicação, na qual foi utilizado o método dos Fatores Estruturantes aplicados à Cadeia Produtiva do Biodiesel (FE-Capbio) proposto por Silva (2015).

O FE-Capbio é um desdobramento dos seguintes modelos de análise da competitividade: Diamante Nacional de Porter (PORTER, 2004); Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira (ECIB) (FERRAZ; KUPFER; HAGUENAUER, 1997); direcionadores de competitividade (VAN DUREN et al., 1991). Esse método se desdobra em cinco fatores: 1) fatores institucionais e legais; 2) fatores econômicos e estruturais; 3) fatores tecnológicos e de inovação; 4) fatores empresariais e; 5) fatores agrossocioambientais. Para cada elemento temático do FE-Capbio são atribuídos subelementos temáticos (Quadro 1).

Quadro 1

Fatores estruturantes aplicados à Cadeia Produtiva do Biodiesel e principais elementos temáticos

Fatores estruturantes da Capbio	Elementos temáticos	Subelementos temáticos
Fatores institucionais e legais	Marco legal	Lei 11.907/2005 e outras legislações Selo Combustível Social Leilões de biodiesel
	Políticas públicas	Políticas e programas específicos Políticas de polos de biodiesel
Fatores econômicos e estruturais	Macroeconômico	Taxa de câmbio Tributação Crédito e financiamento Endividamento Inflação Exportação e importação
	Microeconômico	Demanda e oferta Produção e custos Estrutura de mercado
	Infraestrutura	Logística Armazenamento Maquinários Condições de rodovias
Fatores tecnológicos e de inovação	Inovação tecnológica	Rotas tecnológicas Usos dos coprodutos Equipamentos industriais Qualidade do biodiesel
	Capacitação tecnológica	Pesquisa e desenvolvimento Redes de cooperações instituições
Fatores empresariais	Gestão	Planejamento estratégico Gestão empresarial e técnica Assistência técnica
	Informação e educação	Recursos humanos Treinamento Relacionamento com os agentes da cadeia
Fatores agrossocioambientais	Questões agronômicas	Cultivares disponíveis Sementes certificadas Zoneamento agrícola
	Questões sociais	Políticas de inclusão social Geração de emprego e renda
	Questões ambientais	Impactos ambientais Condições edafoclimáticas Zoneamento ecológico e econômico Emissão de poluentes

Fonte: Silva (2015).

A regulação do biodiesel tem evoluído de forma mais ou menos coordenada com outras políticas setoriais e com as próprias demandas sociais, isto porque a legislação não é estática

Este trabalho analisou especificamente os fatores institucionais e legais, levando em consideração a Lei nº 11.097/2005; o Selo Combustível Social e os leilões de biodiesel.

O modelo FE-Capbio foi desdobrado em três etapas. A primeira foi a realização de um levantamento bibliográfico que permitiu compreender e caracterizar competitividade, cadeia produtiva do biodiesel e agricultura familiar no Brasil. Na segunda etapa, foram selecionados os fatores e os elementos temáticos correspondentes aos fatores institucionais e legais. Por fim, na terceira fase, foram avaliados os impactos gerados pelos subfatores selecionados e sua contribuição para o efeito agregado da competitividade.

Para contemplar a segunda e a terceira etapas, entrevistas em profundidade com especialistas ligados à cadeia do biodiesel foram realizadas, envolvendo: pesquisadores, usina de biodiesel, cooperativas, agricultores familiares, órgãos governamentais de fomento agrícola e assistência técnica.

Em seguida, utilizando-se do método de amostragem intencional, foram realizadas coletas de dados primários através da aplicação de 28 questionários com agentes especialistas em biodiesel nas regiões do Baixo Sul (produção de palma) e de Irecê (produção de mamona), no estado da Bahia, com o intuito de avaliar as percepções desses agentes a respeito do fator pesquisado.

COMPETITIVIDADE DA CADEIA PRODUTIVA DO BODIESEL: AVALIAÇÃO DOS FATORES INSTITUCIONAIS E LEGAIS

O principal marco regulatório que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira e que também autoriza seu uso comercial no país, considerando a diversidade de matérias-primas disponíveis, é disposto pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Essa regulação incluiu no Artigo 1º da Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997 (que dispõe sobre a Política Energética Nacional), o inciso XII que diz: “XII - incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional” (BRASIL, 1997).

A regulação do biodiesel tem evoluído de forma mais ou menos coordenada com outras políticas setoriais e com as próprias demandas sociais, isto porque a legislação não é estática.

Neste sentido, se faz necessária a reflexão da Lei 9.478/1997 em seus vários pontos pertinentes ao fomento dos biocombustíveis no país,

além da inserção da Lei nº 12.490, de 2011, que complementa a Política Energética Nacional com os seguintes incisos:

- XIII - garantir o fornecimento de biocombustíveis em todo o território nacional;
- XIV - incentivar a geração de energia elétrica a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis, em razão do seu caráter limpo, renovável e complementar à fonte hidráulica;
- XV - promover a competitividade do País no mercado internacional de biocombustíveis;
- XVI - atrair investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem de biocombustíveis;
- XVII - fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável;
- XVIII - mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes, inclusive com o uso de biocombustíveis. (BRASIL, 2011a).

Conhecida como a Lei do Biodiesel, a Lei nº 11.097/05 propõe-se inovadora ao definir, obrigatoriamente, como um de seus pilares no marco regulatório, a inclusão de agricultores familiares na cadeia de comercialização do produto. Vale destacar que o aspecto social foi, no primeiro momento, a principal justificativa para o lançamento do PNPB, ao procurar inserir os pequenos produtores rurais na cadeia produtiva do biodiesel como fornecedores de oleaginosas (BRASIL, 2011b).

Diante desse cenário, a inserção da agricultura familiar no mercado do biodiesel ganha importância estratégica na criação de mais postos de trabalho, na melhoria da renda e na erradicação da pobreza no campo e em outras áreas carentes do Brasil, a exemplo das regiões Norte e Nordeste.

Para viabilizar a estratégia social do PNPB, o governo brasileiro, através do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), implementou uma série de estratégias, entre as quais, o projeto Polos de Biodiesel, o apoio às cooperativas e o Selo de Combustível Social (SCS)².

² Identificação concedida ao produtor de biodiesel que, voluntariamente, decide cumprir os critérios descritos em sua norma vigente, conferindo-lhe o status de promotor da inclusão social dos agricultores familiares enquadrados no Programa Nacional de Agricultura Familiar (Pronaf).

A Lei do Biodiesel, a Lei nº 11.097/05 propõe-se inovadora ao definir, obrigatoriamente, como um de seus pilares no marco regulatório, a inclusão de agricultores familiares na cadeia de comercialização do produto

É importante frisar que o selo é pré-requisito para a participação de venda de biodiesel nos leilões realizados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP)

Enquanto o projeto Polos de Biodiesel e o apoio às cooperativas são executados em nível microrregional ou territorial no Brasil, com o intuito de organizar as bases produtivas de oleaginosas e facilitar a inserção da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel, o SCS envolve os produtores de biodiesel e a compra de matéria-prima, ou seja, o detentor do selo assume o compromisso de adquirir um percentual mínimo de matéria-prima proveniente da agricultura familiar, no ano de produção do biodiesel, além de estabelecer contratos de compra e venda de matérias-primas e garantir a assistência técnica e a capacitação de todos os agricultores familiares contratados (BRASIL, 2011b, 2012b).

Em contrapartida, o produtor de biodiesel, detentor do SCS, obtém alíquotas reduzidas de impostos³, acesso a melhores condições de financiamento e reserva de mercado de 80% do volume de biodiesel comercializado via leilões. Em dezembro de 2015, o Brasil contava com 48 unidades produtoras de biodiesel distribuídas nas suas cinco regiões, com uma capacidade instalada de 7.316 mil m³/ano (BOLETIM DOS BIOCOMBUSTÍVEIS, 2017).

É importante frisar que o selo é pré-requisito para a participação de venda de biodiesel nos leilões realizados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP) e que, sem este selo, as usinas somente poderão participar da fatia de 20% do total colocado em cada leilão. Dessa forma, a obtenção do selo não é apenas opcional, e, sim, essencial para as usinas de biodiesel.

Apesar do apoio dado pelo governo para a organização e a inserção da agricultura familiar no PNPB e da quantidade de usinas que aderiram ao SCS, a realidade dos agricultores familiares inseridos no programa difere muito entre as regiões brasileiras (SILVA, 2015). Passada quase uma década desde a implementação do PNPB, esses agricultores, especialmente os da Região Nordeste, ainda enfrentam sérios problemas para se inserir no mercado de biodiesel brasileiro (SILVA et al., 2014a). Como exemplo, o trabalho de Oliveira e outros (2014) também demonstrou que, apesar dos estímulos dados pelo governo federal ao programa, este não conseguiu deslançar em uma comunidade rural de determinado município baiano, e os agricultores familiares locais resolveram abandonar o plantio da mamona para o biodiesel.

Esta pesquisa, portanto, busca entender o impacto dos marcos regulatórios voltados para os agricultores familiares, no contexto do PNPB no Brasil e na Bahia; identificar os atores-chave envolvidos na organização do PNPB/Bahia; levantar e discutir os fatores de competitividade, de

3 O coeficiente de redução das alíquotas dos impostos PIS/Pasep e Cofins varia de acordo com a matéria-prima adquirida e a região da aquisição.

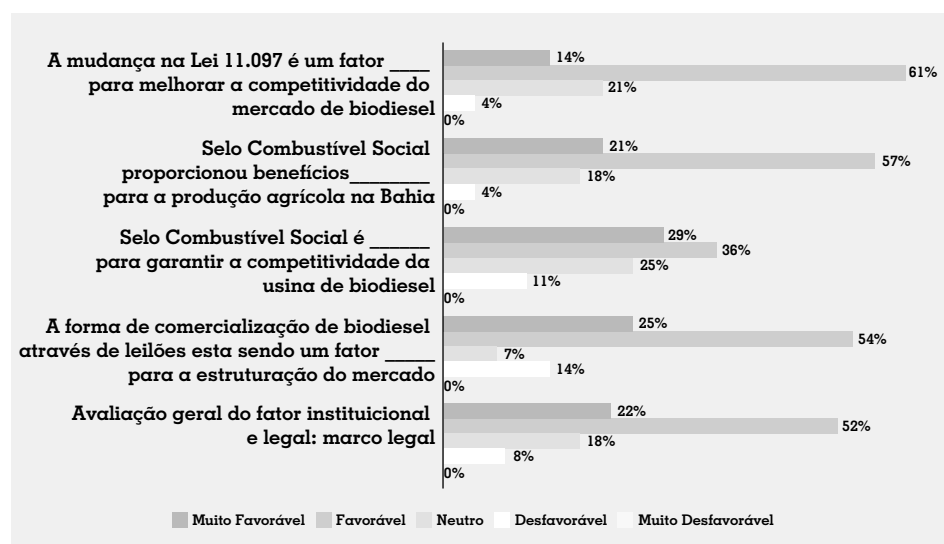
acordo com os instrumentos analíticos previamente identificados; comparar elementos teóricos e práticos que induzam a possíveis ações e propostas para viabilizar a produção de oleaginosas destinada ao PNPB pelos agricultores familiares, bem como sugerir melhorias no marco regulatório do programa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos questionários aplicados aos agentes especialistas presentes na cadeia produtiva do biodiesel com relação aos elementos temáticos dos fatores institucional e legal, com foco no marco legal, são apresentados na Figura 1, seguidos por uma discussão acerca das percepções dos entrevistados e por uma revisão bibliográfica.

Figura 1

Avaliação dos fatores institucionais e legais, com foco no marco legal, de acordo com a percepção dos agentes especialistas em biodiesel



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados da pesquisa.

Conforme os dados apresentados, a implementação da Lei 11.097/2005 e suas diversas mudanças no marco regulatório do biodiesel foram consideradas bastante favoráveis, representando 75% no total (favorável/muito favorável). Este ponto corrobora as falas dos entrevistados em relação à energia como um negócio estratégico para o desenvolvimento econômico, levando-se em conta que a tendência crescente dos preços do petróleo no mercado mundial tornou imperativa a busca de outras fontes de energia, sobretudo as renováveis. Ou seja, a necessidade de introduzir o biodiesel na matriz energética do país configura-se como uma alternativa, e a Lei 11.097/2005 significa um avanço em termos de competitividade do mercado na área de energias renováveis. Neste

A necessidade de introduzir o biodiesel na matriz energética do país configura-se como uma alternativa, e a Lei 11.097/2005 significa um avanço em termos de competitividade do mercado na área de energias renováveis

Pode-se dizer que o PNPB é inovador em sua tentativa de instituir um novo mercado baseado em critérios social, ambiental e econômico

sentido, houve consenso entre os entrevistados em torno do biodiesel como combustível capaz de reduzir a dependência do petróleo.

Por sua vez, Diniz e Favareto (2012) argumentam que, no Brasil, as expectativas do marco regulatório expresso no PNPB, de promover a diversidade de matérias-primas, a oportunidade de participação da agricultura não intensiva e a melhoria em sistemas produtivos agrícolas em regiões menos favorecidas, têm-se mostrado insuficientes. Ao tentar por em prática tais objetivos, o programa depara-se com estruturas de produção e relações socioeconômicas locais bastante diferentes, ao mesmo tempo em que possibilita que grupos e agentes em torno de outras atividades agropecuárias predominantes nas regiões exerçam influência sobre a sua própria implantação.

Neste contexto, o trabalho de Santos e Wehrmann (2010) afirma que a agroenergia no Brasil ainda não quebra o paradigma tradicional de acumulação de capital típico da atividade agroindustrial, citando-a como mais um exemplo da existência de falhas na ação estatal e na execução do PNPB, ao induzir o crescimento do mercado por meio de subsídios, crédito, regulamentação e SCS, sem levar em consideração as diferenças nas potencialidades agrícolas regionais.

Vários trabalhos, a propósito, apontam problemas no que se refere à participação de diferentes agentes submergidos no processo e nos arranjos produtivos de matérias-primas para o PNPB (BUAINAIN; GARCIA, 2008; DINIZ, 2010; CESAR; BATALHA, 2011; FERNANDES, 2013). Além disso, o marco regulatório da tributação do biodiesel está enviesado para garantir a competitividade das regiões mais desenvolvidas, mesmo com a redução das tributações federais para as regiões mais carentes e com algumas oleaginosas selecionadas (SILVA et al., 2014b).

Pode-se dizer que o PNPB é inovador em sua tentativa de instituir um novo mercado baseado em critérios social, ambiental e econômico. Um aspecto que foi relatado pelos entrevistados é que o programa apresenta iniciativas corretas no sentido de promover uma maior participação de cooperativas de agricultores familiares e suas entidades associativas, além de criar de um mercado compulsório, através da obrigatoriedade de adição do biodiesel ao diesel, o que prevê a participação da agricultura familiar em parceria com a iniciativa empresarial. Pode-se afirmar ainda que o governo estabeleceu o marco regulatório deixando que os empresários do ramo de biodiesel se tornassem os legítimos responsáveis pelos problemas na prática.

Estes pontos são fortemente encorajados por diversos autores, que afirmam que os resultados até o momento permitem concluir que é perfeitamente possível conciliar a participação de grandes corporações com

a da agricultura familiar, e que o programa já está favorecendo muitos agricultores familiares, alterando positivamente o mercado de mamona na Bahia, com a elevação do preço do produto, e tornando o negócio mais lucrativo para a maioria dos produtores (CAMPOS; CARMÉLIO, 2009; LOPES, 2010).

Conforme os dados apurados, o SCS foi considerado bastante favorável, ao garantir a competitividade da usina de biodiesel e proporcionar benefícios significativos para a produção agrícola na Bahia, representando 78% e 65% respectivamente, no total acumulado (muito favorável/favorável).

O SCS trata-se de uma certificação com reduções tributárias, fornecida às usinas de biodiesel que adquirem oleaginosas produzidas pela agricultura familiar, de acordo com o percentual de cada região. Pode-se dizer que é uma das mais importantes políticas do governo para desenvolver a produção de biodiesel no país. Para conseguir o selo, as usinas devem tomar uma série de medidas que visem à inclusão dos pequenos agricultores no processo de produção das oleaginosas. As principais medidas são: adquirir do agricultor familiar matéria-prima para a produção de biodiesel em parcela percentual não inferior à definida pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) e assegurar assistência e capacitação técnica aos agricultores familiares.

Segundo a percepção dos entrevistados, a participação e o fortalecimento da agricultura familiar são questionados mediante os impactos trazidos com o aumento na produção de matérias-primas para a produção de biodiesel. Alguns entrevistados citam que o selo não cria a obrigatoriedade de a usina de biodiesel adquirir pelo menos um percentual mínimo de matérias-primas no estado ou na região onde está instalada, ou até mesmo em transformar a matéria-prima comprada em combustível, isto quer dizer que a usina pode ter o SCS e fazer toda a aquisição de suas matérias-primas fora do estado, além de poder revendê-las a terceiros. Este é o cenário encontrado nas duas usinas instaladas na Bahia, que compram matérias-primas fora do estado para atender ao SCS, o que foi confirmado por um dos gerentes de um dos empreendimentos.

No trabalho de Silva e outros (2014c), bem com entre os pesquisados, o relato é de que as usinas não têm interesse na matéria-prima produzida pelos agricultores familiares – por exemplo, os cachos de palma do Baixo Sul da Bahia, que apresentam alto índice de acidez –, tampouco lhes importa se a produção de biodiesel é oriunda de oleaginosas produzidas no município, ou se vai impactar positivamente na geração de emprego e renda. O que realmente interessa às usinas são as assinaturas dos contratos com os agricultores familiares para a obtenção dos incentivos tributários do SCS.

O SCS
trata-se
de uma
certificação
com reduções
tributárias,
fornecida às
usinas de
biodiesel que
adquirem
oleaginosas
produzidas
pela
agricultura
familiar, de
acordo com o
percentual de
cada região

O que se observa atualmente é que o SCS tem significado um mecanismo de incentivo para as usinas, mas não de suporte dos objetivos de inclusão do PNPB

Para um grupo de entrevistados, embora o selo tenha sido idealizado e definido com o propósito de incluir a agricultura familiar na cadeia do biodiesel e diminuir as disparidades regionais via incentivos fiscais, parece estar funcionando como um inibidor ou um entrave à atração de novas usinas para as regiões menos desenvolvidas, pois o custo de entregar sementes e prestar assistência técnica é muito elevado. Isto foi apontado na entrevista por representantes das usinas e também por Dorneles (2012) ao afirmar que a entrega de sementes e o custo de assistência técnica realizada na Região Nordeste são muito desiguais e diferentes quando comparados com as outras regiões (Sul, Sudeste e Centro-Oeste).

Com relação às aquisições de oleaginosas dentro do Nordeste, o semiárido, o percentual obrigatório no início do programa (que era de 50%) era considerado muito elevado, o que afugentava novos investimentos na região. Mesmo com uma redução (para 30%) de aquisição de oleaginosas, não foi observado aumento de novas usinas no Nordeste, em especial na Bahia (SILVA et al., 2014b). Isto significa dizer que os outros 70%, que poderão ser outras matérias-primas, não serão contabilizados nas reduções de impostos federais (PIS/Cofins). Em termos de competitividade, as usinas que estão nas regiões mais desenvolvidas com contrapartidas menores foram as mais beneficiadas, o que pode ser comprovado na concentração de mercado do biodiesel nas regiões do agronegócio brasileiro (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2010).

Outro ponto comentado pelos entrevistados foi com relação ao “fator multiplicador” para o cálculo do percentual mínimo de aquisições da agricultura familiar e de cooperativas. Se as usinas adquirirem matérias-primas oriundas das regiões Nordeste e Semiárido, o “fator multiplicador” adotado será multiplicado por dois ao valor total das aquisições. Já para as aquisições de cooperativas da agricultura familiar das respectivas regiões, o “fator multiplicador” será de 1,5, conforme o inciso 7 do artigo 4º da Portaria 60/2012 (BRASIL, 2012b). Isto quer dizer que não foram os 30% de volume físico de matérias-primas oriundas da agricultura familiar que diminuíram o volume de oleaginosas produzidas e entregues pelos agricultores familiares. Outros fatores estão, de certa forma, facilitando a situação econômica das usinas, o que pode comprometer ainda mais o propósito de inclusão social do programa.

O que se observa atualmente é que o SCS tem significado um mecanismo de incentivo para as usinas, mas não de suporte dos objetivos de inclusão do PNPB. Isto porque, em vez de alcançar o pequeno agricultor, que seria o alvo inicial, o selo torna-se uma credencial que permite acesso aos incentivos fiscais para as indústrias, além de facilitar o acesso destas à comercialização nos leilões. Portanto, o atual programa de incentivo à produção de biodiesel criado pelo governo, que visa

beneficiar a agricultura familiar, tem-se mostrado interessante, porém ineficiente para alcançar grande produção de oleaginosas e fomentar o PNPB, basta verificar os dados histórico da produção de mamona e palma na Bahia, bem como a inexistência da cultura de soja oriunda de agricultores familiares no estado da Bahia (SILVA, 2015).

Os entrevistados observaram também que atualmente as usinas não pagam o bônus financeiro por quantidade de oleaginosas adquiridas aos agricultores das regiões de Irecê e Valença, bem diferente do sistema de comercialização de outras regiões brasileiras. Na pesquisa, foi relatado pelos entrevistados que, no início do programa, a ex-usina Brasil Ecodiesel pagava R\$ 12 por saca para uma cooperativa da região de Irecê. De acordo com alguns relatos, “foi um tempo de glória e euforia”, levando a Cooperativa da Agricultura Familiar (Coopaf), localizada em Morro do Chapéu, a ter mais de seis mil cooperados e inseridos no SCS. Isto pode ser comprovado no trabalho de Lopes (2010), que cita a aquisição por parte da Coopaf, na safra 2008/2009, de 12.505 toneladas de mamona, compradas de seis agricultores cadastrados.

Corroborando a pesquisa, Diniz (2010) afirma que o SCS é uma ferramenta do PNPB que não tem gerado os resultados esperados, e que o motivo responsável por essa falha é a fragilidade dos incentivos, criados a fim de estabelecer formas de governança e de troca nos arranjos produtivos para o PNPB.

Quanto à forma de comercialização, esta foi considerada como muito favorável/favorável por 79% dos entrevistados devido à estruturação do mercado de biodiesel. A criação dos leilões de biodiesel, pelo governo, foi uma forma de incentivar a produção inicial e ter a garantia de que a produção desse combustível fosse comprada, ou seja, o objetivo da estratégia dos leilões foi a garantia de uma demanda constante para o biodiesel no mercado brasileiro, estimulando o desenvolvimento do potencial da cadeia produtiva de diversas matérias-primas no país, através de uma política de aquisições de forma regulada.

Depois de muitas revisões na forma de realização desses leilões, conforme relatado por Silva e outros (2014d) e pelos entrevistados, a criação do leilão público de biodiesel visou reduzir a volatilidade de preços em um mercado ainda embrionário, para minimizar os riscos do investimento, tanto na etapa industrial quanto na etapa agrícola. Para outros pesquisadores, o mecanismo dos leilões foi a forma utilizada para medir o nível de competitividade entre as usinas, pois as que tivessem o melhor nível organizacional e de estrutura de custos ofertariam o menor preço pelo biodiesel e arrematariam o lote. Isto foi observado por Locateli (2008) como forma de aumentar a competitividade das usinas em um mercado altamente concorrencial.

A criação do leilão público de biodiesel visou reduzir a volatilidade de preços em um mercado ainda embrionário, para minimizar os riscos do investimento, tanto na etapa industrial quanto na etapa agrícola.

Os argumentos evidenciaram, de forma convergente, que ainda não é oportuno encerrar a política dos leilões públicos, e que o mercado livre não é a melhor opção no momento

Ficou evidenciado nas entrevistas que a necessidade de compra pública via leilões ainda é fundamental para a sustentação do PNPB. A manutenção dos leilões foi, portanto, consenso entre os entrevistados, visto que esse mecanismo garante a compra do biodiesel. Ou seja, os argumentos evidenciaram, de forma convergente, que ainda não é oportuno encerrar a política dos leilões públicos, e que o mercado livre não é a melhor opção no momento. Neste ponto, Vieira (2006) observa que as condições de competição no mercado de biodiesel são extremamente assimétricas, demandando que o setor público intervenha para reduzir essas discrepâncias e permitir uma competição mais saudável e benéfica para todos e não apenas para os mais fortes. Esta opinião também é apoiada no estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2010), que verifica que os leilões são ainda importantes, e entre os motivos elencados estão a padronização, a garantia de qualidade e a viabilidade da fiscalização da mistura realizada pela ANP.

Por sua vez, observa-se, desde o início, a grande dificuldade de definir a melhor maneira de realização dos leilões. Foram feitos vários ajustes e muitas mudanças. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2010), o sistema de leilões é questionado por uma parte dos empresários que produzem somente o biodiesel – e não óleo e farelo em um sistema integrado. Segundo o estudo, as médias e pequenas usinas são naturalmente frágeis em um contexto de leilões, uma vez que se exige entrega em grandes lotes, em um pequeno espaço de tempo e diante da enorme capacidade ociosa de produção de óleo vegetal no mercado, entre outros motivos. Isto também foi percebido pelos entrevistados, haja vista que as usinas que não estão integradas/verticalizadas (esmadora + processamento) ficam à deriva do mercado de óleo com suas oscilações de preços, o que prejudica a entrega do produto arrematado nos leilões. Para respaldar este ponto, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2010) diz:

Cada oscilação em R\$ 0,01 no litro do biodiesel pode significar R\$ 1 milhão de lucro para a indústria que consiga operar uma planta de 100 milhões de litros/ano mantendo o seu custo fixo. A redução do preço final do biodiesel tem comportamento análogo, implicando dificuldades para os pequenos produtores – na agricultura e na indústria –, diante das condições de maior competitividade das grandes empresas. Esta situação, portanto, não significa maiores oportunidades de inserção social.

Em linhas gerais, no trabalho de Silva e outros (2014c) foi demonstrado como os elementos do custo de transação (oportunisto, racionalidade limitada, pressões institucionais, incerteza, frequência e especificidade dos ativos) afetam o tipo de negociação regida dentro do PNPB. Como resultado da pesquisa feita pelos respectivos autores, foi observado que o marco regulatório do biodiesel direcionou a estrutura do programa e a comercialização do produto, pela forte influência das pressões institucionais e por intermédio de leis, normas e regras deliberadas pelo governo. Contudo, no caso da cadeia de biodiesel, verificou-se que o acréscimo dos custos de transação foi devido à incerteza em conformidade com as regras de concessão de subsídios para a indústria de biodiesel, bem como as pressões institucionais, a fim de definir e modelar a estrutura da cadeia produtiva do biodiesel.

No geral, na somatória de todos os elementos temáticos investigados, o fator institucional e legal, ligado ao marco legal, foi analisado positivamente, representando 74% no total (favorável/muito favorável).

No geral, na somatória de todos os elementos temáticos investigados, o fator institucional e legal, ligado ao marco legal, foi analisado positivamente, representando 74% no total (favorável/muito favorável).

AÇÕES ESTRATÉGICAS E PROPOSIÇÕES

Com base nos objetivos inicialmente propostos por este estudo e nos resultados alcançados, torna-se oportuno apresentar reflexões para uma possível orientação a todos os elos da cadeia. A intenção é contribuir para a formulação de novas alternativas de gestão empresarial e governamental, bem como para novas rotas regulatórias de fomento ao desenvolvimento agroindustrial do biodiesel na Bahia e no Brasil.

Nesse contexto, as ações estratégicas e proposições com foco específico no marco regulatório, sugeridas para melhorar a competitividade da cadeia produtiva do biodiesel da Bahia e do país, estão descritas no Quadro 2.

Quadro 2

Ações estratégicas e proposições para fatores institucionais e legais

Pontos dos elementos temáticos	Ações estratégicas	Proposições
Marco legal	Reformular os incentivos e reduções fiscais nas esferas federal e estadual.	Isentar a cadeia produtiva do biodiesel dos tributos federais (PIS/Pasep e Cofins) para a Região Nordeste durante os próximos dez anos, com possibilidade de crescimento moderado após este período; reduzir para 1% a tributação estadual ICMS para a produção de biodiesel na Bahia e para cadeia de óleo de palma e mamona provenientes de cooperativas credenciadas pelo MDA; criar incentivos diferenciados para as pequenas usinas.
	Revisar o sistema de leilões.	Realizar estudos de preço máximo dos leilões baseados nos preços das oleaginosas e da realidade regional; estabelecer lotes e preços dos leilões conforme a capacidade instalada de cada usina por região; Promover a desburocratização e ajustes nos critérios de habilitação das usinas para os leilões de biodiesel, habilitando-as uma única vez, no começo do ano. Automaticamente, estas ficariam habilitadas a participar dos seis certames bimestrais.
	Revisar a proibição de fazer biodiesel com óleo vegetal importado.	Mapear as oleaginosas com escassez de oferta interna no Brasil, observando que o preço seja compensador para a produção de biodiesel sem prejudicar a demanda para fins alimentícios.
	Aumentar a mistura do biodiesel ao diesel - BX opcional - B20 Metropolitano Baiano.	Aumentar 1% anualmente até atingir o teor de B15 como obrigatório; Utilizar o BX opcional, com percentuais de mistura superiores ao teor compulsório definido em lei, atingindo, no máximo, o teor de 15% (B15). A decisão seria tomada pelas distribuidoras de combustíveis, dependendo da atratividade econômica do biodiesel. Neste caso, a meta seria a maximização da eficiência de uso de combustíveis no país, com desdobramentos econômicos e logísticos. Fomentar parcerias com o setor de transporte urbano, usinas instaladas, institutos de pesquisas e governo para implementação do B20 Metropolitano Baiano.
	Criar o Fundo Nacional para o Desenvolvimento do Biodiesel e Agricultura Familiar	Promover uma remodelagem regulatória para receber recursos destinados a dar suporte à pesquisa e aodesenvolvimento de toda a cadeia produtiva do biodiesel; fortalecer a assistência técnica aos agricultores familiares.
	Revisar o Selo Combustível Social (SCS)	Transformar o SCS em lei; rever os percentuais mínimos de 30% para 20% para o Nordeste, e acabar com o efeito multiplicador; tornar obrigatório o SCS para todas as usinas de biodiesel; restringir as aquisições até um limite máximo, para fins do SCS, em uma única região, com o objetivo de reduzir o nível de concentração regional dos investimentos na agricultura familiar, por exemplo, % máximo uma só região (95%) e % mínimo outras regiões (5%); tornar obrigatório o pagamento do bônus ao agricultor familiar ou à cooperativa pela venda da sua matéria-prima; criar a Câmara Técnica do Selo Combustível Social; contabilizar, para fins do SCS, as aquisições de outras culturas agrícolas não oleaginosas, exclusivamente para as regiões Norte e Nordeste.
	Criação do SCS para a indústria de óleo vegetal e da ricinoquímica.	Fortalecer a integração e o uso de empresas não produtoras de biodiesel do mesmo grupo econômico para contratos, compras e assistência técnica, com o intuito de aumentar a capilaridade e a facilidade para trabalhos com a agricultura familiar, expansão geográfica e diversificação.
	Conceder concessão de subvenção econômica e de incentivo governamental.	Desenvolver estudos exclusivamente para as unidades industriais produtoras de biodiesel que desenvolvam a atividade nas regiões N/NE, e que utilizem matéria-prima de origem dessas regiões; fornecer incentivo governamental para os produtores de oleaginosas para biodiesel por hectare plantado.
	Criação do Projeto Polo de Oleaginosas	Remodelar o Programa Polos de Biodiesel para Polo de Oleaginosas, procurando identificar quais as oleaginosas mais propícias para o fomento da produção de biodiesel; Estabelecer um programa de apoio aos municípios e instituições na nova estruturação do Projeto Polo, inclusive com a possibilidade da criação de um consórcio municipal de biodiesel.

Fonte: elaboração própria.

As estratégias aqui apresentadas têm caráter estruturante, e sua viabilidade está condicionada tão somente à capacidade de interlocução dos governos com todas as instituições e associações de classes envolvidas na referida cadeia.

A situação atual verificada no marco regulatório apresenta-se ineficiente e está gerando perdas de oportunidades e competitividade que, de certa forma, afetarão, no futuro, a sustentabilidade da cadeia produtiva do biodiesel como um todo. As proposições apresentadas são contribuições generalizadas e que podem ser estudadas minuciosamente em pesquisas posteriores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos fatores institucionais e legais, pode-se perceber que o marco regulatório do biodiesel foi decisivo para o fomento deste biocombustível no Brasil, tornando o país o segundo maior consumidor de biodiesel do mundo. Contudo, existem algumas barreiras institucionais que precisam ser revistas, tais como: o formato dos leilões, de forma que todas as usinas possam vender biodiesel; as regras do SCS, para que sejam implantados novos percentuais de compra pelas usinas em cada região e um novo formato que contemple a Região Nordeste; a imposição do efeito multiplicador, que deve ser excluído, assim como a revisão dos impostos federais para a Região Nordeste, isentando tais valores para todas as oleaginosas e matérias-primas.

No tocante a um dos requisitos do PNPB, que é a inclusão de agricultores familiares no mercado do biodiesel, pode-se afirmar que tal inserção não está sendo feita na proporção que o governo estimou à época da criação do programa. A discussão central está na interpretação e nos objetivos, pois, de acordo com a legislação brasileira, um agricultor familiar da Região Sul tem os mesmos direitos que o agricultor da Região Nordeste, portanto, não se pode negar a falta de inclusão. O que se pode discutir é, no entanto, como esta inclusão está sendo executada, pois as regiões que realmente precisavam ser incluídas estão sendo excluídas aos poucos do programa. Com o aumento da mistura, e de acordo com as projeções do governo com relação à cadeia produtiva de biodiesel, a estrutura de inclusão social dos agricultores familiares no Nordeste está praticamente com os dias contatos.

Contudo, vale ressaltar que não bastam a existência de um marco regulatório e de políticas públicas para o fomento da produção agrícola, é preciso ter um programa mais amplo e que todos os atores da cadeia sejam capazes de acessar tais políticas. Precisa-se de uma reformatação do marco regulatório para o biodiesel, sobretudo, analisando-se as

Não bastam a existência de um marco regulatório e de políticas públicas para o fomento da produção agrícola, é preciso ter um programa mais amplo e que todos os atores da cadeia sejam capazes de acessar tais políticas

Este trabalho busca [...] apresentar a pujança das energias renováveis no Brasil para a produção energética a partir da biomassa, bem como observa os diversos gargalos regulatórios e os caminhos [...] para superá-los

questões pertinentes à região nordestina, além da criação de uma rede de cooperação institucional (assistência técnica, insumos de produção, pesquisa, capacitação e comercialização) ligada, direta ou indiretamente, à agricultura familiar, de modo que possa contribuir para a competitividade da cadeia do biodiesel.

Diante desse contexto e com a visibilidade do programa e do problema gerado, as agendas de discussões entre os governos e as diversas instituições passaram a se concentrar em novas estratégias de planejamento e na construção de instrumentos econômicos e regulatórios (subsídios, financiamentos e outros incentivos) capazes de viabilizar a oferta de biodiesel e o aumento dos agricultores familiares, em detrimento das misturas do biodiesel ao diesel.

O tema, dadas a dimensão, a complexidade e a riqueza de seu conteúdo, não deve se esgotar. Este trabalho busca tão somente apresentar a pujança das energias renováveis no Brasil para a produção energética a partir da biomassa, bem como observa os diversos gargalos regulatórios e os caminhos que o PNPB precisa tomar para superá-los, no sentido de incluir os agricultores familiares de forma efetiva no programa.

REFERÊNCIAS

BAIUNAIN, A. M.; GARCIA, Junior Ruiz. Biodiesel sem a agricultura familiar?. O Estado de São Paulo, São Paulo, 12 ago. 2008. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/biodiesel-agricultura-familiar-12-08-08.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2016: ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

BOLETIM DOS BIOCOMBUSTÍVEIS. Brasília: MME, n. 107, jan./fev. 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138769/1732805/Boletim+DBio+n%C2%BA+107+jan-fev+de+2017.pdf/e2e102f2-5ce3-4390-89d5-d08fc8bfcce3>>. Acesso em: 7 jul. 2017.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 7 ago. 1997.

_____. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro

de 2002; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 14 jan. 2005.

BRASIL. Lei nº 12.490, 16 de setembro de 2011. Altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, que dispõem sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 set. 2011a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12490.htm>. Acesso em: 15 out. 2015.

_____. Decreto nº 7.768, de 27 de junho de 2012. Altera o Decreto nº 5.297, de 6 de dezembro de 2004, que dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, e sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 jun. 2012a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7768.htm>. Acesso em: 15 out. 2015.

_____. Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 24 mar. 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: inclusão social e desenvolvimento territorial. Brasília: MDA, 2011b. 46 p.

_____. Portaria nº 60, de 6 de setembro de 2012. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão, manutenção e uso do selo combustível Social. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 7 set. 2012b. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/biodiesel/2290882>>. Acesso em: 16 fev. 2015.

CAMPOS, A. A.; CARMÉLIO, E. C. Construir a diversidade da matriz energética: o biodiesel no Brasil. In: ABRAMOVAY, Ricardo. (Org.). Biocombustíveis: a energia da controvérsia. São Paulo: Senac, 2009. p. 42-78.

CÉSAR, A. S.; BATALHA; M. O. Análise dos direcionadores de competitividade sobre a cadeia produtiva de biodiesel: o caso da mamona. Produção, Santa Catarina, v. 21, n. 3, p. 484-497, jul./set. 2011. Disponível em: <<http://www.prod.org.br/files/v21n3/v21n3a10.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

_____. Brazilian biodiesel: the case of the palm's social projects. Energy Policy, [S.l.], v. 56, p.165-174, 2013.

DINIZ, J. F. Socioeconomia do mercado de biodiesel no Brasil: os desafios da inclusão. 2010. 165 f. Dissertação (Mestrado)-Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2010.

DINIZ, J. F.; FAVARETO, A. Os desafios da inclusão da agricultura familiar no mercado de matéria-prima para o biodiesel no Brasil. Estudos Sociedade e Agricultura, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 139-187, abr./set. 2012.

DORNELES, M. A. R. Agricultura familiar e o biodiesel: o caso dos agricultores familiares do município de Cachoeira do Sul. 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

FERNANDES, FÁBIO MATOS. Competitividade da produção de mamona destinada ao biodiesel: o caso do núcleo de produção de oleaginosas de Serra do Ramalho (BA). 2013. 152 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial)-Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu, Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2013.

FERRAZ, J. C.; KUPFER, D.; HAGUENAUER, L. Made in Brazil: desafios competitivos para a indústria brasileira. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Biocombustíveis no Brasil: etanol e biodiesel. Rio de Janeiro: IPEA, 2010. (Série Eixo do desenvolvimento brasileiro; comunicados do IPEA, 53).

LOCATELI, V. A inserção da agricultura familiar no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e as demandas socioambientais das suas representações. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2008.

LOPES, J. S. Análise de culturas energéticas oleaginosas para produção de biodiesel no território de Irecê no semiárido baiano. 2010. 150 p. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador, Salvador, 2010.

OLIVEIRA, C. A. et al. Uma visão do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB): estudo de caso sobre a inclusão social em uma comunidade rural do estado da Bahia. Bahia Análise e Dados, Salvador, v. 24, n. 3, p. 437-449, jul./set. 2014.

PEDROTI, P. M. Os desafios do desenvolvimento e da inclusão social: o caso do arranjo político-institucional do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Rio de Janeiro: IPEA, ago. 2013. 61 p. (Texto para discussão, 1858).

PORTER, M. E. *Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

SANTOS, G. R. WEHRMANN, M. E. S. *Agroenergia no Brasil: fragilidades, riscos e desafios para o desenvolvimento sustentável*. *Revista Iberoamericana de Economia Ecológica*, Rio de Janeiro, v. 15, p. 1-13, 2010. Disponível em: <http://redibec.org/wp-content/uploads/2017/03/rev15_01.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2015.

SILVA, M. S. *Biodiesel, inclusão social e competitividade: diagnóstico, estratégias e proposições para a cadeia produtiva no estado da Bahia*. 2015. 339 f. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente)-Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

SILVA, M. S. et al. Family farming and biodiesel: the difficulties of socioeconomic inclusion in the Northeast of Brazil. *Journal of Agricultural Science*, Toronto, v. 6, n. 7, p. 231-252, 2014a.

SILVA, M. S. et al. Biodiesel and the “Social Fuel Seal” in Brazil: fuel of social inclusion? *Journal of Agricultural Science*, Toronto, v. 6, n. 12, p. 212-228, 2014b.

SILVA, M. S. et al. Uma análise institucional no quadro regulatório do biodiesel no Brasil à luz da teoria dos custos de transação. *Revista de Desenvolvimento Econômico*, Salvador, v. 16, n. 29, jun. 2014c.

SILVA, M. S. et al. Family farming and biodiesel: the difficulties of socioeconomic inclusion in the Northeast of Brazil. *Journal of Agricultural Science*, [S.l.], v. 6, n. 7, p. 231-252, 2014d.

VAN DUREN, E.; MARTIN, L.; WESTGREN, R. Assessing the competitiveness of Canada's agrifood industry. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, [S.l.], n. 39, p. 727-738, 1991.

VAN DUREN, E.; MCKAY, H. Forging strategic alliances in Canada's agrifood sector. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, [S.l.], v. 42, p. 311-326, Nov. 1994.

VIEIRA, J. N. S. *A agroenergia e os novos desafios para a política agrícola no Brasil*. In: BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Tecnologia Industrial. *O futuro da indústria: biodiesel: coletânea de artigos*. Brasília: MDIC, 2006.

Resumo

O presente trabalho visa analisar o programa autorizado pela Resolução Aneel nº 4.385/2013 para, a partir deste, propor alterações regulatórias no setor elétrico que possam viabilizar a adequada inserção da energia solar, via geração distribuída, na matriz elétrica brasileira. A metodologia é aplicada, qualitativa, descritiva e exploratória, com o estudo de caso do Programa de Geração de Renda e Energia em Juazeiro (BA). Para realizar as análises dos dados coletados, foram utilizados métodos da jurimetria e triangulação. Nos resultados, conclui-se pela necessidade de reforma do setor, com a adoção da eficiência energética como pilar de sustentação. A regulação por meio de normas jurídicas de maior hierarquia, a reformulação das tarifas de eletricidade e o aperfeiçoamento da gestão da demanda também são entendidos como passos importantes para garantir a adequada inserção da fonte solar. **Palavras-chave:** Energia renovável. Energia solar. Geração distribuída. Resolução Aneel nº 4.385/2013. Compensação de energia.

Abstract

The present work aims to analyze the program authorized by Aneel Resolution nº 4.385/2013 to propose regulatory changes in the electricity sector that could enable the adequate insertion of solar energy, via distributed generation, into the Brazilian electricity matrix. The methodology is applied, qualitative, descriptive and exploratory, with the case study of the Generation of Income and Energy Program in Juazeiro (BA). In order to carry out the analysis of the data collected, we used the methods of jurimetry and triangulation. In the results, it is concluded that there is a need to reform the sector, with the adoption of energy efficiency as a pillar of support. Regulation through higher legal standards, reformulation of electricity tariffs and improved demand management are also understood as important steps to ensure the proper insertion of the solar source in the net.

Keywords: Renewable energy. Solar energy. Distributed generation. Resolution Aneel nº 4.385/2013. Net metering.

Geração de renda e energia em Juazeiro (BA): contribuições da Resolução Aneel nº 4.385/2013 para inserção da energia solar na matriz elétrica

FELIPE BARROCO FONTES CUNHA

Especialista em Direito Ambiental e Gestão Estratégica da Sustentabilidade, pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP); doutorando em Ciências, Energia e Ambiente e graduado em Direito, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Pesquisador no Grupo de Pesquisa do Laboratório de Energia e Gás da UFBA, advogado e sócio do Escritório Barroco, Moreira & Gallo - Advocacia e Consultoria. fbarroco@bmeq.com.br

EDNILDO ANDRADE TORRES

Pós-doutor em Energia Renovável e Biocombustíveis, pela Florida Agricultural and Mechanical University (FAMU/FSU US); doutor em Engenharia Mecânica, pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); mestre em Engenharia Mecânica, pela Universidade de São Paulo (USP) e graduado em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor titular da UFBA e professor permanente do Doutorado em Ciências, Energia e Ambiente e do Mestrado e Doutorado do Programa de Engenharia Industrial da UFBA; coordenador do Grupo de Pesquisa do Laboratório de Energia e Gás e do Centro de Energia e Ambiente da UFBA. ednildortorres@gmail.com

MARCELO SANTANA SILVA

Pós-doutor em Engenharia Industrial e doutor em Ciências, Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia (UFBA); mestre em Regulação da Indústria de Energia, pela Universidade de Salvador (Unifacs); especialista em Economia de Empresas e graduado em Economia, pela Universidade de Estadual de Santa Cruz (UESC). Professor do Instituto Federal da Bahia (IFBA) e professor permanente do Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação do IFBA; pesquisador do Grupo de Pesquisa do Laboratório de Energia e Gás da UFBA e de Ecologia Industrial do IFBA. marcelosilva@ifba.edu.br

O ATUAL CENÁRIO brasileiro de incremento do risco hidrológico, decorrente das mudanças climáticas (SCHAEFFER et al., 2015, p. 69-70), e o *backup* termoelétrico do sistema brasileiro, calcado em combustível fóssil¹ (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017), desvelam que, ao contrário do apregoado pelo governo federal, a aposta em geração hídrica é cada vez mais arriscada e cara, principalmente se consideradas as externalidades ambientais existentes (CORTEKAR; GROTH, 2015, p. 13; MELO; JANNUZZI; BAJAY, 2016, p. 224; SCHMIDT²; CANCELLA; PEREIRA JUNIOR 2016b, p. 8).

A geração solar distribuída, por sua vez, apresenta potencial para revolucionar as matrizes elétricas em futuro próximo (BRINKMAN et al., 2016, p. 50; MIAN; MOTA, 2015, p. 51-55), além de ser capaz

1 Segundo o Banco de Informações de Geração da Aneel (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017), as térmicas representam uma potência instalada de 41.021MW, equivalente a 26,88% da matriz elétrica nacional. As usinas hidrelétricas correspondem a 93.216MW, ou 61,09%, e as usinas eólicas equivalem a 10.701MW, que correspondem a 7,01% da capacidade instalada da matriz elétrica brasileira.

A energia solar também deve ser vista como importante vetor de emancipação e conscientização social

de empoderar os cidadãos de menor renda, conforme demonstra o Programa de Geração de Renda e Energia em Juazeiro (BA), implementado nos condomínios Morada do Rodeadouro e Praia do Salitre, integrantes do Programa Minha Casa, Minha Vida e selecionado como estudo de caso deste trabalho.

Observa-se ainda, no contexto nacional, que a falta de informação, o investimento inicial necessário (MITSCHER; RÜTHER, 2012, p. 693) e o fato de não se permitir a comercialização dos excedentes de energia gerados pelos micro e miniprodutores (BRASIL, 2004, art. 15, 2012, art. 7º, VI, XII, XIII) são fatores que dificultaram o desenvolvimento de um mercado de imenso potencial, impedindo o aproveitamento de recursos energéticos renováveis, abundantes e limpos e limitando a difusão da tecnologia solar no país (DÁVI et al., 2016, p. 19-20, FARIA JR.; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017, p. 469-470).

Além de potencial fonte de renda para parcela significativa da população brasileira, sobretudo a historicamente mais desfavorecida, a energia solar também deve ser vista como importante vetor de emancipação e conscientização social, pois é fator de promoção da economia local e constitui-se em ação direta da sociedade ante as mudanças climáticas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a; KASTNER; MATTHIES, 2016, p. 2).

O Brasil precisa encurtar caminhos, saltar etapas (*leapfrogging*) (GOLDEMBERG; LUCON, 2012, p. 98), alterar o paradigma produtivo para incorporar as questões socioambientais de forma disruptiva, inovando em relação ao paradigma estabelecido (LEFF, 2006, p. 286). É preciso transformar desvantagens (falta de infraestrutura, desigualdade social e de renda etc.) em oportunidades, desfrutando o imenso potencial solar por meio das novas tecnologias, para alcançar, o mais rápido possível, um desenvolvimento limpo e de qualidade, que alie a geração de emprego e renda com a preservação do meio ambiente (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a; GABRIEL, 2016, p. 362-363).

A emergência de uma nova lógica no setor elétrico brasileiro, calcada na eficiência energética e pautada na racionalidade e na ética ambiental orientada para o desenvolvimento sustentável, é necessária para viabilizar a superação do atual mercado cativo, mediante a atribuição da relevância à geração solar distribuída e aos consumidores-produtores (PAPAEFTHYMIU; DRAGOON, 2016, p. 80-81).

Neste esteio, o objetivo primordial do presente trabalho é contribuir para a aceleração desse processo, por meio da proposição de alterações regulatórias no setor elétrico brasileiro, extraídas da experiência do projeto piloto autorizado pela Resolução Aneel nº 4.385 (AGÊNCIA NACIONAL

DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013), e que possam acomodar, de forma adequada, a entrada da energia solar, via geração distribuída, na matriz elétrica nacional.

METODOLOGIA E COLETA DE DADOS

A metodologia utilizada neste trabalho é considerada aplicada, qualitativa, descritiva e exploratória. Lança-se mão dos métodos da jurimetria e da triangulação para as análises dos dados (GIL, 2008; LAKATOS; MARCONI, 2003; NUNES, 2016).

Como estudo de caso foi selecionado o Programa de Geração de Renda e Energia em Juazeiro (BA), nos condomínios Morada do Rodeadouro e Praia do Salitre, integrantes do Programa Minha Casa, Minha Vida, autorizado pela Resolução Aneel nº 4.385/2013.

O presente estudo visa investigar quais as contribuições que podem ser extraídas da Resolução Aneel nº 4.385/2013 para subsidiar alterações regulatórias a serem implementadas no setor elétrico, com o objetivo de proporcionar a diversificação da matriz nacional, mediante a adequada inserção da energia solar via geração distribuída. A fim de responder a essa questão fundamental, fora realizada vasta pesquisa bibliográfica e documental², bem como entrevistas semiestruturadas com representantes e moradores dos condomínios, especialistas e estudiosos do setor, além de visita *in loco* para observação direta da situação.

O método de análise da jurimetria foi usado para compreender os efeitos da Resolução Aneel nº 4.385/2013, bem como identificar quais alterações normativas, trazidas pelo modelo de negócio autorizado em Juazeiro (BA), poderiam ser extrapoladas para o setor elétrico, a fim de promover a diversificação da matriz elétrica nacional por meio da energia solar distribuída, considerando as tendências oficiais e internacionais mais balizadas.

A pesquisa, portanto, desdobrou-se nas seguintes etapas: 1) levantamento bibliográfico com vistas à caracterização e à análise da energia solar no contexto atual, nacional e internacional; 2) seleção e avaliação dos chamados fatores determinantes viabilizados pela Resolução Aneel nº 4.385/2013, bem como a realização de entrevistas semiestruturadas com 'atores-chave' implicados na questão e no setor elétrico nacional, para verificar a percepção destes sobre a situação e o contexto fático do momento; 3) visita técnica nos condomínios Morada do Salitre e Praia

O presente estudo visa investigar quais as contribuições que podem ser extraídas da Resolução Aneel nº 4.385/2013 para subsidiar alterações regulatórias a serem implementadas no setor elétrico

2 Coleta de dados com empresas do setor elétrico e agências governamentais, revisão da literatura - livros, artigos científicos, dissertações, periódicos e teses.

do Rodeadouro, em Juazeiro (BA); e 4) construção de hipóteses para a criação de estratégias e propostas regulatórias, visando diversificar e melhorar o desempenho e a resiliência da matriz elétrica nacional.

Figura 1 e 2

Cond. Usina Juazeiro



Fonte: autor das fotografias desconhecido³

3 Imagens obtidas por meio da rede mundial de computadores nos sites: http://soldenorteasul.org.br/wp-content/uploads/2015/11/webdoc_solar_emprego_verde_O6.jpg e http://soldenorteasul.org.br/wp-content/uploads/2015/11/webdoc_solar_emprego_verde_O8.jpg, respectivamente.

ANTECEDENTES FÁTICOS: SINOPSE DO PROJETO DE GERAÇÃO DE RENDA E ENERGIA EM JUAZEIRO (BA)

Em 2012, a empresa Brasil Solair celebrou termo de cooperação com o Fundo Socioambiental da Caixa Econômica Federal para implantação de um projeto piloto de geração solar em dois condomínios do Programa Minha Casa Minha Vida em Juazeiro (BA), o qual viria a beneficiar mil famílias.

A partir de um investimento de R\$ 7 milhões, financiados, a maior parte, pelo Fundo Socioambiental da Caixa, foram instalados nos telhados das unidades habitacionais 9.156 painéis solares de 230Wp cada, bem como capacitada mão de obra local (moradores dos condomínios, sobretudo mulheres) para operação e manutenção dos equipamentos. Surgia, assim, a primeira miniusina de geração solar distribuída do Brasil.

Cabe destacar que, naquela época, a capacidade instalada brasileira era praticamente inexistente (1,8MWp de geração solar)⁴, sendo que, com esse projeto, foram adicionados 2,1MWp de capacidade de só uma vez, o equivalente a uma geração média de 251.484,82kW/h por mês, o que seria suficiente para abastecer 3,6 mil casas populares (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a).

Em razão de os moradores dos condomínios serem beneficiários da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), optou-se pela venda da totalidade da energia gerada, que seria alienada à distribuidora local – Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba) – via chamada pública, ou comercializada no mercado livre (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a, p. 4-7).

A possibilidade da venda da energia gerada permitiu que o projeto da usina fosse dimensionado de forma mais eficiente, considerando as peculiaridades do caso e a possibilidade de ganho de escala. De fato, um dos objetivos técnicos do projeto piloto implementado era demonstrar que, quando se trata de energia solar fotovoltaica, em razão de características intrínsecas ao elemento de geração e dos avanços da tecnologia da informação, são possíveis arranjos tecnológicos mais eficientes, técnica e economicamente, em usinas descentralizadas, ou seja, na forma de mini e microgeração distribuída, do que em usinas centralizadas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a, p. 4-7).

A possibilidade da venda da energia gerada permitiu que o projeto da usina fosse dimensionado de forma mais eficiente, considerando as peculiaridades do caso e a possibilidade de ganho de escala

4 Tais dados correspondem à geração solar distribuída, integrante ao sistema de compensação da Resolução Aneel 482/2012, conforme informação obtida pelo Sistema de Registro de Geração Distribuída – SISGD da Aneel, disponível no site: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/VerGD.asp>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

Atualmente, os painéis seguem gerando energia, mas ela não é injetada na rede da companhia, nem utilizada pelas unidades habitacionais, de forma que acaba sendo integralmente perdida

Acontece que o projeto da Brasil Solair foi autorizado apenas pelo prazo de 36 meses, contados a partir do momento da publicação da Resolução Autorizativa nº 4.385 da Aneel, de 22 de outubro de 2013. Diante disto, o projeto piloto de Juazeiro entrou em operação em fevereiro de 2014 (quatro meses após sua aprovação) e comercializou a energia gerada no Ambiente de Comercialização Livre (ACL) até outubro de 2016, totalizando 32 meses (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a).

O faturamento total do projeto foi de R\$ 3.134.065,80, o equivalente a R\$ 97.939,55 por mês. O condomínio ficou com 40% das receitas auferidas, e os outros 60% foram divididos entre as mil unidades habitacionais, cada uma recebeu R\$ 1.880,44, o equivalente a uma média de R\$ 58,76 por mês (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a).

Com o encerramento do prazo autorizado pela Aneel, os condomínios estão sem comercializar a energia gerada nos painéis desde novembro de 2016, o que os coloca em difícil situação financeira. Além disso, criou-se um ambiente de incompreensão e insatisfação geral em relação às causas da interrupção do projeto, o que tem ameaçado a integridade dos equipamentos da usina, que vêm sendo depredados e sucateados pelos próprios moradores dos condomínios.

É importante destacar ainda que, a partir da conclusão o prazo de vigência do projeto, a energia gerada pelos painéis passou a ser injetada na rede de distribuição de forma gratuita, sem que os condomínios ou condôminos recebessem qualquer contraprestação por ela até janeiro de 2017, momento em que a Coelba decidiu desconectá-los da rede, sem qualquer motivo aparente ou comunicação prévia.

Atualmente, os painéis seguem gerando energia, mas ela não é injetada na rede da companhia, nem utilizada pelas unidades habitacionais, de forma que acaba sendo integralmente perdida. Para que os condôminos possam utilizar a energia via sistema de compensação, conforme previsto na Resolução 482 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012b), são necessários vultosos investimentos de adequação nas instalações dos condomínios, bem como gastos consideráveis da Coelba, que teria que trocar todos os mil medidores unidirecionais individuais atualmente em funcionamento⁵.

Ademais, o custo financeiro das adaptações não seria jamais recuperado, tendo em vista que, como a geração dos painéis é equivalente a quase três vezes o consumo das unidades habitacionais, haveria uma

5 Os custos para as adaptações do sistema são estimados pela Brasil Solair em R\$3.026.000,00 a cargo dos condomínios e R\$ 410 mil a ser suportado pela Coelba, com a troca dos medidores.

grande quantidade de créditos excedentes, que jamais poderiam ser aproveitados ou transferidos pela atual legislação. E, pior, como o valor das contas de eletricidade dos beneficiários da Tarifa Social é relativamente módico, os ganhos mensais dos condôminos seriam pouco significativos, não viabilizando o retorno do investimento durante a vida útil esperada dos equipamentos (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a).

Cabe também registrar que, enquanto a energia gerada com os 9.156 painéis solares está sendo desperdiçada diariamente, sendo literalmente jogada para fora do Sistema Interligado Nacional, as térmicas movidas a combustíveis fósseis estão sendo acionadas para alimentar o sistema interligado, tendo injetado na rede o volume de 7.682,17 GWh em maio de 2017 (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2017). Ademais, o Rio São Francisco tem apresentado vazão na barragem de Sobradinho fixada em 600 m³/s, a menor da sua história, inferior à metade do mínimo recomendado pelos órgãos ambientais responsáveis (BRASIL, 2017, art. 1)⁶.

Anota-se, por fim, que existem ainda seis aerogeradores instalados nos condomínios cuja energia é destinada às áreas comuns, como quadra de esportes e os centros comunitários, de forma que os condomínios pagam unicamente a taxa mínima da conta de energia, sendo todo o consumo compensado pelo sistema de *net metering* da Resolução Aneel n° 482/2012.

REVISÃO DA LITERATURA

Energia solar no Brasil

Diversos países do mundo buscam implementar uma ‘revolução verde’ em suas matrizes energéticas e sistemas produtivos, para reduzir os níveis de emissão de gases causadores do efeito estufa e, concomitantemente, garantir um espaço na fronteira da inovação tecnológica das energias renováveis (DAWN et al., 2016, p. 216; ISMAIL et al., 2015, p. 400; JOLLY; RAVEN, 2016, p. 325). O Brasil, por sua vez, segue a reboque da corrente, limitando-se à assimilação passiva das tecnologias e ao exercício de atividades da cadeia produtiva com menor valor agregado e baixa sofisticação tecnológica, sobretudo quando se trata de energia solar (DUBEUX, 2015, p. 126-164; SOUZA; CAVALCANTE, 2016, p. 145).

⁶ Segundo a Agência Nacional de Águas (2017), a vazão mínima de defluente em Sobradinho é de 1.300 m³/s (patamar mínimo em situações de normalidade). A vazão média normal é de 2.846 m³/s. O atual normativo, Resolução ANA n° 742/2017, reduz a defluência mínima média diária para 600m³/s, admitindo a prática de 570m³/s de vazão instantânea (a cada medição) até 30 de novembro de 2017.

Diversos países do mundo buscam implementar uma ‘revolução verde’ em suas matrizes energéticas e sistemas produtivos, para reduzir os níveis de emissão de gases causadores do efeito estufa

A Bahia tem, portanto, condições de desenvolver toda a cadeia de produção em seu território e liderar os investimentos na geração de energia fotovoltaica nos próximos anos

Apesar de contarem com uma taxa de irradiação solar menor que a brasileira, países como Estados Unidos, Alemanha, Itália e China, além de disputarem a liderança nas tecnologias de produção de painéis solares, têm agregado, anualmente, às suas matrizes elétricas mais capacidade instalada do que a estimativa total brasileira prevista até o ano de 2024, qual seja, 3.208 MWp⁷ (DUSONCHET; TELARETTI, 2015, p. 987; PYRGOU; KYLILI; FOKAIDES, 2016, p. 94-102; AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017, p. 10).

Após anos de maturação e da considerável penetração de fontes intermitentes (solar e eólica) em matrizes elétricas ao redor do mundo, já se vislumbra um percentual ótimo de entrada para cada uma dessas fontes, sendo o próximo de 10% da potência instalada para a energia solar fotovoltaica, conforme se verifica em países como Grécia, Itália e Alemanha (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016, p. 14). No Brasil, estudo realizado por Schmidt², Cancelli e Pereira Jr. (2016a, p. 137) apurou percentual de até 37% para a penetração da energia solar na matriz elétrica nacional. Tal estudo, entretanto, não considera os custos de produção entre as distintas fontes.

O Brasil, nas suas áreas residenciais urbanizadas, possui potencial para atender, via geração solar distribuída, a mais que o dobro de todo o seu consumo residencial. São 287.505 GWh de potencial, contra um consumo, em 2013, de 124.896 GWh (BRASIL, 2014, p. 21). Na Bahia, a razão entre potencial e consumo residencial é de 3,37, ou seja, o potencial é quase três vezes e meia maior que o consumo (BRASIL, 2014, p. 21). Além disso, o horário de maior consumo (horário de pico) no subsistema Nordeste migrou para o período de maior insolação, o que desafogaria o Sistema Interligado Nacional (SIN) no seu momento de maior carga (GREENPEACE, 2016, p. 57-67).

A Bahia, além da grande irradiação solar, foi contemplada também com reservas de areia silicosa e quartzo com baixo teor de impurezas, situadas na jazida de Belmonte, na região sul do estado – considerada uma das melhores jazidas do mundo para a produção dos módulos fotovoltaicos. A Bahia tem, portanto, condições de desenvolver toda a cadeia de produção em seu território e liderar os investimentos na geração de energia fotovoltaica nos próximos anos (COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL, 2015; FARIA JR.; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2016, p. 469).

7 Registra-se que o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (PDE 2024), publicado em 2015 pelo Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética, indicava uma potência total para geração distribuída por fonte solar de 1.319MWp (BRASIL, 2015e). Tal previsão foi revista, a partir dos dados de 2015, para 4.577MWp e, posteriormente, reduzida para a previsão atual: 3.208MWp, conforme veiculado na Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/Aneel, de 24/05/2017 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017).

Energia solar como fator de redução das desigualdades sociais

A geração solar distribuída também é capaz de beneficiar os cidadãos de menor renda, conforme abordado pelo estudo *Deployment of photovoltaics in Brazil: scenarios, perspectives and policies for low-incomehousing* (PINTO; AMARAL; JANISSEK, 2016, p. 75), e constatado na visita técnica realizada ao Projeto de Geração de Renda e Energia, em Juazeiro, nos condomínios Morada do Salitre e Praia do Rodeadouro.

O Brasil, sobretudo a Região Nordeste, em razão da alta incidência solar, aliada à situação histórica de empobrecimento e falta de oportunidades aos quais seus habitantes foram legados, deve utilizar-se das energias renováveis à disposição (solar, eólica e biomassa) para dar um salto quântico (*leapfrogging*) na qualidade de vida de suas populações, aproveitando o seu enorme potencial de geração renovável (COSTA; BRAGA JR., 2014, p. 491).

Existe amplo espaço para que o Nordeste desenvolva com excelência toda a cadeia de produção da energia solar fotovoltaica, assim como fez com a indústria de energia eólica, e volte a ser um significativo exportador de energia para os subsistemas Centro-Oeste e Sudeste, complementando a renda dos estados nordestinos e de suas populações (SILVA, 2012). Tal aspecto, portanto, de acordo com o presente estudo, deveria ser contemplado no planejamento do setor elétrico, garantindo-se os investimentos necessários a sua consecução.

A substituição do aquecimento elétrico de água pelo solar (energia termosolar), ao lado da geração fotovoltaica, também é de suma importância, pois se constitui em relevante medida de eficiência energética que poderia ser adotada em todo o país de forma prioritária. Apresenta-se como espécie de geração virtual de energia, na medida em que libera a energia antes utilizada no aquecimento para outros fins mais nobres, postergando investimentos significativos em nova infraestrutura de geração e transmissão.

O Nordeste brasileiro é igualmente dotado com significativo potencial termosolar a ser aproveitado, principalmente em razão do grande uso de resistências elétricas para aquecimento de água.

Ademais, na classe de baixa renda, a instalação dos sistemas termosolares, assim como os fotovoltaicos, ainda tem a vantagem de liberar a energia elétrica - outrora destinada à Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) - para ser vendida pela concessionária em extrato de renda superior ao seu mercado cativo, garantindo-lhe remuneração tarifária maior, ao tempo que desonera o sistema elétrico.

Existe amplo espaço para que o Nordeste desenvolva com excelência toda a cadeia de produção da energia solar fotovoltaica, assim como fez com a indústria de energia eólica

Resta claro, portanto, o relevante papel que a energia solar tem a desempenhar no Brasil, em especial na Região Nordeste, como fator de redução das desigualdades regionais e sociais

Deste modo, entende-se que a regulação do setor poderia incentivar as concessionárias a adotarem medidas de eficiência energética *custo-efetivas*, potencializando benefícios às partes envolvidas, garantindo-se a remuneração da concessionária sobre percentual do benefício auferido com a redução do consumo.

Não por outro motivo, a primeira conclusão do estudo *Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho*, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e da Inter Academy Council, é no sentido de que se deve dar prioridade ao fornecimento de eletricidade, por fontes modernas e a valores acessíveis, às populações menos favorecidas, a fim de reduzir as desigualdades atuais e preservar o meio ambiente (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010, p. 267-268).

Este é também o objetivo do desenvolvimento sustentável número 7 (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2017), estabelecido pela Assembleia Geral das Nações Unidas, por meio da *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, e internalizado no ordenamento jurídico pátrio a partir do Decreto nº 8.892/2016 (BRASIL, 2016), que traz como meta o acesso universal à energia por fontes limpas e modernas, de forma confiável e a preços acessíveis, contemplando especialmente os mais desassistidos (JOSHI; HUGHES; SISK, 2015, p. 286; STRAM, 2016, p. 6).

Resta claro, portanto, o relevante papel que a energia solar tem a desempenhar no Brasil, em especial na Região Nordeste, como fator de redução das desigualdades regionais e sociais.

Análise da Resolução Aneel nº 4.385/2013 à luz da Constituição Federal

A análise jurimétrica do programa de geração de renda e energia instituído pela Resolução Aneel nº 4.385/2013, realizada no estudo em tela, indica o concomitante atendimento a todos os objetivos fundamentais da República Federativa do Brasil listados no art. 3º da Carta Magna (BRASIL, 1988), na medida em que visa à recuperação da dignidade das pessoas beneficiadas, ajuda na construção de uma sociedade mais livre, justa e solidária ao fomentar a distribuição de renda, colabora para o desenvolvimento sustentável nacional por meio de investimentos em fontes renováveis de energia, combate a pobreza e a marginalização, além de reduzir as desigualdades sociais e regionais.

O investimento numa fonte energética renovável moderna, em dois condomínios de moradia social do programa Minha Casa Minha Vida,

situados em local de imenso potencial de geração fotovoltaica⁸, cujas unidades foram outorgadas preferencialmente a mulheres chefes de família, demonstra também o potencial da ação como política afirmativa e promotora de igualdade e preservação ambiental.

No que tange ao artigo 170 da Constituição (BRASIL, 1988), disciplinador da Ordem Econômica e Financeira, entende-se que o projeto piloto analisado incrementa a função social da propriedade, na medida em que transforma residências em unidades geradoras, que injetam energia na rede por uma fonte renovável e moderna, auxiliando na redução das emissões de gases de efeito estufa e na proteção ao meio ambiente.

A renda destinada à economia local, seja através da entrega direta aos condôminos ou por meio de ações promovidas pelos condomínios, a exemplo das atividades formativas e de saúde (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a), colabora para a redução das desigualdades e a promoção de uma vida digna para todos.

Ainda no âmbito constitucional, é preciso tratar também do direito fundamental ao acesso à energia elétrica (ANDRADE, 2009; CAVALCANTE, 2013; ROSA, 2016) e a uma renda básica incondicionada (PARIJS, 2000, p. 179-180), ambos indispensáveis para se garantir a consecução da dignidade humana de forma mais plena, igualmente contemplada pela Resolução Aneel nº 4.385/2013.

Por fim, quanto ao comando constitucional previsto no artigo 225 (BRASIL, 1988), entende-se que o projeto implantado em Juazeiro (BA) tem a virtude de mobilizar a sociedade civil, o poder público e as empresas a atuarem em conjunto, em favor do meio ambiente, através de soluções modernas, efetivas e com horizonte de longo prazo. Encontra-se, destarte, configurada a ação como garantidora do direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado para a presente e as futuras gerações.

O regime jurídico brasileiro afeto à energia solar distribuída

O atual modelo do setor elétrico brasileiro, regido precipuamente pela Lei nº 10.848/2004 e seu respectivo decreto regulamentador, nº 5.163/2004, foi concebido em resposta ao “apagão” do setor elétrico verificado em 2001 (BARDELIN, 2004). Acontece que, passado pouco mais de uma década, o setor encontra-se envolto em nova crise de grandes proporções. De fato, se um novo racionamento ainda não ocorreu é tão somente em razão das crises econômicas consecutivas que assolaram o país: a começar pela financeira, verificada em 2009, seguida

O projeto implantado em Juazeiro (BA) tem a virtude de mobilizar a sociedade civil, o poder público e as empresas a atuarem em conjunto, em favor do meio ambiente

8 Os valores de irradiação solar em Juazeiro - Bahia mostram que é possível um aproveitamento médio de 2285,653 Wh/m² dia considerando-se apenas a irradiação direta (SILVA; SEVERO, 2012).

É importante notar, entretanto, que existem outras leis que também possuem papel preponderante na disciplina do setor elétrico brasileiro, e que foram alteradas ao longo dos anos

da crise política, iniciada nas eleições de 2014 e que se estende até a presente data (FARIA JR.; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017, p. 470).

A estagnação econômica verificada no referido período derrubou a demanda de energia elétrica, evitando, ao menos momentaneamente, uma crise de abastecimento no Brasil, que, atualmente, possui carga semelhante à do ano de 2014 (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2017).

É importante notar, entretanto, que existem outras leis que também possuem papel preponderante na disciplina do setor elétrico brasileiro, e que foram alteradas ao longo dos anos, cabendo, entre estas, destacar:

- a) Lei nº 8.987/1995, que disciplina a concessão e a permissão de serviços públicos;
- b) Lei nº 9.074/1995, que além de tratar da concessão e da permissão de serviços públicos, em complementação à Lei nº 8.987/95, cria também a figura do Produtor Independente de Energia (PIE);
- c) Lei nº 9.427/1996, que institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e disciplina o regime de concessões de serviços públicos de energia elétrica;
- d) Lei nº 9.648/1998, que reestrutura as Centrais Elétricas Brasileiras – Eletrobrás e suas subsidiárias; e
- e) Lei nº 10.847/2004, que institui a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), cuja finalidade é subsidiar com estudos e pesquisas o planejamento do setor energético nacional.

Para um estudo mais detalhado a respeito do modelo implementado no setor elétrico nacional a partir de 2004 e vigente até a presente data, sugere-se: Landi (2006), Aguiar Filho (2007) e Cuberos (2008).

A seu turno, no que tange especificamente à energia solar distribuída, têm-se como normas fundamentais as seguintes resoluções da Aneel:

- a) Resolução nº 482/2012, atualizada pela Resolução nº 687/2015, que estabelece as condições gerais para o acesso da micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e define o sistema de compensação de energia elétrica, entre outras providências;
- b) Resolução nº 414/2010, que atualiza e consolida as condições gerais de fornecimento de energia elétrica;

- c) Resolução nº 77/2004, alterada pela Resolução nº 745/2016, que estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição para a geração solar distribuída, entre outras fontes;
- d) Resolução nº 493/2012, que institui os procedimentos e as condições de fornecimento por meio do Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (SIGFI); e
- e) Resolução nº 502/2012, que regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B (baixa tensão).

É preciso mencionar também o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodist) – cuja versão atual é dada pela Resolução Normativa Aneel nº 724/2016 –, e o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), criado pela Portaria MME nº 538/2015, que visa promover a ampliação da geração distribuída de energia elétrica, com base em fontes renováveis e cogeração.

Para um estudo mais detalhado a respeito da regulamentação afeta à geração solar distribuída, sugere-se: Afonso (2012) e Cruz (2015).

DISCUSSÃO E RESULTADOS

Políticas de inserção da geração solar distribuída no Brasil

A construção de um futuro sustentável, ambientalmente correto e economicamente viável passa pela implementação do ‘mix’ de fontes renováveis à disposição, além de uma política efetiva de gestão da demanda e redução das desigualdades sociais.

No Brasil, as políticas e os planos de ação que visam promover o desenvolvimento energético sustentável, mediante a inserção da geração solar distribuída, ainda são por demais tímidas, mesmo consideradas as alterações implementadas em 1º de abril de 2016, com a revisão da Resolução nº 482/2012 da Aneel (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015, p. 4-9), que trata do sistema de compensação de energia (*net metering*), a isenção do PIS/Cofins (BRASIL, 2015a) e a disseminação da isenção do ICMS sobre a energia gerada e consumida na própria unidade consumidora para os demais estados da Federação, nos termos do Convênio nº 16/2015, do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz) (BRASIL, 2015a).

A construção
de um futuro
sustentável,
ambientalmente
correto e
economicamente
viável
passa pela
implementação
do ‘mix’
de fontes
renováveis à
disposição,
além de uma
política efetiva
de gestão da
demanda e
redução das
desigualdades
sociais

Merece destaque o fato de que o instrumento da chamada pública não permite a apropriação, pela concessionária, de qualquer benefício obtido por meio da contratação

O ProGD, lançado em dezembro de 2015, como ação alinhada com o Acordo de Paris, tampouco irá causar a inflexão necessária no setor, em que pese o alarde do investimento previsto (R\$ 100 bilhões) e a meta de instalar 36GWp. Isto porque a Portaria nº 538/2015 (BRASIL, 2015c), do Ministério de Minas e Energia, que institui referido o programa, limita-se a estabelecer Valores Anuais Específicos de Referência (VRES) para a venda da energia proveniente da geração distribuída das fontes solar e cogeração qualificada, bem como a instituir um grupo de trabalho para apresentar ações que ajudem a concretizar os objetivos do programa, grupo este cujo relatório final está atrasado há mais de um ano.

Impende também registrar que, até o presente momento, não se tem conhecimento de qualquer concessionária do país que tenha se utilizado dos VRES, da Portaria nº 538/2015, do MME (BRASIL, 2015c), para aquisição de energia gerada por meio da fonte solar⁹, e nem se acredita que haverá a utilização de tais parâmetros enquanto não for reformulado o seu mecanismo de contratação, qual seja, o instituto da chamada pública, estabelecido pelo artigo 15 do Decreto nº 5.163 (BRASIL, 2004).

Além das considerações já tecidas em trabalho anterior (CUNHA, 2012, p. 26-28), merece destaque o fato de que o instrumento da chamada pública não permite a apropriação, pela concessionária, de qualquer benefício obtido por meio da contratação. Ademais, veda-se também o repasse de eventuais custos adicionais com esta contratação, o que, na prática, retira totalmente o interesse da distribuidora em adquirir energia por meio de geração distribuída. Desta forma, em que pese haver permissão legal para que ela possa suprir até 10% de seu mercado com tais fontes (BRASIL, 2004, §1º e §4º do art. 15), tal fornecimento atualmente é inexistente e tende a permanecer assim enquanto não houver uma reformulação do instituto¹⁰.

Por tal motivo, entende-se que a contratação, pela Coelba, da energia elétrica gerada pelos condomínios Praia do Rodeadouro e Morada do Salitre, via instrumento da chamada pública (BRASIL, 2004) e com base nos VRES (BRASIL, 2015c), em que pese se apresentar como uma alternativa juridicamente viável para equacionar a questão da destinação dessa energia, é observada, no presente estudo, como iniciativa com remota chance de implementação.

9 Não foi localizada nenhuma informação que tratasse de contratação, via chamada pública, baseada nos valores de referência fixados pela Portaria do MME nº 538 (BRASIL, 2015c). Os entrevistados tampouco souberam indicar qualquer exemplo de contratação que a tivesse utilizado como parâmetro.

10 Foi solicitada a informação por meio do sistema "fale conosco" da Coelba, a respeito da capacidade instalada de geração distribuída contratada via o instituto da chamada pública, mas até o fechamento do artigo não havia sido recebida qualquer resposta por parte da empresa.

Outro aspecto que merece menção é a expressiva regulação do setor, em especial no que tange à geração distribuída, por meio de normas de menor hierarquia jurídica, a exemplo de resoluções normativas e portarias, que tendem a ser menos estáveis do ponto de vista temporal e extremamente suscetíveis às mudanças de entendimento governamental, fato que retira a segurança jurídica necessária ao adequado desenvolvimento do setor elétrico, cujo planejamento é de longo prazo e requer, portanto, estabilidade institucional.

De fato, não existe qualquer garantia de que o modelo de compensação de energia estabelecido pela Resolução Aneel nº 482/2012 será mantido no futuro para os consumidores que já instalaram sistemas fotovoltaicos em suas residências com base nessa legislação, o que causa grande insegurança jurídica e pode vir a invalidar todos os cálculos de viabilidade econômica que foram realizados no período de decisão favorável à instalação dos painéis.

Observa-se ainda, no contexto nacional, que a ausência de paridade tarifária total, o investimento inicial necessário (MITSCHER; RÜTHER, 2012, p. 693), a impossibilidade de comercialização dos excedentes de energia gerados pelos micro e miniprodutores (BRASIL, 2004, art. 15, 2012, art. 7º, cap. VI, XII e XIII), entre outras normas, a exemplo do instituto da chamada pública (§4º do art. 15 do Decreto 5.163/2004), atrofiam um mercado de imenso potencial, impedindo o aproveitamento de recursos energéticos renováveis, abundantes e limpos, limitando a difusão da tecnologia solar no país (DÁVI et al., 2016, p. 19-20).

A energia solar, além de fonte de renda para parcela significativa da população brasileira, deve ser vista como importante vetor de conscientização ambiental, na medida em que viabiliza uma ação direta da sociedade ante as mudanças climáticas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a; KASTNER; MATTHIES, 2016, p. 2).

Novo paradigma para o setor elétrico brasileiro – propostas para a regulação da geração distribuída, extraídas da Resolução Aneel nº 4.385/2013

O modelo atual do setor elétrico encontra-se exaurido e não apresenta mais condições de seguir, no futuro, atendendo à demanda de energia (KIRCHNER, 2015, p. 94-101). Assim como aconteceu após o “apagão” de 2001, faz-se urgente outro modelo setorial, calcado em um novo paradigma para o sistema elétrico brasileiro, que venha a fundar-se na racionalidade ambiental (LEFF, 2006, p. 286) e no desenvolvimento sustentável; que seja calcado na eficiência energética e na resiliência; que possa viabilizar a aceleração do processo de superação do atual mercado cativo, mediante a atribuição da relevância necessária à geração

A energia solar, além de fonte de renda para parcela significativa da população brasileira, deve ser vista como importante vetor de conscientização ambiental

Casas e condomínios solares devem se tornar usinas geradoras, buscando a otimização do investimento e seu retorno, mediante a injeção de energia e a venda do excedente para a rede

solar distribuída, acomodando adequadamente a expansão da matriz elétrica nacional (PAPAEFTHYMIU; DRAGOON, 2016, p. 80-81).

É imprescindível que as distribuidoras faturem com o aumento da eficiência e com a redução da demanda, não com o aumento volumétrico do consumo de seu mercado cativo (EL HAGE; RUFIN, 2016, p. 146; LOVINS, 2013).

Casas e condomínios solares devem se tornar usinas geradoras, buscando a otimização do investimento e seu retorno, mediante a injeção de energia e a venda do excedente para a rede, evitando a construção de novas usinas de geração centralizada, em especial as de maior impacto ambiental (LOVINS, 2013; FÜCKS, 2015; AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a), reduzindo, também, as perdas sistêmicas e desafogando as linhas de transmissão.

Na era do antropoceno (TADDEI, 2014), do *full-world economics* (DALY, 1990, 1992), neste período que se caracteriza pelo papel determinante da influência da espécie humana sobre a natureza em nível planetário, ultrapassando os limites ambientais em escala mundial, de forma vertiginosa e perigosa (ROCKSTRÖM, 2009), as rotas de desenvolvimento deverão observar as contingências impostas pelo capital natural, que figurarão como preponderantes em face das limitações de acesso aos meios de produção e à força de trabalho (DALY, 1990).

É preciso reconhecer também que o mercado, por si só, não é capaz de garantir a efetivação dos princípios de justiça social e sustentabilidade (MATA; CAVALCANTI, 2002, p. 179). É necessário, portanto, que o planejamento do setor elétrico e a regulação nacional passem a buscar a consecução ativa de tais valores, mediante a desconcentração da utilização do bem comum, a energia solar, a fim de que tal recurso natural possa ser compartilhado, de forma *custo-efetiva*, entre o maior número possível de pessoas, promovendo distribuição de renda em médio e longo prazo (OSTROM, 1990, p. 1-23).

O caminho a ser trilhado pressupõe a emergência de uma nova racionalidade (LEFF, 2006, p. 286), que seja orientada para a defesa dos interesses socioambientais da coletividade, compatível com uma sociedade organizada em rede, interdependente e conectada, local e globalmente (CAPRA; MATTEI, 2015, p. 1821-3765; CULLMANN; NIESWAND, 2016, p. 192-193), sendo factível esperar que esse novo paradigma comece a ser construído no âmbito da energia solar (COLLAÇO, 2015, p. 16-18; KONZEN, 2014, p. 14; WITTMANN, 2014, p. 34-41).

A análise do Programa de Geração de Renda e Energia em Juazeiro (BA) (Resolução Aneel nº 4.385/2013) e, principalmente, do atual

estado em que se encontram os condomínios Praia do Rodeadouro e Morada do Salitre, fornece, além de proposições que poderão auxiliar a construção de um novo modelo para o setor elétrico, a evidência de que o ordenamento jurídico nacional não pode albergar a manutenção de tal situação.

No momento em que se encontram acionadas inúmeras usinas térmicas movidas a combustíveis fósseis para geração de energia no país, que o Rio São Francisco encontra-se com a menor vazão de sua história (600m³/s dia), equivalente a menos da metade do volume ambientalmente recomendado (BRASIL, 2017), que os efeitos das mudanças climáticas já se encontram postos à mesa (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016, p. 25-70), não se pode mais prescindir de qualquer recurso, não se pode tolerar o desperdício de um investimento de tal monta, não é possível simplesmente assistir ao naufrágio de tal projeto sem nada fazer.

A Coelba, ao desconectar a geração dos condomínios da sua rede de distribuição sem qualquer justificativa, está a resguardar, única e exclusivamente, seu interesse de curto prazo, em detrimento do interesse público e de todo o sistema elétrico nacional. Prefere não aproveitar uma energia que estava sendo fornecida gratuitamente a partir de uma fonte renovável, a correr o risco regulatório (hipotético e pouco provável) de vir a ser obrigada, no futuro, a pagar alguma contraprestação pela energia recebida e utilizada nesse período.

Com base em raciocínio semelhante, de que a geração de energia solar distribuída lhe reduz mercado e receita no atual modelo setorial, a Coelba, assim como a integralidade das distribuidoras de energia elétrica do país, atua de modo a dificultar e retardar a disseminação da fonte solar, mesmo que isso signifique maior ônus financeiro para o setor elétrico e danos ambientais ao planeta, em razão do aumento das emissões de gases de efeito estufa.

A realidade mostra que é preciso acelerar a transformação das distribuidoras em empresa fio, gestoras de demanda elétrica. Atualmente já é possível coordenar a geração e a demanda em tempo real, integrando à rede uma infinidade de mini e microgeradores renováveis, que se encontram pulverizados e conectados diretamente à rede de distribuição, concedendo a essas empresas um novo papel no sistema elétrico. Tal configuração agrega eficiência e resiliência à rede (SIMSHAUSER, 2016, p. 110-111), tendo em vista que a transmissão da energia por longas distâncias implica perdas sistêmicas de, aproximadamente, 15% do total de energia injetada (SILVA; MARCHI NETO; SEIFERT, 2016, p. 336).

O programa realizado em Juazeiro (BA) também deve ser entendido como forma de superar a questão do alto aporte inicial necessário para

Já é possível
coordenar a
geração e a
demanda em
tempo real,
integrando
à rede uma
infinidade
de mini e
microgeradores
renováveis, que
se encontram
pulverizados
e conectados
diretamente
à rede de
distribuição

O modelo do Programa de Geração de Renda e Energia implementado em Juazeiro (BA), por meio da Resolução Aneel nº 4.385/2013, está calcado na eficiência energética, na ética socioambiental e no desenvolvimento sustentável

a instalação do sistema fotovoltaico, que, não raro, é visto como algo fora âmbito de entendimento, negócios ou opções de investimentos dos consumidores (ECHEGARAY, 2014, p. 125), mesmo considerados os mais privilegiados economicamente.

A necessidade da consolidação da regulação por meio de normas jurídicas de maior hierarquia, que disciplinem os temas com perspectiva de longo prazo, fixando marcos técnicos para sua revisão e ajustes dos rumos do setor, é fundamental para viabilizar a concessão de maior segurança jurídica. Tal aspecto também se afigura como indicativo extraído da experiência do projeto piloto de Juazeiro e como fator preponderante para a promoção da diversificação na matriz elétrica do Brasil por meio da inserção da energia solar, via geração distribuída (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a).

O presente estudo, a partir da bibliografia consultada, da visita técnica e das entrevistas realizadas, entende que o modelo do Programa de Geração de Renda e Energia implementado em Juazeiro (BA), por meio da Resolução Aneel nº 4.385/2013, está calcado na eficiência energética, na ética socioambiental e no desenvolvimento sustentável, possuindo tais princípios como pilares de sustentação e orientação. O referido projeto também demonstra a importância de se conferir estabilidade institucional e segurança jurídica, sobretudo em projetos cujo retorno é de longo prazo, devendo tais princípios constituírem-se como pedra de sustentação do novo modelo do setor elétrico nacional a ser implementado.

Rotas e alternativas para os condomínios Morada do Salitre e Praia do Rodeadouro

A exceção legislativa trazida pela Resolução Aneel nº 4.385/2013, que autoriza o Programa de Geração de Renda e Energia em Juazeiro (BA), e os entendimentos conferidos às alterações realizadas em novembro de 2015 no sistema de compensação de energia (*net metering*), disciplinados pela Resolução nº 482/2012, atualizada pela Resolução nº 687/2015, apontam para soluções passíveis de responder à questão dos condomínios de Juazeiro, na medida em que autorizam a constituição de condomínios solares e a possibilidade de se realizar a compensação por meio de consumo remoto.

O presente estudo vislumbra como alternativas possíveis à atual situação dos condomínios, dentro do marco regulatório:

- 1) a venda da energia à Coelba, por meio de chamada pública a ser realizada por esta, baseada nos VRES, da Portaria do MME nº 538/2015;

- 2) a venda dos equipamentos e painéis a terceiro(s), com o arrendamento/aluguel da área (telhado) em que estes se encontram instalados;
- 3) o arrendamento/aluguel dos equipamentos e painéis a terceiro(s), viabilizando compensação da energia gerada em favor deste(s), mas mantendo a propriedade dos equipamentos pelos condomínios; e
- 4) a criação de cooperativa conformada pelos moradores dos condomínios e outras pessoas, a exemplo de mutuários de outros condomínios do programa Minha Casa Minha Vida na região, para compensação dos créditos gerados, por meio do consumo remoto.

Registra-se que, conforme já tratado acima, a adaptação das instalações dos condomínios para a compensação da energia gerada de forma individual pelos condôminos não é viável economicamente, em razão da necessidade de vultuosos investimentos para tanto, além de não equacionar a questão do excesso de créditos que seriam gerados (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a).

Destaque-se ainda que o maior diferencial do Programa de Geração de Renda e Energia é certamente a possibilidade de reduzir a desigualdade social, ao tempo que se geram renda e energia em localidade economicamente desfavorecida e detentora de grande potencial solar. Tais aspectos, de acordo com o presente estudo, justificam o esforço para se encontrarem soluções e ajustes ao modelo, a fim de viabilizar sua replicabilidade em outras localidades.

CONCLUSÕES

Os primeiros passos em direção a um novo paradigma para o sistema elétrico brasileiro, que seja calcado na eficiência energética, resiliência, desenvolvimento sustentável e inserção maciça das energias renováveis de forma distribuída, contemplam necessariamente a orientação do setor para tais princípios, abandonando o ‘miope’ paradigma da modicidade tarifária. A consolidação da regulação através de normas jurídicas de maior hierarquia e estabilidade, para garantir a segurança jurídica aos investimentos no longo prazo, a possibilidade de venda da energia excedente injetada na rede pelos micro e minigeradores, além da desvinculação entre energia vendida e as receitas das distribuidoras, também são medidas imprescindíveis.

Conforme exposto ao longo do presente trabalho, na proposta aqui apresentada de reforma do setor elétrico brasileiro, elege-se a eficiência

O maior diferencial do Programa de Geração de Renda e Energia é certamente a possibilidade de reduzir a desigualdade social, ao tempo que se geram renda e energia em localidade economicamente desfavorecida

A geração de energia solar, em local de grande potencial de irradiação e de baixa renda [...] deve ser visto como tendência, viabilizando matrizes energéticas renováveis ao tempo que reduz a desigualdade social

energética como pilar necessário de sustentação e orientação do setor. A reformulação das tarifas de eletricidade, a abertura para venda da energia excedente entregue à rede e o aperfeiçoamento da gestão da demanda, com a dissociação da receita das distribuidoras do volume de energia fornecido, bem como a consolidação da regulação por meio de normas jurídicas de maior hierarquia, são aspectos-chave para a diversificação da matriz elétrica por meio da adequada inserção da energia solar, via geração distribuída, no Brasil.

É importante destacar também que não se defende no presente trabalho, em absoluto, a repetição do modelo proposto pela Resolução Aneel nº 4.385/13. É evidente que este modelo deve ser aprimorado a cada novo empreendimento, mediante a correção de suas falhas, através de acurado planejamento pelos agentes reguladores, entretanto, não se pode ignorar os benefícios aportados pelo projeto aos moradores beneficiados, bem como ao sistema elétrico como um todo.

A geração de energia solar, em local de grande potencial de irradiação e de baixa renda e poucas oportunidades econômicas, deve ser visto como tendência, viabilizando matrizes energéticas renováveis ao tempo que reduz a desigualdade social que assola grande parte da população do Brasil.

REFERÊNCIAS

AFONSO, Geraldo Sidnei. *Análise dos instrumentos normativos de suporte à geração solar fotovoltaica distribuída conectada à rede de distribuição*. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Brasília, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). *Sala de situação*: São Francisco. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/sao-francisco/sao-francisco-saiba-mais>>. Acesso em: 21 jul. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL*: atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. 24 maio 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9>. Acesso em: 18 jul. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Nota Técnica nº 0096/2015-SRD/ANEEL*: análise das contribuições recebidas na Audiência Pública nº 26/2015 para aprimorar a Resolução Normativa nº 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST. 4 nov. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/026/resultado/nota_tecnica_0096_srd_redes_ren482_e_prodist_final.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2017.

_____. *Processo nº 48599.995435/2012-88*: Projeto de Geração de Energia Solar nos Condomínios Praia do Rodeadouro e Morada do Salitre em Juazeiro - BA. 2012a. Interessado Brasil Solair.

_____. Resolução Autorizativa nº 4.385, de 22 de outubro de 2013. Autoriza a Brasil Solair a implantar projeto piloto de geração de energia solar nos condomínios Praia do Rodeadouro e Morada do Salitre no município de Juazeiro-BA. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 6 nov. 2013, p. 69.

_____. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 9 abr. 2012a, seção 1, p. 53.

AGUIAR FILHO, Fernando Luiz. *Modelo institucional do setor elétrico brasileiro*: análise da capacidade de atração de capital privado para investimentos em geração de energia hidrelétrica. 2007. 186 f. (Dissertação)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ANDRADE, Máisa Medeiro Pacheco de. *O direito social fundamental de acesso à energia elétrica e a atuação estatal*. Dissertação (Mestrado em Constituição e Garantias de Direitos)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

BARDELIN, Cesar Endrigo Alves. *Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica*. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nos 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo no 186/2008. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 4 ago. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm>. Acesso em: 8 nov. 2016.

BRASIL. Decreto nº 8.892, de 27 de outubro de 2016. Cria a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 31 out. 2016.

BRASIL. Lei nº 13.169, de 6 de outubro de 2015. Altera a Lei no 7.689, de 15 de dezembro de 1988, para elevar a alíquota da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) em relação às pessoas jurídicas de seguros privados e de capitalização, e às referidas nos incisos I a VII, IX e X do § 1o do art. 1o da Lei Complementar no 105, de 10 de janeiro de 2001; altera as Leis nos 9.808, de 20 de julho de 1999, 8.402, de 8 de janeiro de 1992, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 10.833, de 29 de dezembro de 2003, 11.033, de 21 de dezembro de 2004, 12.715, de 17 de setembro de 2012, 9.249, de 26 de dezembro de 1995, 11.484, de 31 de maio de 2007, 12.973, de 13 de maio de 2014, 10.150, de 21 de dezembro de 2000, e 10.865, de 30 de abril de 2004; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 7 out. 2015a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. Resolução nº 742, de 24 de abril de 2017. Dispõe sobre a redução temporária da descarga mínima defluente dos reservatórios de Sobradinho e Xingó, no Rio São Francisco. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, nº 79, 26 abr. 2017. Seção 1, p. 50.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética. *Estimativa da capacidade instalada em geração distribuída no SIN: aplicações no horário de ponta*. Rio de Janeiro: MME: EPE, 2015b. (Série recursos energéticos, nota técnica DEA 01/15). Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2001%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20no%20Hor%C3%A1rio%20de%20Ponta.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria nº 538, de 15 de dezembro 2015. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 16 dez. 2015c. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1942329/Portaria_n_538-2015/49ab0708-5850-404c-a924-2760bbd22bbc?version=1.1>. Acesso em: 5 dez. 2017.

_____. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Brasília: MME: EPE, 2015d. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

BRASIL. *Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil: condicionantes e impactos*. Brasília: MME: EPE, 2014.

BRINKMAN, Gregory et al. *Low carbon grid study: analysis of a 50% emission reduction in California*. USA: NREL, 2016.

CAPRA, Fritjof; MATTEI, Ugo. *The ecology of law: toward a legal system in tune with nature and community*. Califórnia: Berrett-Koehler Publishers Inc., 2015.

CAVALCANTE, Hellen Priscilla Marinho. O acesso à energia elétrica no Brasil sob a ótica do desenvolvimento como liberdade. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 58-86, 2013.

COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida. *Planejamento e políticas públicas: uma análise sobre gestão energética descentralizada em âmbito municipal no Brasil*. 2015. 191 f. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL. *Bahia mira indústria solar*. Salvador: CBPM, 2015. Disponível em: <<http://www.cbpm.ba.gov.br/2015/11/3121/Bahia-mira-industria-solar.html>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA (Brasil). Convênio ICMS nº 16, de 22 de abril de 2015. Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 27 abr. 2015a. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=283791>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

CORTEKAR, Jörg; GROTH, Markus. Adapting energy infrastructure to climate change: is there a need for government interventions and legal obligations within the German “Energiewende”? *Energy Procedia*, [S.l.], v. 73, p. 12-15, 2015.

COSTA, Victor Hugo Gurgel; BRAGA JUNIOR, Sérgio Alexandre de Moraes. Sustentabilidade energética: as potencialidades do Nordeste brasileiro para o desenvolvimento. In: CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI, 23., 2014, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: CONPEDI, 2014. Disponível em: <<http://publicadireito.com.br/artigos/?cod=dba1dab580065e4d>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

CRUZ, Daniel Tavares. *Micro e minigeração eólica e solar no Brasil: propostas para desenvolvimento do setor*. 2015. 191 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

CUBEROS, Fábio Luiz. *Novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro: análise dos mecanismos de mitigação de riscos de mercado das distribuidoras*. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CULLMANN, Astrid; NIESWAND, Maria. Regulation and investment incentives in electricity distribution: an empirical assessment. *Energy Economics*, [S. l.], v. 57, p. 192-2013, 2016.

CUNHA, Felipe Barroco Fontes. *A titularidade dos créditos de carbono gerados por empreendimentos integrantes do PROINFA*. 2012. Monografia (Especialização em Direito Ambiental e Gestão da Sustentabilidade)-Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2012.

DALY, Herman E. Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics*, [S.l.], v. 2, p. 1-6, 1990

DALY, Herman E. From empty-world economics to full-world economics: recognizing an historical turning point in economic development. *TOES/ Americas*, Washington, v. 9, 1992. Disponível em: <<https://www.poline.org/node/324507>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

DÁVI, Giovani Almeida et al. Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid connected photovoltaic system in Brazil. *Energy and Buildings*, [S.l.], v. 120, p. 19-29, 2016.

DAWN, Subhojit et al. Recent developments of solar energy in India: perspectives, strategies and future goals. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 62, p. 215-235, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301916941_Recent_developments_of_solar_energy_in_India_Perspectives_strategies_and_future_goals>. Acesso em: 5 dez. 2017.

DUBEUX, Rafael Ramalho. *Desenvolvimento e mudança climática: estímulos à inovação em energia de baixo carbono em países de industrialização tardia (1997-2014)*. 2015. 349 f. Tese (Doutorado em Relações Internacionais)-Instituto de Relações Internacionais, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

DUSONCHET, L.; TELARETTI, E. Comparative economic analysis of support policies for solar PV in the most representative EU countries. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 42, p. 986-998, 2015.

ECHEGARAY, Fabián. Understanding stakeholders' views and support for solar energy in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], v. 63, p. 125-133, 2014.

EL HAGE, Fabio S.; RUFÍN, Carlos. Context analysis for a new regulatory model for electric utilities in Brazil. *Energy Policy*, [S.l.], v. 97, p. 145-154, 2016.

FARIA JR., Haroldo de; TRIGOSO, Federico B. M.; CAVALCANTI, João A. M. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: challenges and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 75, p. 469-475, Aug. 2017.

FÜCKS, Ralf. *Green growth, smart growth: a new approach to economics, innovation and the environment*. [S.l.]: Anthem Press, 2015.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho*. Tradução, Maria Cristina Vidal Borba, Neide Ferreira Gaspar. São Paulo: FAPESP, 2010. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

GABRIEL, Cle-Anne. What is challenging renewable energy entrepreneurs in developing countries?. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 64, p. 362-371, 2016.

GIL, Antônio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

GREENPEACE. *Revolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo*. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/image/2013/Agosto/Revolucao_Energetica.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Energy technology perspectives 2016: towards sustainable urban energy systems*. Paris: OECD: IEA, 2016.

_____. *Snapshot of global photovoltaic markets 2016*. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

ISMAIL, Abdul Muhaimin et al. Progress of solar photovoltaic in ASEAN countries: a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 48, p. 399-412, 2015.

JOLLY, Suyash; RAVEN, R. P. J. M. Field configuring events shaping sustainability transitions? The case of solar PV in India. *Technological Forecasting & Social Change*, [S.l.], v. 103, p. 324-333, 2016.

JOSHI, Devin K.; HUGHES, Barry B.; SISK, Timothy D. Improving governance for the post-2015 sustainable development goals: scenario forecasting the next 50 years. *World Development*, [S.l.], v. 70, p. 286-302, 2015.

KASTNER, Ingo; MATTHIES, Ellen. Investments in renewable energies by German households: a matter of economics, social influences and ecological concern?. *Energy Research & Social Science*, [S.l.], v. 17, p. 1-9, 2016.

KIRCHNER, Carlos Augusto Ramos. Dimensão da crise e a explosão das tarifas de energia elétrica. *Revista da USP*, São Paulo, n. 104, 2015.

KONZEN, Gabriel. *Difusão de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no Brasil: uma simulação via modelo de Bass*. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Instituto de Energia e Meio Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos da metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LANDI, Mônica. *Energia elétrica e políticas públicas: a experiência do setor elétrico brasileiro no período de 1934 a 2005*. 2006. 201 f. Tese (Doutorado)-Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2006.

LEFF, Enrique. *Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

LOVINS, Amory B. *Reinventando o fogo: soluções ousadas de negócios na nova era da energia*. São Paulo: Cultrix, 2013.

MATA, Henrique Tomé Costa; CAVALCANTI, José Euclides A. A ética ambiental e o desenvolvimento sustentável. *Revista de Economia Política*, São Paulo, v. 22, p. 170-185, 2002.

MELO, Conrado Augustus de; JANNUZZI, Gilberto de Martino; BAJAY, Sergio Valdir. Non conventional renewable energy governance in Brazil: lessons to learn from the German experience. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 61, p. 222-234, 2016.

MIAN, Helena Magalhães; MOTA, Vítor Augusto de Souza. *Mecanismos de suporte para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira: modelos e sugestão para uma transição acelerada*. Brasília: WWF-Brasil, 2015.

MITSCHER, Martin; RÜTHER, Ricardo. Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. *Energy Policy*, [S.l.], v. 49, p. 688-694, 2012.

NUNES, Marcelo Guedes. *Jurimetria: como a estatística pode reinventar o direito*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2016.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Histórico da operação: geração de energia*. 2017. Disponível em: <http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx>. Acesso em: 3 set. 2017.

OSTROM, Elinor. *Governing the commons: the evolution of institutions for a collective action*. United Kingdom: Cambridge University Press, 1990. Disponível em: <http://wtf.tw/ref/ostrom_1990.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2017.

OVERHOLM, Harald. Spreading the rooftop revolution: what policies enable solar-as-a service?. *Energy Policy*, [S.l.], v. 84, p. 69-79, 2015.

PAPAEFTHYMIU, G.; DRAGOON, Ken. Towards 100% renewable energy systems: uncapping power system flexibility. *Energy Policy*, [S.l.], v. 92, p. 69-82, 2016.

PARIJS, Philippe Van. Renda básica: renda mínima garantida para o século XXI?. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 14, n. 40, p. 179-210, set./dez. 2000.

PINTO, Julian T. M.; AMARAL, Karen J.; JANISSEK, Paulo R. Deployment of photovoltaics in Brazil: scenarios, perspectives and policies for low-income housing. *Solar Energy*, [S.l.], v. 133, p. 73-84, 2016.

PYRGOU, Andri; KYLILI, Angeliki; FOKAIDES, Paris A. The future of the Feed-in Tariff (FiT) scheme in Europe: the case of photovoltaics. *Energy Policy*, [S.l.], v. 95, p. 94-102, 2016.

ROCKSTRÖM, Johan et al. A safe operating space for humanity. *Nature*, [S.l.], v. 461, p. 472-475, Sept. 2009.

ROSA, Taís Hemann da. *O acesso à energia elétrica como manifestação do direito ao mínimo existencial: uma análise com ênfase na dimensão defensiva do direito de acesso à energia elétrica*. 2016. 167 f. Dissertação (mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Direito Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SCHAEFFER, Roberto et al. *Adaptação às mudanças climáticas no Brasil: cenários e alternativas*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2015. Relatório final em PDF.

SCHMIDT, Johannes; CANCELLA, Rafael; PEREIRA JUNIOR, Amaro O. An optimal mix of solar PV, wind and hydro power for a low-carbon electricity supply in Brazil. *Renewable Energy*, [S.l.], v. 85, p. 137-147, 2016a.

SCHMIDT, Johannes; CANCELLA, Rafael; PEREIRA JUNIOR, Amaro O. The role of wind power and solar PV in reducing risks in the Brazilian hydro-thermal power system. *Energy*, [S.l.], v. 115, p. 1748-1757, Nov. 2016b. Part. 3.

SILVA, Glauciene Justino Ferreira da; SEVERO, Thiago Emmanuel Araújo. Potencial/aproveitamento de energia solar e eólica no Semiárido nordestino: um estudo de caso em Juazeiro-BA nos anos de 2000 a 2009. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 5, n. 3, p. 586-599, 2012.

SILVA, Rodrigo Corrêa; MARCHI NETO, Ismael; SEIFERT, Stephan Silva. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 59, p. 328-341, 2016.

SIMSHAUSER, Paul. Distribution network prices and solar PV: resolving rate instability and wealth transfers through demand tariffs. *Energy Economics*, [S.l.], v. 54, p. 108-122, 2016.

SOUZA, Luiz Enrique Vieira de; CAVALCANTE, Alina Mikhailovna Gilmanova. Towards a sociology of energy and globalization: interconnectedness, capital, and knowledge in the Brazilian solar photovoltaic industry. *Energy Research & Social Science*, [S.l.], v. 21, p. 145-154, 2016.

STRAM, Bruce N. Key challenges to expanding renewable energy. *Energy Policy*, [S.l.], v. 96, p. 728-734, 2016.

TADDEI, Renzo. Alter geoengenharia. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL OS MIL NOMES DE GAIA: DO ANTROPOCENO À IDADE DA TERRA, 1., 2014, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Fundação Casa de Rui Barbosa, 2014. Disponível em: <<https://osmilnomesdegaia.files.wordpress.com/2014/11/renzo-taddei-alter-geoengenharia.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

UNITED NATIONS. Framework Convention on Climate Change. *Adoption of the Paris agreement: proposal by the president: draft decision -/CP.2*. Paris, 2015. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

WITTMANN, Douglas. *A indústria de energia elétrica no Brasil e o desenvolvimento sustentável: uma proposta para o horizonte 2050 à luz da Teoria de Sistemas*. 2014. 200 f. Tese (Doutorado)-Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Resumo

O presente artigo realizou uma análise crítica para verificar se a Bahia possui as condições necessárias para promover a expansão, em bases sustentáveis, da agroenergia. Essa análise definiu como objetivos avaliar as potencialidades e limitações para a expansão, em bases sustentáveis, da agroenergia na Bahia, considerando a situação atual, as perspectivas e tendências da agroenergia no Brasil e na Bahia; identificar e mapear as regiões de produção e as prováveis áreas de expansão da agroenergia; avaliar, no âmbito estadual, as potencialidades e limitações para a expansão da agroenergia; verificar os riscos ambientais envolvidos com a expansão da produção agroenergética, e propor medidas para a expansão sustentável da agroenergia na Bahia.

Palavras-chave: Biomassa energética. Agroenergia. Sustentabilidade ambiental. Mudanças climáticas.

Abstract

This article has performed a critical analysis to verify if Bahia has the necessary conditions to promote the sustainable expansion of agro-energy. This analysis defined as objectives to evaluate the potentialities and limitations for the sustainable expansion of agroenergy in Bahia, considering the current situation, the perspectives and trends of agroenergy in Brazil and Bahia; identify and map production regions and the likely areas of expansion of agroenergy; to assess, at the state level, the potentialities and limitations for the of agroenergy; to verify the environmental risks involved in the agro-energy production, and propose measures for the sustainable expansion of agroenergy in Bahia.

Keywords: Energy biomass. Agroenergy. Environmental sustainability. Climate changes.

Potencialidades e limitações para a expansão, em bases sustentáveis, da agroenergia na Bahia

ROBERTO ANTÔNIO FORTUNA CARNEIRO

Mestre em Administração e doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e graduado em Geografia pela Universidade Católica do Salvador (UCSal). Coordenador de Comércio e Serviços da Secretaria de Desenvolvimento Econômico e professor permanente do Mestrado Profissional em Tecnologias Aplicáveis à Bioenergia e do Programa de Pós-graduação das Faculdades Área 1 e Visconde de Cairu. rfortuna.c@gmail.com, roberto.carneiro@ufba.br

LUÍS OSCAR MARTINS

Mestre em Tecnologias Aplicáveis à Bioenergia pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC); especialista em Administração pelo Centro Universitário Jorge Amado (Unijorge) e em Metodologia do Trabalho Científico pela Faculdade Maria Milza (Famam) e graduado em Economia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor do Centro Universitário Maurício de Nassau (Uninassau) e da Universidade Salvador (Unifacs) e analista econômico da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). luisoscar2007@hotmail.com

A ENERGIA possui um papel fundamental para o desenvolvimento e o crescimento de um país, estado ou região, pois é vital à produção de alimentos e bens de consumo, à prestação de serviços e ao lazer. Este desenvolvimento vai implicar, por sua vez, uma demanda crescente por energia, que envolverá aspectos como: planejamento da ampliação da oferta, gestão dos custos de produção e distribuição, regularidade de fornecimento, eficiência energética, sustentabilidade ambiental, entre outros.

Segundo estimativas da International Energy Agency (2016), com a recuperação econômica, a demanda por energia no mundo aumentará 1,5% ao ano até 2030. De acordo com as projeções dessa agência, a demanda global de energia passará de 12 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), em 2007, para 17,3 bilhões de tep em 2030¹.

1 Considerando-se o cenário atual de políticas públicas para o setor de energia, sem metas de redução das fontes fósseis (nota dos autores).

É nesse contexto que foi delimitado o seguinte problema a ser investigado pela pesquisa: a Bahia possui as condições necessárias para promover a expansão, em bases sustentáveis, da agroenergia?

Nesse cenário de elevação da demanda mundial por energia nos próximos anos, um sinal de alerta é que a oferta ainda estará pautada nas fontes energéticas de origem fóssil (petróleo, gás natural e carvão mineral), cuja participação na matriz mundial de energia passaria dos atuais 77,8% para 80,6% em 2030, de acordo com o International Energy Agency (2015). O uso de combustíveis fósseis, grandes emissores de Gases de Efeito Estufa (GEE), tem provocado, ao longo de décadas, um aumento na concentração de dióxido de carbono na atmosfera que, mesmo com os diferentes acordos internacionais que foram celebrados, vem aumentando.

Em contrapartida, há fontes de energia renováveis, oriundas da biomassa, que têm despertado grande interesse, inclusive, pelo grande potencial para gerar empregos e permitir um balanço energético mais sustentável por conta da assimilação do dióxido de carbono na fase agrícola, o que não ocorre com a energia gerada a partir de combustíveis fósseis. Isso confere à agroenergia uma importância estratégica na transição da matriz energética atual para outras fontes compatíveis com as exigências da sociedade ante as mudanças climáticas globais.

Todavia, a agroenergia também pode provocar impactos ambientais indesejáveis, a exemplo do uso de agrotóxicos e emissões de CO₂ na fase agrícola, lançamento de material particulado na atmosfera, com a queima de canaviais, e a geração termelétrica, como será visto a seguir.

É nesse contexto que foi delimitado o seguinte problema a ser investigado pela pesquisa: a Bahia possui as condições necessárias para promover a expansão, em bases sustentáveis, da agroenergia?

Para responder a este questionamento o presente artigo objetiva analisar as potencialidades e limitações para a expansão, em bases sustentáveis, da agroenergia na Bahia. Foram também definidos como objetivos específicos: a) avaliar a situação atual, as perspectivas e as tendências da agroenergia no Brasil e na Bahia; b) identificar e mapear as regiões de produção e as prováveis áreas de expansão da agroenergia na Bahia; c) avaliar, no âmbito estadual, as potencialidades e limitações para a expansão da agroenergia; d) avaliar os riscos ambientais envolvidos com a expansão da produção agroenergética; e) propor medidas para a expansão sustentável da agroenergia na Bahia.

Para responder ao questionamento principal deste artigo e aos demais objetivos definidos, a metodologia utilizada seguiu a classificação proposta por Lakatos e Marconi (2017)². Realizou-se uma

2 Que leva em consideração a natureza, a forma de abordagem do problema, os objetivos e os procedimentos técnicos e de análise adotados.

pesquisa exploratória e descritiva na linha qualitativa, delimitando como área de abrangência do estudo os Territórios de Identidade do estado da Bahia, espaços onde ocorrem as potencialidades e limitações (vulnerabilidades) para as atividades produtivas da agroenergia.

Estruturalmente, este artigo está dividido em quatro partes, além da introdução. Na segunda seção, analisam-se a participação da agroenergia na matriz energética brasileira e as políticas desenvolvidas para promoção da agroenergia no Brasil. A terceira parte trata das questões e dos riscos socioambientais da agroenergia, enquanto a quarta seção discute as potencialidades e limitações da agroenergia na Bahia. Por fim, são expostas as conclusões e recomendações gerais.

O PESO DA AGROENERGIA NA MATRIZ ENERGÉTICA

Conceito de agroenergia

Segundo o Plano Nacional de Agroenergia (PNA) (BRASIL, 2006), a agroenergia é a energia obtida a partir da biomassa, matéria vegetal que se desenvolve pela captação da energia solar através do processo de fotossíntese, originada nas atividades agropecuárias e no manejo florestal, e que pode ser classificada em: a) combustíveis sólidos, oriundos das florestas, do processamento da madeira e dos resíduos agropecuários, b) combustíveis líquidos, gerados a partir da plantação de oleaginosas e de cana-de-açúcar e, c) combustíveis gasosos, gerados a partir da digestão anaeróbica dos resíduos agrícolas³. Ou seja, a biomassa produzida na fotossíntese é convertida em energia combustível.

A cogeração a partir da biomassa fornece a mesma energia final com um menor consumo energético primário e reduz significativamente as emissões para o meio ambiente. Além disso, apresenta menores custos por kWh; redução das perdas durante a fase de transporte graças à proximidade das centrais de cogeração dos consumidores; redução da emissão de CO₂ em até 50%; maior garantia de operação ininterrupta, em caso de falha de abastecimento da rede, quando da ligação das pequenas centrais de cogeração de eletricidade e calor à rede elétrica; e redução da necessidade de combustíveis fósseis (BRASIL, 2006).

A agroenergia é a energia obtida a partir da biomassa, matéria vegetal que se desenvolve pela captação da energia solar através do processo de fotossíntese, originada nas atividades agropecuárias e no manejo florestal

3 Em que pese a importância de toda a cadeia produtiva, o foco deste artigo é o uso da biomassa para expansão da produção de energia, pelo fato de possuir o ciclo de carbono praticamente fechado, reduzindo a dependência dos derivados de petróleo.

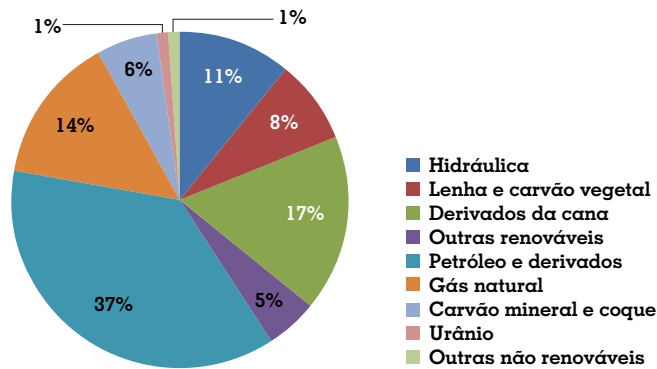
A participação das fontes de biomassa na matriz energética brasileira, no que se refere à Oferta Interna de Energia (OIE), é de 29,8% ao todo

Participação da agroenergia na matriz energética brasileira

A participação das fontes de biomassa na matriz energética brasileira, no que se refere à Oferta Interna de Energia (OIE), é de 29,8% ao todo, com destaque para derivados da cana, com 16,9%; lenha e carvão vegetal, com 8,2%, e outras renováveis, com 4,7%. Neste segmento destaca-se a lixívia, que abarca os resíduos de madeira e de produção de celulose e o biogás obtido a partir de restos vegetais e animais (Gráfico 1).

Gráfico 1

Oferta interna de energia - Brasil - 2016



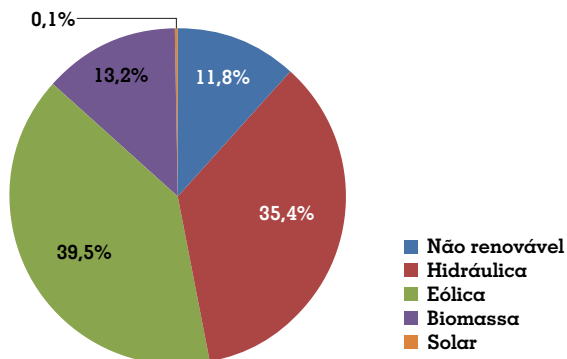
Fonte: Balanço Energético Nacional (2016).

Nota: Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica.

Em termos de capacidade total instalada de geração de energia elétrica (centrais de serviço público e autoprodutoras), a agroenergia alcançou 140.858 MW em 2015, um aumento de participação de 6.945 MW em relação a 2014. Na expansão da capacidade instalada, nota-se o grande crescimento das renováveis, sendo que a biomassa contribuiu com 13,2% de aumento do *grid* nacional, graças ao bagaço de cana para cogeração.

Gráfico 2

Participação das fontes na expansão da capacidade - Brasil - 2016



Fonte: Balanço Energético Nacional (2016).

A Tabela 1 apresenta o total de capacidade instalada de geração de eletricidade no país a partir da biomassa. Note-se, na série histórica, uma evolução geral de aproximadamente 48%, entre 2006 e 2015. Destaque especial para a evolução do bagaço e do biogás, com aumentos de 300% e 320%, respectivamente.

Tabela 1

Capacidade instalada de geração elétrica da biomassa (em MW) - Brasil - 2006-2015

Fonte	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Biomassa	3.702	4.103	5.054	5.717	7.927	9.028	9.923	11.601	12.341	13.257
Bagaço	2.644	3.023	3.687	4.096	6.183	7.213	8.095	9.435	9.881	10.573
Outras	1.058	1.080	1.367	1.622	1.744	1.815	1.828	2.166	2.460	2.684
Biogás	20	20	32	45	68	71	79	80	70	84
Capim elefante	-	-	-	-	-	32	32	32	32	32
Carvão vegetal	8	8	17	25	25	25	25	25	51	51
Casca de arroz	6	19	25	31	19	33	36	36	38	54
Gás de alto forno - biomassa	22	22	70	85	88	88	93	93	108	112
Lixívia	785	795	970	1.146	1.241	1.245	1.236	1.530	1.785	1.923
Óleos vegetais	-	-	-	-	-	4	4	4	19	27
Resíduos de madeira	216	216	253	289	303	317	322	366	358	400
Total	96.294	100.352	102.949	104.569	113.327	117.135	120.975	126.743	133.913	140.858

Fonte: Balanço Energético Nacional (2016).

O Brasil é o país que reúne as melhores condições para liderar a agricultura de energia no mundo, pois possui uma área agricultável superior a 300 milhões de hectares, dos quais apenas 70 milhões são explorados atualmente

O potencial do Brasil para a expansão da agroenergia

O Brasil é o país que reúne as melhores condições para liderar a agricultura de energia no mundo, pois possui uma área agricultável superior a 300 milhões de hectares, dos quais apenas 70 milhões são explorados atualmente, o que permite a incorporação de novas culturas sem a necessidade de reduzir a área utilizada na agricultura de alimentos. Dispõe também de tecnologia própria, mão de obra disponível e disponibilidade de água, além de estar situado na zona intertropical subtropical do planeta, o que lhe permite receber intensa radiação solar ao longo do ano.

Com relação às diferentes fontes de biomassa, o país dispõe de uma grande diversidade de espécies oleaginosas, das quais se podem extrair óleos para fins energéticos, a exemplo das espécies nativas (buriti, babaçu, etc.), as de cultivo de ciclo curto (soja, amendoim, etc.) e as de ciclo longo ou perene (dendê). Acrescente-se a isso o carvão vegetal oriundo de plantações de eucaliptos, a cogeração de eletricidade do bagaço de cana e o uso dos resíduos florestais na indústria de papel e

Dentre os programas importantes relacionados à sustentabilidade, destaca-se o Proálcool, lançado na década de 1970 com o intuito de diminuir a dependência externa do petróleo em períodos de crise

celulose (cascas, serragem, licor negro, etc.). Há também os resíduos vegetais e animais, tais como restos de colheita, esterco animal (avicultura, suinocultura e bovinocultura em regime intensivo) e efluentes agroindustriais (vinhaça). Estes resíduos podem ser utilizados para a queima direta (produção de calor), ou, no caso dos dejetos da pecuária, para a produção de biogás em biodigestores. O aproveitamento em grande escala do biogás é uma alternativa para aumentar a eficiência do processo de cogeração de energia elétrica.

Graças a esse potencial, o país pode se tornar um importante produtor de energia gerada por biomassa, fonte energética compatível com o combate às emissões de GEE.

Políticas para a promoção da agroenergia no Brasil

Com o objetivo de aproveitar o potencial de geração de bioenergia, o governo federal desenvolveu, ao longo dos anos, um conjunto de políticas para fomentar o aproveitamento da biomassa no país (Quadro 1).

Quadro 1

Principais programas do governo brasileiro de apoio à bioenergia - Brasil - 1975-2006

Programa	Ano	Objetivo
Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Proóleo)	1975	Gerar um excedente de óleo vegetal capaz de tornar seus custos de produção competitivos com os do petróleo.
Proálcool	1975	Substituir gradativamente a frota de carros movida por combustíveis derivados do petróleo por motores que funcionavam com recursos naturais, caso do álcool.
Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (Prodeem)	1994	Viabilizar o fornecimento de energia por meio de fontes renováveis e sustentáveis às populações não atendidas pela rede elétrica convencional.
Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas (Proinfa)	2002	Diversificar a matriz energética a partir do aumento da participação das fontes renováveis. Enfoque na cogeração a partir de resíduos de biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e na energia eólica.
Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)	2004	Implementar de forma sustentável, tanto técnica como econômica, a produção e o uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda.
Leilões de compra de energias alternativas.	2005	Atender ao crescimento do mercado no ambiente regulado e aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira. (Decreto nº 6.048, de 27/02/2007, que altera a redação do Decreto nº 5.163, de 30/06/2004).
Plano Nacional de Agroenergia (2006-2011).	2006	Desenvolver e transferir conhecimento e tecnologias que contribuam para a produção sustentável da agricultura de energia e o uso racional da energia renovável.

Fonte: elaboração dos autores com base nas referências consultadas.

O Brasil é considerado referência mundial na produção de biomassa. Dentre os programas importantes relacionados à sustentabilidade, destaca-se o Proálcool, lançado na década de 1970 com o intuito de diminuir a dependência externa do petróleo em períodos de crise. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2007), em regime

normal de operação de mercado, o rendimento médio de uma tonelada de cana-de-açúcar moída fornece 71 kg de açúcar, 42 litros de álcool ou 11,5 toneladas de açúcares totais recuperáveis por hectare de cana-de-açúcar cultivada. Ainda segundo o órgão, o uso do bagaço – cuja produção na safra 2015/2016, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (2015), foi de aproximadamente 183,3 milhões de toneladas – como combustível representa 17,5 milhões de toneladas de petróleo, o que equivale a todo o gás natural e ao óleo combustível utilizados no país.

Todas as políticas citadas acima tornaram o país o maior e mais eficiente produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo e o segundo maior produtor de biodiesel, atrás apenas dos Estados Unidos. Porém, ainda há um longo caminho a ser percorrido para o aproveitamento dos resíduos da agricultura e da pecuária.

QUESTÕES AMBIENTAIS DA AGROENERGIA

A agroenergia tanto pode gerar efeitos benéficos para o meio ambiente quanto danosos, como será analisado a seguir.

Os problemas ambientais da agroenergia

Segundo Inatomi e Udaeta (2009) e Goldemberg e Villanueva (2003), os impactos ambientais gerados com a obtenção de energia interferem no desenvolvimento sustentável, e o entendimento desses impactos são de fundamental importância tanto para a análise de implementação de projetos de geração de energia quanto ao próprio planejamento para o setor energético. Estes impactos podem ser:

- Locais – poluição urbana do ar, poluição do ar em ambientes fechados;
- Regionais – chuva ácida;
- Globais – efeito estufa, desmatamento, degradação costeira e marinha.

Um exemplo desses impactos pode ser verificado nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar (visando à produção de etanol), que sofrem processos erosivos graves, devido à remoção da vegetação natural e ao tráfego de maquinário pesado, associados à aplicação excessiva de fertilizantes e corretivos agrícolas. Por sua vez, a queima dos canaviais provoca a morte de várias espécies de animais, além da destruição de reservas de matas e florestas, matas ciliares, incorrendo-se, portanto, no

Segundo Inatomi e Udaeta (2009) e Goldemberg e Villanueva (2003), os impactos ambientais gerados com a obtenção de energia interferem no desenvolvimento sustentável

Inúmeras são as consequências negativas das mudanças climáticas para a população mundial, pode-se destacar uma maior frequência de fenômenos extremos como: furacões, geadas, tufões, enchentes, e ondas de calor

descumprimento das normas relativas às Áreas de Preservação Permanente (APP) e na necessidade de reserva de matas em cada imóvel rural. A poluição do ar é provocada, principalmente, pelo material particulado fino resultante da queima da cana-de-açúcar.

Os benefícios da agroenergia na mitigação das mudanças climáticas

As emissões oriundas da queima dos combustíveis fósseis vêm provocando um processo de mudança no clima geral do planeta. Para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC)⁴, e de acordo com o Quarto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC)⁵, publicado em 2007, tem-se que:

As mudanças climáticas são alterações permanentes no equilíbrio climático do planeta [...], as atividades humanas, sobretudo as verificadas nos setores de energia, transporte e desmatamento, vêm influenciando a ocorrência desse tipo de evento que modifica o modo com o qual a energia global interage com a atmosfera, o que pode provocar graves consequências. (INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

Inúmeras são as consequências negativas das mudanças climáticas para a população mundial, pode-se destacar uma maior frequência de fenômenos extremos como: furacões, geadas, tufões, enchentes, e ondas de calor. Grave também é o descongelamento das camadas de gelo do Ártico e da Antártica, gerando redução de plânctons, morte de corais e elevação do nível do mar, com inundação de regiões costeiras. Outro fato alarmante é a crescente desertificação, provocando perda de biodiversidade e de áreas cultiváveis (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2015).

Os GEE possuem a capacidade de absorver energia da atmosfera. Os principais gases, no âmbito do Protocolo de Quioto⁶, estão listados no Quadro 2.

4 Tratado internacional que resultou da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro em 1992. Foi firmado por quase todos os países do mundo e tem como objetivo a estabilização da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

5 Implantado em 1988, trata-se de um órgão intergovernamental para os países membros do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Fornece informações científicas, técnicas e socioeconômicas para o entendimento das mudanças climáticas.

6 O Protocolo de Quioto destaca ainda outras fontes de GEE: os Hidrofluorcarbonos (HFC), gases para refrigeração, o Perfluorcarbono (PFC), presente no processo produtivo do alumínio, e o Hexafluoreto de Enxofre (SF6), isolante de equipamentos elétricos de grande porte.

Quadro 2

Principais gases do efeito estufa

Gás	Origem	Efeitos
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Corresponde a 60% de todas as emissões. Ocorre naturalmente e como resultado da queima de combustíveis fósseis e das mudanças no uso da terra (desmatamentos e queimadas).	Permanece na atmosfera por aproximadamente 100 anos.
Metano (CH ₄)	Resulta da decomposição dos aterros e lixões, reservatórios de hidroelétricas, digestão de ruminantes (fermentação entérica), produção e distribuição de gás natural e óleo e produção de carvão. Responde por 20% dos GEE e retém 21 vezes mais calor.	Permanece na atmosfera por aproximadamente 13 anos.
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Gerado pelo cultivo do solo devido ao uso de fertilizantes orgânicos e comerciais, queima de combustíveis fósseis e de biomassa.	Baixíssima concentração na atmosfera, mas retém até 300 vezes mais calor que o CO ₂ . Permanece na atmosfera por até 150 anos.

Fonte: International Energy Agency (2015).

Os principais setores de atividade responsáveis pela emissão de GEE são: a agropecuária; o uso de terras e florestas (desmatamento); o tratamento de resíduos sólidos (aterro sanitário e tratamento de esgoto); os processos industriais (minerais, alimentos, química, metalurgia, papel e celulose), e a produção de energia.

Atualmente, verifica-se a existência de um esforço global para elevar os investimentos em P&D, realizar conferências, celebrar acordos e tratados e desenvolver projetos de cooperação entre os países.

Uma tentativa de reverter este cenário foi dada pela celebração de vários acordos e tratados internacionais, como o Protocolo de Quioto, importante instrumento para implementar a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. O principal objetivo desses acordos é que os países industrializados reduzam e controlem as emissões de GEE em, aproximadamente, 5% abaixo dos níveis registrados em 1990. A intenção é que os países desenvolvidos cumpram parte de seus compromissos de limitar ou reduzir as emissões de GEE por meio de financiamento e transferência de tecnologias limpas, substituição de energias fósseis por renováveis, racionalização do uso da energia, florestamento e reflorestamento em países em desenvolvimento.

Sem resultados efetivos, em dezembro de 2009, em Copenhague (Dinamarca), foi feita outra tentativa, com a realização da 15ª Conferência das Partes da Convenção do Clima (COP 15), que reuniu representantes de 192 países para negociar um segundo compromisso capaz de reduzir as emissões, entretanto, resultou apenas em um acordo político chamado “Acordo de Copenhague”, no qual os países reconhecem que o aumento da temperatura global deve ficar abaixo de 2°C e os países desenvolvidos deveriam se comprometer com a causa, fornecendo aproximadamente US\$ 30 bilhões para o período de 2010 a 2012, divididos entre adaptação e mitigação das emissões (CARNEIRO, 2017).

Atualmente,
verifica-se a
existência de
um esforço
global para
eleva os
investimentos
em P&D,
realizar
conferências,
celebrar
acordos e
tratados e
desenvolver
projetos de
cooperação
entre os países

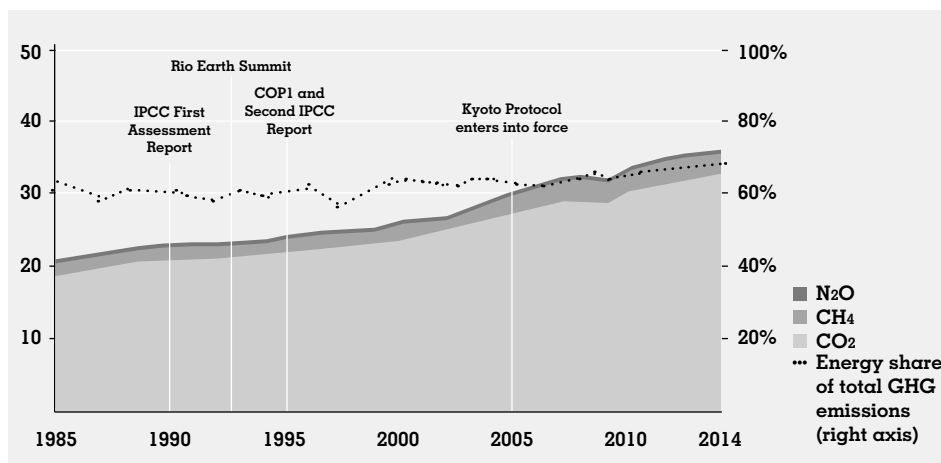
O Acordo de Paris substituirá, a partir de 2020, o atual Protocolo de Kyoto, sendo que 55 países que representam 55% das emissões de GEE precisavam ratificá-lo, o que foi alcançado em 4 de novembro de 2016

A iniciativa mais recente ocorreu em dezembro de 2015, com o Acordo de Paris, no qual 195 países mais a União Européia (UE) se comprometeram, durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21), em Paris, a manter o aumento da temperatura do planeta abaixo dos 2°C, quando comparado à temperatura média pré-industrial, e a ajudar economicamente os países mais vulneráveis ao aquecimento global. O Acordo de Paris substituirá, a partir de 2020, o atual Protocolo de Kyoto, sendo que 55 países que representam 55% das emissões de GEE precisavam ratificá-lo, o que foi alcançado em 4 de novembro de 2016. Até junho de 2017, 195 membros da convenção assinaram o acordo, e 147 destes, entre eles o Brasil, o ratificaram.⁷

Apesar destes tratados e acordos, graças à resistência de muitos países, as emissões mundiais de GEE, segundo International Energy Agency (2017), continuam altas, como pode ser observado no Gráfico 3, que faz uma análise do período 1985-2014, cruzando os dados das emissões dos gases N₂O, CH₄ e CO₂ e a participação energética das emissões totais de GEE com os diferentes acordos assinados entre os países. Nota-se que, apesar dos quatro grandes eventos (o Acordo de Paris não faz parte desta análise), as emissões continuam em sua trajetória ascendente, requerendo a continuidade da implementação de medidas urgentes por parte dos países.

Gráfico 3

Fornecimento global de energia e energia antropogénica - 1985-2014



Fonte: IEA (2017).

Notas: CO₂ = dióxido de carbono, CH₄ = metano, N₂O = óxido nítrico. CH₄ tem um potencial de aquecimento global de 28 a 30 vezes mais que o CO₂, enquanto que o potencial de aquecimento global do N₂O é 265 vezes maior que o de CO₂.

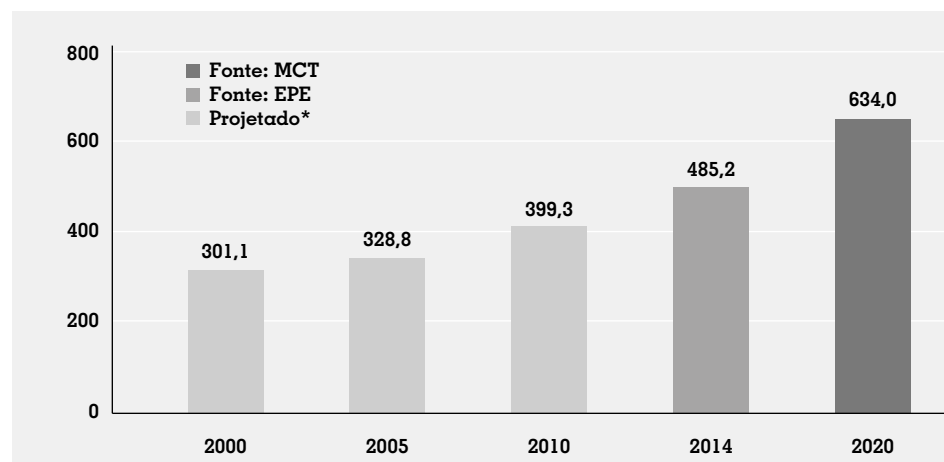
7 Para mais detalhes ver o site da ONU: <https://nacoesunidas.org/acordodeparis/>

Relatório da International Energy Agency (2009), alerta que o mundo precisará investir US\$ 10,5 trilhões no setor de energia entre 2010 e 2030 para limitar as emissões e impedir o aumento da temperatura mundial em mais de 2°C.

Entre os países emergentes, o Brasil apresenta uma situação mais confortável, por conta das características da sua matriz energética, com forte participação das renováveis. Verifica-se, porém, um crescimento das emissões no período 2000-2014, de 301,1 para 485,2 MtCO₂-eq⁸, respectivamente, devendo crescer para 634 MtCO₂-eq em 2020. A maior parte das emissões em 2014 (221,9 Mt CO₂-eq) foi gerada pelo setor de transportes.

Gráfico 4

Evolução das emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira em MtCO₂-eq - Brasil - 2000-2020



Fonte: Boletim de Conjuntura Energética (2014), Balanço Energético Nacional (2016).

Esse crescimento das emissões de GEE no país ocorre também por conta das elevadas taxas de desmatamento e queimadas que ainda se verificam no país.

Segundo o Plano Nacional de Agroenergia (BRASIL, 2006), uma das vantagens do uso de biomassa é a emissão baixa ou nula dos gases poluentes. Comparando-se as duas estratégias de redução do impacto das emissões de GEE, o uso energético da biomassa é mais vantajoso do que o sequestro e a fixação, porque:

- biocombustíveis e biomassa energética, em geral, podem substituir os combustíveis fósseis diretamente;
- há menos incerteza em relação às medições das contribuições da biomassa energética do que quanto ao sequestro de carbono;

8 Milhões de toneladas de Dióxido de Carbono equivalente.

Entre os países emergentes, o Brasil apresenta uma situação mais confortável, por conta das características da sua matriz energética, com forte participação das renováveis

Segundo o Balanço Energético do Estado da Bahia (BEEBA) (2016), o estado possui forte predominância de fontes não renováveis (67,1%) na sua matriz energética quando comparado com o Brasil (54,6%), com destaque para os derivados de petróleo

- o custo de investimento é menor, pois o sequestro de carbono significa que a energia para a sociedade necessitará ser suprida de alguma forma;
- a redução de emissões pela biomassa energética é um fenômeno definitivo, enquanto as florestas de sequestro devolvem CO₂ à atmosfera, quando usadas para fins não permanentes;
- estudos demonstram que, a longo prazo, usar biomassa energética é mais eficiente no uso da terra do que empregar florestas para sequestro de carbono.

A AGROENERGIA NA BAHIA

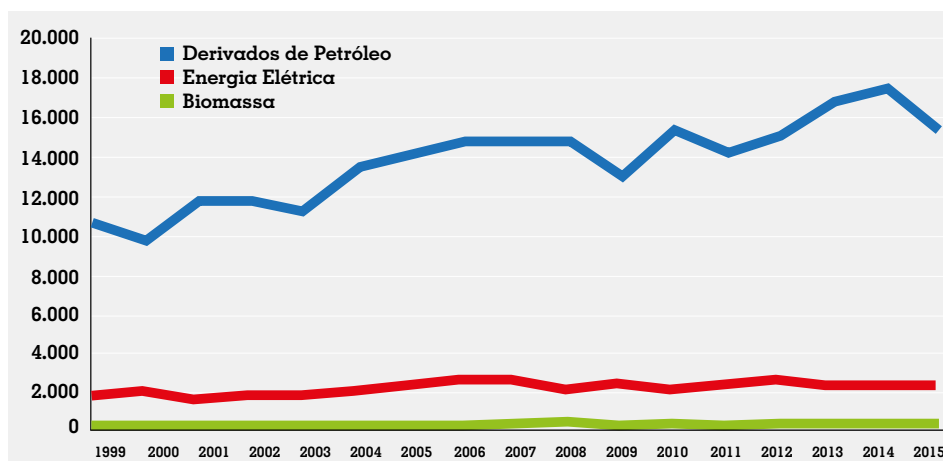
Peso da agroenergia na matriz energética estadual

Segundo o Balanço Energético do Estado da Bahia (BEEBA) (2016), o estado possui forte predominância de fontes não renováveis (67,1%) na sua matriz energética quando comparado com o Brasil (54,6%), com destaque para os derivados de petróleo. Já as fontes renováveis somam 32,9% de participação no estado contra 45,4% no Brasil. Em termos de Oferta Interna de Energia (OIE), as renováveis representam apenas metade da oferta de energia não renovável, com esta última apresentando forte crescimento no período 1992-2008 graças ao comportamento do item *petróleo e derivados e gás natural*.

Com relação à produção de energia secundária, pode-se notar, na análise do Gráfico 5, que a biomassa manteve-se praticamente estagnada no período 1999-2015, devido ao baixo dinamismo da agroindústria canavieira local e ao baixíssimo uso do bagaço na cogeração de energia.

Gráfico 5

Produção total de energia secundária: derivados de petróleo, energia elétrica e biomassa - Bahia - 1999-2015



Fonte: Balanço Energético do Estado da Bahia (2016).

A partir de um comparativo entre a Bahia e o Brasil, no que tange à participação do estado em relação ao país, utilizando-se dados do Balanço Energético Nacional (2014) e do Balanço Energético do Estado da Bahia (2014), foi possível elaborar a Tabela 2, tendo como ano base 2013, para auxiliar na análise de expansão da demanda por energia e a oferta da ampliação desta por meio da agroenergia.

Tabela 2

Comparativo da energia elétrica - Brasil/Bahia - 2013

Período	Brasil	Bahia	Comparativo
Capacidade Instalada (GW)	126,7	7	5,50%
Oferta (TWh)	609,9	24,5	4,00%
Demanda (TWh)	516,3	26,3	5,10%
Perdas (TWh)	93,6	4,2	4,50%
Geração (GW médios)	69,6	2,8	4,00%

Fonte: Balanço Energético do Estado da Bahia (2014), Balanço Energético Nacional (2014).

A Bahia, de acordo com dados de 2015 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possui população de 15.126.371 habitantes, o que representa 7,5% da população brasileira, sendo que 27,5% representam a população rural. Ainda de acordo com o instituto, a taxa de crescimento populacional anual da Bahia era de aproximadamente 1,07% em 2000, passou para 0,7% em 2010, e tem projeções de 0,36% para 2020, e de 0,1% em 2030. Depois de 2030, a estimativa é que a população se estabilize e, posteriormente, decresça.

No que diz respeito à representatividade do Produto Interno Bruto (PIB), a partir de 1995, em média, os PIB nordestino e baiano vêm equivalendo a 12% e 4%, respectivamente, da geração de riqueza nacional, de acordo com a Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI, 2014) e o IBGE (2016). Ainda de acordo com a instituição, o PIB baiano vem registrando aumentos maiores em relação à média nacional, 4,02% ao ano, pelo menos de 2002 a 2012, ante os 3,53% do país nesse mesmo período. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015), Salvador, Camaçari, Feira de Santana, Candeias e Simões Filho concentravam 41,9% do PIB da Bahia. Ressalta-se que o município de Camaçari sedia o Polo Petroquímico, responsável por um terço do consumo de eletricidade do estado.

No que tange à demanda e à oferta de energia elétrica, de acordo com dados do Balanço Energético do Estado da Bahia (2014), a matriz energética baiana apresentou OIE de 19.128 tep, colocando o estado como importador de energia, especialmente por conta da demanda por combustíveis fósseis.

Especificamente em relação ao consumo, conforme dados ofertados pelo BEEBA, a Bahia demonstrou evolução, quando compara-

De acordo com dados do Balanço Energético do Estado da Bahia (2014), a matriz energética baiana apresentou OIE de 19.128 tep, colocando o estado como importador de energia

Com relação ao biodiesel, a Bahia detém condições climáticas adequadas, disponibilidade de terras férteis, mão de obra rural e vocação agrícola na produção de diferentes oleaginosas

dos, por exemplo, os anos de 1995, 2005 e 2013. No entanto, observa-se uma redução no consumo industrial, em face de aumentos nos consumos residenciais e comerciais. A Tabela 3 expõe a magnitude desses valores.

Tabela 3

Evolução do consumo de energia elétrica - Bahia - 1995/2013

Consumo	1995	2005	2013
Residencial	17,60%	16,80%	23,30%
Comercial	10%	10,60%	12,70%
Público	8,70%	8,50%	9,20%
Agropecuário	3%	4,20%	5,60%
Industrial	56,60%	55%	45,40%
Setor Energético	4,10%	4,90%	3,80%

Fonte: Balanço Energético do Estado da Bahia (2014).

Principais regiões de produção e áreas de expansão

Do ponto de vista territorial, duas áreas promissoras para cogeração localizam-se no oeste do estado: Formosa do Rio Preto, potencial para 318.147 MWh/ano, além de outros três municípios próximos que, com algodão, soja e arroz, podem produzir 204.172 MWh/ano. A segunda área está no Litoral Norte com o uso de resíduos do coco-da-baía, com potencial para gerar 313.172 MWh/ano, destaque para o município de Conde.

Quanto à cadeia cana de açúcar-etanol, existem 96.743 ha de área plantada com de cana-de-açúcar em território baiano e produtividade estimada em 5.868.709 t de cana. Os municípios de Barreiras, Santana, Lençóis, Abaíra, Caetité, Barra, Piripá, Nazaré, Itabuna, Itaquara, Itarantim, Vitória da Conquista e Porto Seguro apresentam-se como polos preferenciais para a produção sucroalcooleira da Bahia. Porém, enquanto São Paulo possui em torno de 200 usinas de álcool, encontram-se em território baiano apenas seis usinas. A Bahia é importadora de álcool de outros estados do Brasil, especialmente de Minas Gerais, segundo produtor de álcool do país.

Com relação ao biodiesel, a Bahia detém condições climáticas adequadas, disponibilidade de terras férteis, mão de obra rural e vocação agrícola na produção de diferentes oleaginosas. Atualmente, o estado participa com 5% da produção nacional, com duas usinas nos municípios de Candeias (Petrobras Biocombustíveis) e Iraquara (Oleoplan). Apesar desse potencial, o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) não está conseguindo alavancar a produção da agricultura familiar no estado.

Potencialidades e limitações da agroenergia na Bahia

As potencialidades da agroenergia na Bahia correspondem aos atributos territoriais que favorecem o aproveitamento das fontes energéticas da biomassa. Entre esses atributos estão: a possibilidade de expansão da demanda e da produção energética; a existência de infraestruturas de produção e distribuição; a existência de estrutura de prestação de serviços; os investimentos programados em sua expansão, e o financiamento aos investimentos de expansão de sistemas de geração.

Por sua vez, as limitações referem-se aos aspectos que inibem ou impedem o pleno uso da biomassa do ponto de vista econômico, social e ambiental. Tais limitações estão representadas pela existência de problemas econômicos e sociais que contribuem para baixos níveis de demanda de energia elétrica e de combustíveis pelas populações, e ainda pelo comércio e pela indústria, a ponto de comprometer o desenvolvimento do setor de agroenergia.

Todas as informações relativas às potencialidades e limitações, e respectivas áreas beneficiadas pela utilização de cada fonte de energia foram espacializadas por Território de Identidade (TI) onde sua ocorrência mostrou-se mais relevante.

Segundo o III Relatório do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado da Bahia (BAHIA, 2013), o potencial estimado para a produção de eletricidade a partir da biomassa⁹, pelo aproveitamento da cana-de-açúcar, situa-se entre 200 e 1.000 GWh/ano, porém, a capacidade instalada do segmento sucroalcooleiro na Bahia é de apenas 11,5 MW. Quanto aos resíduos agrícolas, o potencial está entre 50 e 500 GWh/ano; com resíduos de madeira, entre 200 e 500 GWh/ano, e pelo aproveitamento de óleos vegetais, entre 2 e 10 GWh/ano. Adicionalmente, com a utilização de resíduos de algodão, arroz, coco-da-baía, milho, café e soja, é possível gerar de 2.792 GWh/ano a 3.909 GWh/ano de energia elétrica com uma potência na faixa de 531 MW a 744 MW.

A implantação da agroenergia envolve muitas variáveis, como: as demandas logísticas muito específicas, por conta da necessidade de integração das atividades agropecuárias com a produção e distribuição de energia; a necessidade de otimizar as tecnologias para tornar esta fonte competitiva, e os aspectos socioambientais existentes nos diversos 'elos' desta cadeia produtiva. Depreende-se, portanto, que, apesar do grande potencial existente e das ações de fomento implementadas até o momento, persistem muitos pontos críticos ao de-

As
potencialidades
da agroenergia
na Bahia
correspondem
aos atributos
territoriais que
favorecem o
aproveitamento
das fontes
energéticas da
biomassa

9 Esta análise tomou por base as informações do 3º Relatório Básico, Volume VII do estudo do ZEE-BA.

A agroenergia tem uma importância estratégica na expansão da produção energética estadual, capaz de reduzir o déficit existente, aumentar a autossuficiência energética e propiciar a produção e consumo local

envolvimento sustentável da agroenergia na Bahia, como pode ser observado do Quadro 3.

Quadro 3

Limitações ao desenvolvimento da agroenergia na Bahia por dimensão

Dimensão	Limitações
Capacitação tecnológica	Baixa capacidade de difusão da inovação (relação universidade-produtor rural e precária assistência técnica e extensão rural).
	Baixa articulação entre os grupos de pesquisa em torno de projetos integrados e transversais.
	Cultura do bioempreendedorismo ainda incipiente.
Ambientais	Deficiências gerenciais e burocráticas nos procedimentos e requisitos que envolvem o ciclo de licenciamento ambiental.
	Ausência de políticas de ordenamento territorial específicas para esta atividade.
	Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado da Bahia (ZEE-BA) ainda não implantado - apesar de já possuir minutas de projeto de lei e decreto que a regulamentam, ainda não foram enviados pelo governo estadual para a Assembleia Legislativa para votação.
Econômicas e estruturais	Forte presença de petróleo e derivados no consumo total de energia do estado.
	Crescimento da oferta de gás natural
	Deficiências na rede de transmissão e distribuição no interior do estado.
	Deficiências no sistema logístico de transporte no interior das regiões com potencial agropecuário.
Financeiras	Cadeias do bioetanol e do biodiesel ainda incipientes no estado.
	Estrutura de custos e de preços ainda pouco competitiva.
	Linhas de financiamento com juros pouco atraentes para os pequenos produtores.
Informação, educação e treinamento	Desconhecimento do setor produtivo do potencial e das possibilidades da agroenergia (redução de custos via cogeração, ganhos de competitividade, venda do excedente para a concessionária de energia etc.).
	Precariedade da ATER junto aos agricultores familiares.
	Baixa qualificação da mão de obra técnica (operação, manutenção, etc.) local.

Fonte: elaboração dos autores com base nas referências consultadas.

As limitações apresentadas no Quadro 4 serviram para subsidiar a formulação das proposições, como será observado a seguir.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Verificou-se, ao longo deste artigo, que a agroenergia pode desempenhar um papel significativo para a socioeconomia baiana em função da sua capacidade de promover um desenvolvimento mais integrado territorialmente, mais sustentável do ponto de vista ambiental – graças ao aproveitamento dos resíduos e à assimilação do dióxido de carbono na fase agrícola –, ser geradora de empregos no meio rural, e com potencial para a cogeração e geração distribuída, entre outros. A agroenergia tem uma importância estratégica na expansão da produção energética estadual, capaz de reduzir o déficit existente, aumentar a autossuficiência energética e propiciar a produção e consumo local, de forma a viabilizar a interiorização do desenvolvimento no estado.

Existem, porém, riscos inerentes à atividade e que são capazes de provocar impactos ambientais indesejáveis, a exemplo do uso de agrotóxicos e emissões de CO₂ na fase agrícola; do lançamento de material particulado na atmosfera com a queima de canaviais; da geração termelétrica e dos desmatamentos, etc.

Conclui-se, portanto, que, apesar do potencial existente, algumas medidas são necessárias para garantir que a expansão da agroenergia ocorra em bases as mais sustentáveis possíveis. Nesse sentido, as principais proposições deste artigo são:

1. Desenvolver tecnologia que permita o uso de resíduos e subprodutos de baixo valor comercial das cadeias agroindustriais na geração de agroenergia.
2. Ampliar os investimentos necessários para promover a difusão da inovação no meio rural, ampliando a articulação universidade-produtor rural e eliminando os gargalos da Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER).
3. Desenvolver cursos e treinamentos capazes de promover a cultura do bioempreendedorismo, ainda muito incipiente no estado.
4. Promover o aperfeiçoamento dos requisitos e procedimentos gerenciais e burocráticos que envolvem o ciclo de licenciamento ambiental de projetos de agroenergia na Bahia.
5. Enviar para a Assembleia Legislativa do Estado da Bahia as minutas de projeto de lei e decreto referentes ao Zoneamento Econômico e Ecológico do Estado da Bahia (ZEE-BA) que a regulamentam, para discussão, votação e posterior implementação pelo governo do estado.
6. Reduzir as deficiências no sistema de logística de transporte estadual principalmente nas regiões com forte potencial para as culturas agroenergéticas.
7. Fomentar a estruturação das cadeias produtivas do bioetanol e do biodiesel, ainda incipientes no estado.
8. Promover campanhas para ampliar o conhecimento do setor produtivo quanto ao potencial e às possibilidades da agroenergia (redução de custos via cogeração, ganhos de competitividade, venda do excedente para a concessionária de energia etc.) para os seus negócios.

Apesar do potencial existente, algumas medidas são necessárias para garantir que a expansão da agroenergia ocorra em bases as mais sustentáveis possíveis

9. Eliminar as deficiências ainda existentes nas atividades de ATER junto aos agricultores familiares.
10. Promover o desenvolvimento de cursos técnicos, visando ampliar a qualificação da mão de obra técnica (operação, manutenção etc.) local.

REFERÊNCIAS

- BAHIA. Secretaria do Meio Ambiente; Secretaria do Planejamento. *Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado da Bahia Preliminar: avaliação das potencialidades e limitações*. Salvador: Seplan, 2013. 740 p. v. 7. 3º relatório básico. Disponível em: <http://www.zee.ba.gov.br/zee/wp-content/uploads/2016/produtos/POTENCIALIDADES_E_LIMITACOES.pdf>. Acesso em: 21 maio 2017.
- BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DA BAHIA 2014: série 1997-2013. Salvador: Seinfra, 2014. Disponível em: <www.seinfra.ba.gov.br/publicacoes/BEEBA_2014/>. Acesso em: 16 jul. 2017.
- BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DA BAHIA 2016: série 1999-2015. Salvador: Seinfra, 2016. 122 p. Disponível em: <<http://www.infraestrutura.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=16>>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2016: ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional?>>. Acesso em: 14 mar. 2017.
- BOLETIM DE CONJUNTURA ENERGÉTICA. Rio de Janeiro: EPE, 2014. (Série Estatísticas Energéticas: Nota técnica DEA 27/14). Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/DEA%2027%20-%20Boletim%20II%20Tri%202014.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. *Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011*. 2. ed. rev. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília: MME, 2007.
- CARNEIRO, R. A. F. O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do estado da Bahia: quais as implicações para o setor energético estadual e a produção de bioenergia?. *Revista Diálogos & Ciências*, Salvador, v. 17, nº 39, p. 113-137, mar. 2017. Disponível em: <http://periodicos.ftc.br/index.php/dialogos/article/view/252/pdf_19>. Acesso em: 12 dez. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar*. Brasília: CONAB, 2015. 33 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_08_49_33_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2017.

Goldemberg, J.; Villanueva, L. D. *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*. São Paulo: Edusp, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estimativas da população dos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2014*. Rio de Janeiro: IBGE, [2015]. (Nota técnica). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/pdf/analise_estimativas_2014.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Sistema de contas regionais do Brasil: 2010-2014*. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. (Contas nacionais, 53). Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98881.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2007: mitigation of climate change*. New York: Cambridge, 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4_wg3_full_report.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Energy and climate change*. Paris: IEA, 2015. 200 p. (World Energy Outlook Special Report). Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2016*. Paris: IEA, Nov. 2016. Disponível em: <www.iea.org/weo/docs/weo2010/weo2010_es_portuguese.pdf>. Acesso em: 21 maio 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World energy statistics: 2017*. Paris: IEA, Aug. 2017. Disponível em: <http://wds.iea.org/wds/pdf/WORLDBES_Documentation.pdf>. Acesso em: 12 de dez. 2017.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos. In: BRAZIL-JAPAN INTERNATIONAL WORKSHOP ON RENEWABLE ENERGY, SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND STUDENT MOBILITY, 7., 2009, Campinas. *Anais...* Campinas: UNICAMP, 2009. 14 p. Disponível em: <http://seeds.usp.br/portal/uploads/INATOMI_TAHI_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2017.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. *A riqueza gerada pela economia baiana atinge R\$ 224 bilhões em 2014*. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/images/pib/pdf/estadual/anual/economia_baiana_2014.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2017.

UNITED NATIONS. *Report of the World Commission on Environment and Development: our common future*. [S.l.]: UN, 1987. 318 p. Disponível em: <<https://ambiente.files.wordpress.com/2011/03brundtland-report-our-common-future.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2017.

Resumo

O presente trabalho investiga a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico, conectado à rede elétrica em uma residência de padrão popular. A busca por fontes alternativas e renováveis de produção de energia elétrica – que não ocasionem graves problemas ambientais – pode contribuir para a descentralização do consumo energético que é fornecido pelas concessionárias de energia elétrica, além de contribuir positivamente com a sustentabilidade. No Brasil, a tecnologia fotovoltaica ainda não conseguiu superar sua principal barreira, a econômica, pois a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos continua possuindo um custo superior à gerada pelas hidrelétricas, principal fonte da matriz elétrica nacional, porém pode ser uma excelente alternativa como fonte suplementar.

Palavras-chave: Fotovoltaico. Energia. Viabilidade. Consumo.

Abstract

This article analyzes the economical viability of installing a photovoltaic system, connected to the electric network in a residence of popular standard. The search for alternative and renewable sources of electricity, which do not cause serious environmental problems, can contribute to decentralize the energy consumption provided by the electric power concessionaires, in addition to contribute positively to sustainability. In Brazil, photovoltaic technology has not yet overcome its main barrier, the economic, since the energy generated by photovoltaic modules continues to have higher cost than that generated by hydroelectric plants, the main source of the national electric network, although it can be an excellent alternative as supplementary source.

Keywords: Photovoltaic. Energy. Viability. Consumption.

Análise da viabilidade de microgeradores elétricos fotovoltaicos conectados à rede em uma residência de baixa renda em Salvador (BA)

ANDERSON GOMES DE OLIVEIRA

Mestre em Geografia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), doutorando em Geografia pela Universidade de Santiago de Compostela, graduado em Geografia pela Universidade Católica do Salvador (UCSal). Professor adjunto da Universidade Salvador (Unifacs), pesquisador nos grupos de pesquisa em Ciências e Tecnologias Ambientais (GTA) e Turismo e Meio Ambiente (GPTURIS) da Unifacs e do Grupo de Estudos sobre Águas, Ambiente e Sociedade da UFBA. Chefe do Setor de Dados e Informações Geoespaciais da Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (Conder). anderson.gomes@unifacs.br

FRANCK DANTAS SANTOS

Especialista em Perícia e Auditoria Ambiental pelo Centro Universitário Internacional (Uninter), graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade de Salvador (Unifacs). Coordenador técnico na Secretaria de Justiça, Direitos Humanos e Desenvolvimento Social do Governo do Estado da Bahia (SJDHDS). francksantos@gmail.com

O CRESCIMENTO da população mundial, associado ao desenvolvimento tecnológico e industrial, conduz a um grande aumento da demanda energética. Muitas das fontes de energia utilizadas atualmente têm volumes limitados e poderão se esgotar em um futuro próximo. A disponibilidade de energia não mais corresponde à demanda imposta pela estrutura espacial da vida urbana, o que implica um período de adaptação. O mundo, em termos gerais, tem reduzido as possibilidades energéticas, principalmente das originadas do petróleo, que é atualmente uma fonte de energia polivalente; e as fontes de energia nucleares, geotérmicas, solares, biomassa e outras que substituirão as atuais deverão, nas próximas décadas, ajustar-se às necessidades de sustentabilidade, para que não venham a causar problemas ambientais (KNIJNIK, 1994).

A energia elétrica sempre desempenhou um papel de suma importância, seja para uso residencial, comercial ou industrial, pois se caracteriza como um insumo básico

A energia solar pode ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais. Dentre esses efeitos destacam-se o termoelétrico e o fotovoltaico

para o desenvolvimento econômico, tecnológico e social dos países. Porém, a cada dia, a necessidade e a dependência da eletricidade aumentam, assim como a preocupação em torno do suprimento da crescente demanda por energia elétrica de maneira sustentável. O uso consciente dos recursos energéticos também é importante e deve ser estimulado. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) foi criado com esse objetivo, e vem auxiliando na redução do desperdício de energia elétrica no país (ELETROBRÁS, 1993).

Neste contexto faz-se necessário buscar novas alternativas para a geração de energia, a exemplo da utilização da energia solar, visto que a radiação solar chega ao planeta Terra de forma abundante e pode ser considerada uma fonte inesgotável (RÜTHER, 2000).

A energia solar pode ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais. Dentre esses efeitos destacam-se o termoelétrico e o fotovoltaico. Este último decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar. O processo de conversão da radiação solar em energia elétrica ocorre nas chamadas células solares ou fotovoltaicas. Entre os materiais mais adequados para a composição dessas células destaca-se o silício (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

A energia solar fotovoltaica é uma fonte energética alternativa que não gera grandes impactos ambientais, sonoros, visuais e não necessita de manutenção, resfriamento, combustível ou grandes construções.

O Brasil possui um enorme potencial de aproveitamento da energia solar, já que todas as suas regiões recebem mais de 2.200 horas de insolação por ano com um potencial equivalente a 15 trilhões de MWh, o correspondente a 50 mil vezes o consumo nacional de eletricidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008).

A cada dia, novas pesquisas vêm apresentando diferentes tecnologias para utilização e aproveitamento desta fonte de energia, tornando sua aplicação uma realidade em muitos países. A energia solar fotovoltaica pode ser utilizada pela população de baixa renda que possui um consumo de energia elétrica relativamente baixo, embora este consumo, da forma como é gerenciado hoje, represente aproximadamente 8% da renda familiar, segundo dados do IBGE (CENSO DEMOGRÁFICO, 2010).

Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar a implantação da energia solar fotovoltaica conectada à rede, a partir de uma análise

comparativa de sua viabilidade econômica e ambiental para atender ao consumo de energia residencial da população de baixa renda, no município de Salvador, Bahia.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada para o desenvolvimento desta pesquisa compreendeu as seguintes etapas: 1) análise da comunidade de baixa renda escolhida como objeto deste estudo; 2) análise e determinação do consumo médio de energia elétrica da comunidade em questão; 3) estudo e quantificação da radiação solar incidente na cidade de Salvador (BA); 4) dimensionamento do sistema fotovoltaico para atender suficientemente a uma residência de baixo padrão; 5) custo médio de projeto fotovoltaico; 6) análise de viabilidade de projeto fotovoltaico.

As informações obtidas inicialmente visaram obter um conhecimento teórico sobre os princípios de produção de energia elétrica, especificamente oriunda do aproveitamento solar. Dentre os diversos tipos de aplicações a partir da energia solar, está a energia fotovoltaica, que será objeto deste estudo. Examinou-se o funcionamento prático do sistema fotovoltaico conectado à rede, para um melhor desenvolvimento e entendimento da solução energética aplicada em residências de baixo padrão, obtendo assim uma conclusão sobre sua viabilidade.

Foram realizadas visitas a uma residência popular na comunidade de Luís Anselmo, na cidade de Salvador, para obter a informação de consumo médio de energia elétrica. Posteriormente, foram investigadas informações fundamentadas no Atlas Solarimétrico do Brasil, que determinou o índice de radiação produzida na região de Salvador. Fundamentados nessas duas informações levantadas anteriormente, pode-se desenvolver uma simulação do dimensionamento do sistema fotovoltaico que atenderá à residência estudada de maneira satisfatória.

Para determinar o custo de instalação do sistema fotovoltaico, foi utilizado o estudo *O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica em 2013*, produzido pelo Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina.

Após análise de todos esses dados e utilizando-se modelos matemáticos, foi realizado o estudo de viabilidade do projeto fotovoltaico, simulado numa residência de baixo padrão, levando-se em consideração diversos fatores econômicos, sociais e ambientais.

As informações
obtidas
inicialmente
visaram
obter um
conhecimento
teórico sobre
os princípios
de produção
de energia
elétrica,
especificamente
oriunda do
aproveitamento
solar

A eficiência energética consiste na relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Energia e seus potenciais de conservação

A eficiência energética consiste na relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Adota-se, como pressuposto básico, a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a mitigação dos impactos ambientais (BRASIL, 2012).

De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) (2001), as opções de eficiência energética, além de trazer benefícios diretos para o usuário, agregam grandes melhorias para a sociedade, pois promovem um alívio do sistema energético nacional. Nesse sentido, as ações de eficiência energética podem ser vistas como uma forma de produção de energia descentralizada, tendo como consequência o aumento desta. Isso porque tais ações podem contribuir para a redução do dióxido de carbono e outros gases que agravam o efeito estufa, emitidos por usinas que utilizam a queima de combustíveis para gerar energia elétrica – o que não é o caso do Brasil, que utiliza hidroelétricas para suprir a maior parte do sistema elétrico nacional, e estas usinas são consideradas uma forma de energia limpa. No caso do Brasil, o benefício associado à preservação do meio ambiente está relacionado à necessidade de se evitar a construção de novas hidroelétricas, de maneira a evitar o alagamento de grandes áreas, prejudicando, com isso, a fauna e a flora locais.

Portanto, a conservação de energia ou, em outras palavras, o uso racional de energia, que significa utilizá-la de forma sustentável, sem abrir mão do conforto e das vantagens que ela proporciona, é de grande relevância. Assim, a eficiência energética vem sendo aplicada para que este objetivo seja alcançado. (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001).

Energia solar

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre

determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico. (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Segundo Pereira e outros (2006), o aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento do ambiente, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção. Ainda de acordo com os autores, a conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses efeitos, destacam-se os termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica a partir do uso de células solares.

Radiação solar

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano) (ORGANIZAÇÃO LATINO AMERICANA DE ENERGIA, 1987).

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima à Linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia. Desse modo, para maximizar o aproveitamento da radiação solar, pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia (PEREIRA et al., 2006).

A radiação solar depende também das condições dinâmicas e atmosféricas. Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e à absorção dos raios solares pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (TIBA, 2000). É importante ressaltar que mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético.

Tecnologia de aproveitamento

Além dos processos térmicos, a radiação solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica por meio dos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os

A maior parte
do território
brasileiro está
localizada
relativamente
próxima à
Linha do
Equador, de
forma que não
se observam
grandes
variações na
duração solar
do dia

Entre os materiais mais usados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício

semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico (PEREIRA et al., 2006).

Energia fotovoltaica

O efeito fotovoltaico decorre da agitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais usados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente na superfície da célula que é convertida em energia elétrica. As melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% (GREEN et al., 2000).

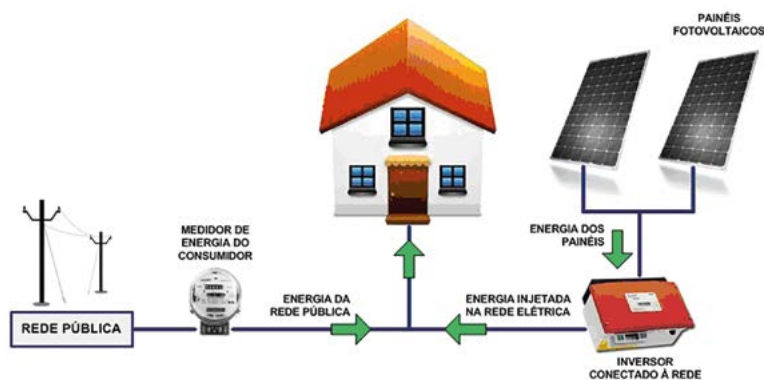
Energia fotovoltaica conectada à rede

A chamada produção distribuída é constituída pelos módulos fotovoltaicos montados diretamente nas edificações ou em outros locais, tais como coberturas de estacionamentos, áreas livres etc. Essas edificações são alimentadas pela energia elétrica produzida por esses módulos, através de um inversor de corrente contínua/corrente alternada (cc/ca), concomitantemente com a rede elétrica de distribuição em baixa tensão na qual estão interligadas. Esse sistema de produção de energia elétrica geralmente está presente em residências e em pequenos comércios (OLIVEIRA, 2002).

Na Figura 1, encontram-se todos os elementos que são utilizados em uma instalação solar fotovoltaica conectada à rede. Verificam-se os módulos onde ocorre a transformação de luz em energia elétrica, o inversor, a rede elétrica de distribuição, os medidores de energia e alguns exemplos de equipamentos de uso final de energia elétrica.

Figura 1

Esquema de uma casa com instalação fotovoltaica conectada à rede elétrica de baixa tensão: com painéis, medição e equipamentos de consumo



Fonte: Oliveira (2002).

De acordo com Oliveira (2002), as principais vantagens desses sistemas são:

- a energia é produzida junto à carga, diminuindo assim as perdas nas redes de transmissão e distribuição;
- a produção de energia elétrica ocupa um espaço já utilizado, uma vez que esta é integrada à edificação;
- o sistema possui modularidade, ou seja, pode ser ampliado conforme haja aumento da carga da edificação se houver espaço para isso;
- é uma fonte de produção de energia elétrica inesgotável, que está disponível praticamente em todos os locais, e produz energia limpa, silenciosa e renovável, sem emitir gases causadores do efeito estufa.

Nos sistemas interligados à rede elétrica de distribuição, os geradores (módulos fotovoltaicos) podem ser dimensionados para atender a parte ou a toda demanda da edificação. Essa produção de energia elétrica ocorre em corrente contínua, e a utilização de eletricidade é feita em corrente alternada. Assim, é necessário um inversor para transformar corrente contínua em corrente alternada (OLIVEIRA, 2002).

Nas instalações residenciais conectadas à rede, pode-se utilizar tanto a energia fotogerada como a convencional. Nesse tipo de conexão, não há a necessidade de acumuladores de energia (baterias), pois, quando se tem um consumo elétrico maior que a eletricidade produzida pelos módulos fotovoltaicos (isto ocorre normalmente ao amanhecer, durante a noite e nos dias sem ou com baixa radiação solar), a rede irá fornecer a energia necessária para o perfeito funcionamento da edificação. Ao contrário, quando se tem um consumo elétrico baixo ou quando os módulos produzem eletricidade acima do que está sendo consumido pela edificação, o excesso de energia elétrica é injetado na rede de distribuição da concessionária. A legalização desses sistemas no Brasil foi estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), na Resolução Normativa nº 482 (2012). “Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências” (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012).

A demonstração supracitada encontra-se na Figura 2, sendo que, no período das 18h às 5h (noite e amanhecer), em que não se tem radiação solar, o consumidor irá utilizar a energia da concessionária. No outro

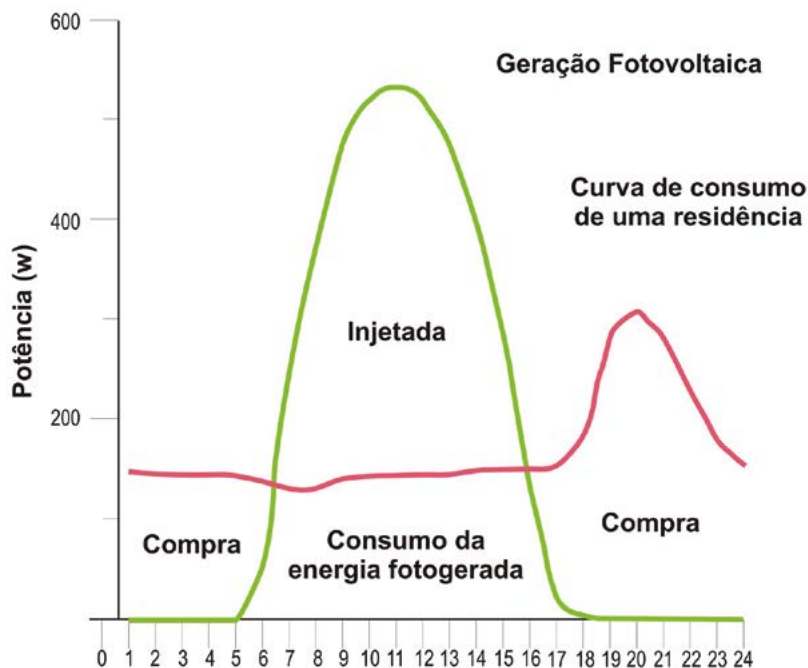
Nos sistemas interligados à rede elétrica de distribuição, os geradores (módulos fotovoltaicos) podem ser dimensionados para atender a parte ou a toda demanda da edificação

A residência estudada está localizada na região centro-sul do município de Salvador (BA), no bairro de Brotas, na comunidade de Luís Anselmo, com área construída de 47,62 m²

período, a residência irá consumir a energia fotovoltaica que necessita enquanto o restante da energia produzida será injetada na rede da concessionária, criando assim um balanço entre o consumo e a geração.

Figura 2

Curva de carga de uma residência (em vermelho), contrastada com a curva de produção de um sistema fotovoltaico com 700 Wp instalados (em verde)



Fonte: Oliveira (2002).

Isso comprova que, dependendo do tamanho da instalação fotovoltaica, do tipo de conexão à rede e dos hábitos de consumo do morador da residência, pode-se deixar de pagar energia para a concessionária.

Caracterização da habitação estudada

A residência estudada está localizada na região centro-sul do município de Salvador (BA), no bairro de Brotas, na comunidade de Luís Anselmo, com área construída de 47,62 m². A unidade é dividida em sala, cozinha, uma pequena área de serviço, dois quartos e um sanitário (Figuras 3 e 4). O bairro de Brotas é formado por um grande conjunto de morros, que são limitados por grandes avenidas de vale, como Vasco da Gama, Juracy Magalhães, ACM e Bonocô. Considerado o bairro mais populoso de Salvador (CENSO DEMOGRÁFICO, 2010), Brotas caracteriza-se pela diversidade de sua população, abrigando todas as classes sociais. O bairro era originalmente uma fazenda pertencente à família Saldanha, sendo que há pouco mais de cem anos foi iniciada a sua ocupação. A comunidade de Luís Anselmo recebeu este nome em homenagem a um professor de Medicina que lutou contra a escravatura.

Figura 3

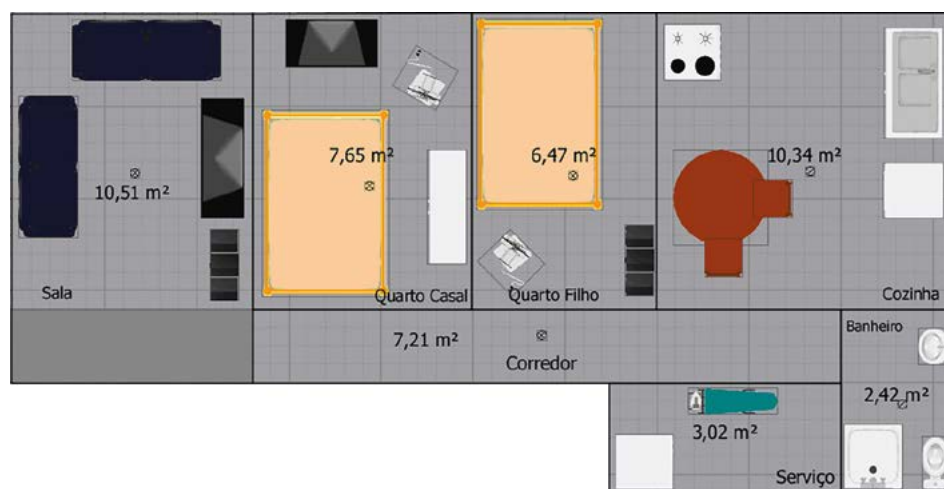
Localização da residência popular estudada



Fonte: Google Earth (2016).

Figura 4

Planta da residência popular estudada



Fonte: elaboração própria (2016).

O dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para dar início ao dimensionamento do sistema fotovoltaico de uma habitação de baixa renda, é imperioso conhecer o consumo médio, pois, a partir dessa informação, será analisada a característica do sistema. O consumo médio de uma residência padrão popular foi estimado conforme a avaliação do consumo ativo de uma família de três pessoas (pai, mãe e filho) que vive no bairro de Brotas, em Salvador.

Para dar início ao dimensionamento do sistema fotovoltaico de uma habitação de baixa renda, é imperioso conhecer o consumo médio, pois, a partir dessa informação, será analisada a característica do sistema

O arranjo fotovoltaico será determinado a partir da relação entre a demanda de energia da residência e a radiação solar, levando-se em conta a eficiência do painel

A segunda etapa para o dimensionamento é o estudo dos níveis de radiação da cidade de Salvador (BA) durante o todo o ano. Com esses dados pode-se determinar o arranjo fotovoltaico (próxima etapa) que atenderá totalmente ou parcialmente à demanda da família.

O arranjo fotovoltaico será determinado a partir da relação entre a demanda de energia da residência e a radiação solar, levando-se em conta a eficiência do painel. O arranjo pode ser dimensionado para oferecer energia parcial ou total à demanda familiar, dependendo do espaço disponível para a instalação dos painéis solares e do poder de investimento.

Determinação do consumo da residência

Baseado no consumo ativo mensal de energia elétrica entre o período de setembro de 2015 e setembro de 2016, obteve-se o consumo médio dos moradores da residência popular. Este consumo está representado no Quadro 1 e na Tabela 1.

Quadro 1

Equipamentos elétricos da residência – Salvador – Set. 2015-set. 2016

Cômodo	Item
Cozinha	Geladeira 2 portas
	Lâmpada fluorescente
	Microondas
	Batedeira
	Liquidificador
Quarto casal	Lâmpada fluorescente
	Televisor 29"
	Aparelho de som
Banheiro	Ventilador de mesa
	Lâmpada fluorescente
	Chuveiro
Sala	Lâmpada fluorescente
	Aparelho de som
	Televisor 32"
Lavanderia	Lâmpada fluorescente
	Ferro elétrico
	Máquina de lavar
Quarto filho	Lâmpada fluorescente
	Aparelho de som
	Ventilador de mesa
Corredor	Lâmpada de mesa

Fonte: elaboração própria (2016).

Tabela 1

Consumo mensal da residência - Salvador - Set. 2015-set. 2016

Mês	Gasto mensal (Kwh)	Consumo ativo (R\$)	Contribuição iluminação pública (R\$)	Total a pagar (R\$)
Set/15	112	55,77	4,5	60,27
Out/15	156	77,68	4,5	82,18
Nov/15	166	82,66	4,5	87,16
Dez/15	163	81,17	4,5	85,67
Jan/16	166	82,66	4,5	87,16
Fev/16	114	56,77	4,5	61,27
Mar/16	137	68,22	4,5	72,72
Abr/16	147	73,2	4,5	77,7
Mai/16	135	67,23	4,5	71,73
Jun/16	135	67,23	4,5	71,73
Jul/16	132	65,73	4,5	70,23
Ago/16	124	61,75	4,5	66,25
Set/16	134	66,73	4,5	71,23
Total	1.821	906,8	58,5	965,3
Média	140	69,75	4,5	74,25

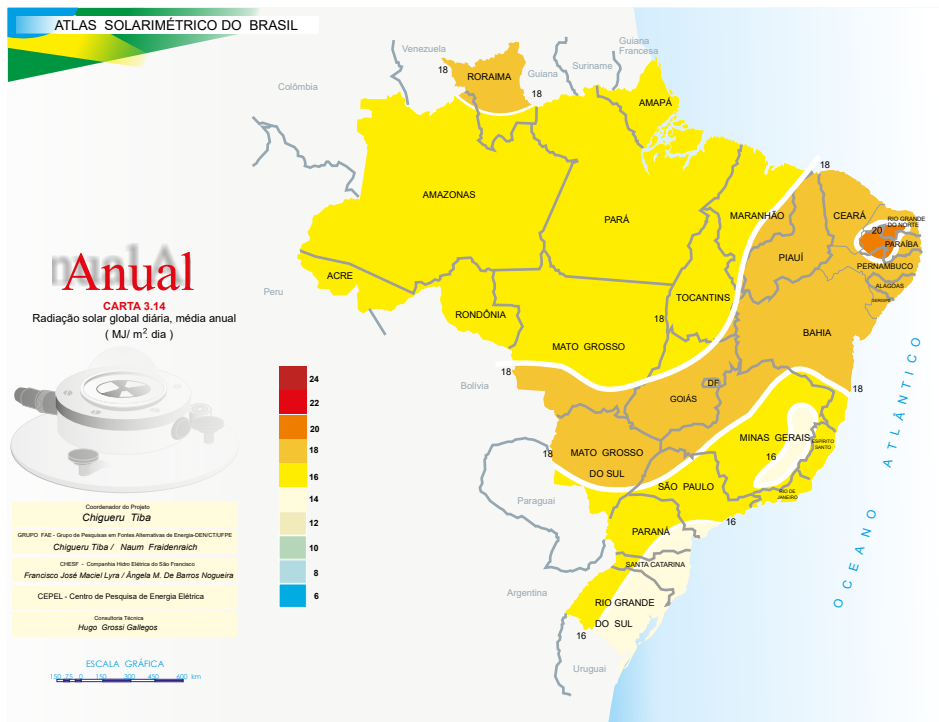
Fonte: elaboração própria (2016).

O Atlas Solarimétrico do Brasil foi produzido no ano de 2000 pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (TIBA, 2000)

Níveis de radiação solar da localidade

A radiação solar em Salvador (BA) tem grande potencial, visto que a cidade localiza-se em uma das regiões com mais intensidade de Sol no Brasil. Para determinar a radiação solar foi utilizado um estudo realizado em todo o país, em diferentes períodos de tempo, mês a mês. O Atlas Solarimétrico do Brasil foi produzido no ano de 2000 pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (TIBA, 2000). A Figura 5 indica a radiação solar global diária, média anual (MJ/m².dia), que foi utilizada como fundamento para o cálculo posterior, apresentado na Tabela 2.

Figura 5
Radiação solar global diária, média anual



Fonte: Tiba (2000).

A Tabela 2 e o Gráfico 1 indicam a radiação solar em Salvador, mês a mês, sendo que a sua média foi utilizada posteriormente para o cálculo do dimensionamento do sistema fotovoltaico.

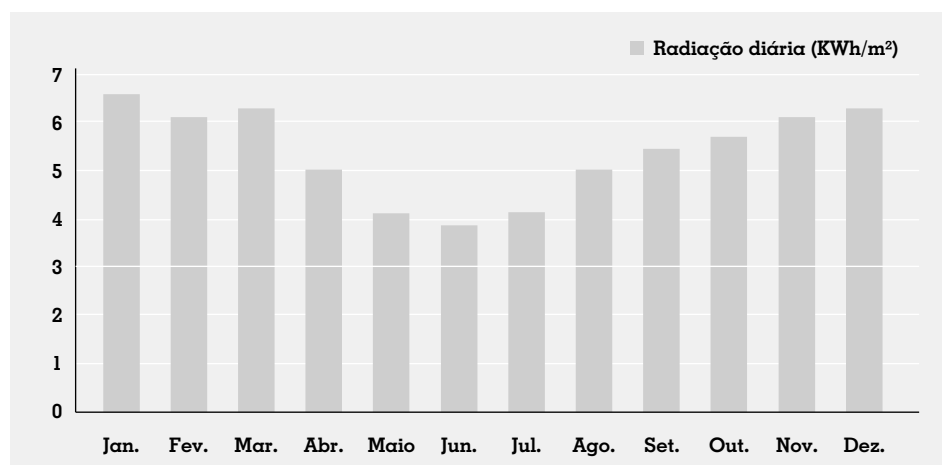
Tabela 2
Radiação mensal - Salvador - 2000

Meses	Radiação diária (MJ/m ²)	Radiação diária (KWh/m ²)
Janeiro	22,60	6,33
Fevereiro	21,00	5,88
Março	21,60	6,05
Abril	17,20	4,82
Mai	13,80	3,96
Junho	13,30	3,72
Julho	14,20	3,98
Agosto	17,30	4,84
Setembro	18,70	5,24
Outubro	19,60	5,49
Novembro	21,00	5,88
Dezembro	21,60	6,05
Média	18,49	5,19

Fonte: elaboração própria (2016).

Gráfico 1

Radiação média mensal - Salvador - 2000



Fonte: Tiba (2000).

Dimensionamento do arranjo fotovoltaico

Para determinar o dimensionamento do arranjo fotovoltaico, inicialmente foi determinada a energia produzida pelo gerador, baseado no seguinte modelo matemático:

$$E_g = P \cdot RS \cdot n_{CC/CA}$$

E_g – energia produzida pelo gerador fotovoltaico, em kWh

P – potência nominal do gerador fotovoltaico, em kW

RS – radiação solar média por mês

$n_{CC/CA}$ – rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada

Modelo matemático 1**Cálculo da energia produzida pelo gerador fotovoltaico**

A potência (P) é característica de cada painel solar, dependendo de fatores como número de células fotovoltaicas e qualidade do material com que estas foram produzidas. O painel utilizado neste estudo tem as seguintes características:

- Peso: 16,4 Kg
- Dimensões: 1645 x 981 x 34 (mm)
- Área: 1,622 m²
- Potência: 240Wp

Portanto, a potência nominal (P) é de 240Wp ou 0,24KWp. A radiação solar mensal (RS) em Salvador foi definida na Tabela 2. O rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada ($\eta_{CC/CA}$) é de 85%.

Utilizando o modelo matemático acima obtêm-se os valores apresentados na Tabela 3:

Tabela 3

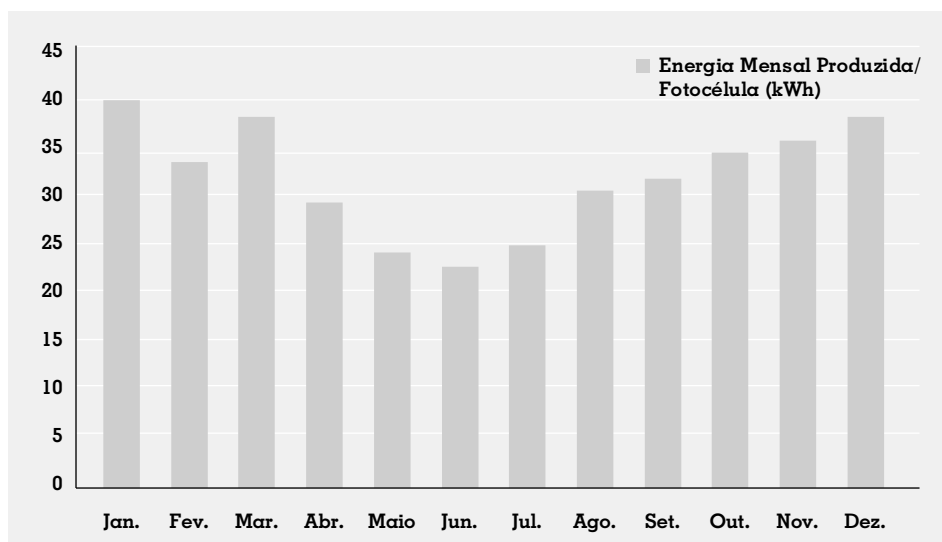
Aplicação do modelo matemático 1 - Salvador - Jan. 2016-dez. 2016

Mês	Dias	Potência painel (kWp)	Radiação solar (kWh/m ²)	Rendimento do inversor	Energia mensal produzida/fotocélula (kWh)
Janeiro	31	0,24	6,33	0,85	40,02
Fevereiro	28	0,24	5,88	0,85	33,59
Março	31	0,24	6,05	0,85	38,25
Abril	30	0,24	4,82	0,85	29,47
Mai	31	0,24	3,86	0,85	24,44
Junho	30	0,24	3,72	0,85	22,79
Julho	31	0,24	3,98	0,85	25,14
Agosto	31	0,24	4,84	0,85	30,63
Setembro	30	0,24	5,24	0,85	32,04
Outubro	31	0,24	5,49	0,85	34,71
Novembro	30	0,24	5,88	0,85	35,99
Dezembro	31	0,24	6,05	0,85	38,25
Média					32,11
Total					385,31

Fonte: elaboração própria (2016).

Gráfico 2

Energia mensal produzida/fotocélula (kWh) com base no modelo matemático 1 - Salvador - 2000



Fonte: elaboração própria com base em Tiba (2000).

Posteriormente foi quantificado o número de painéis necessários para atender ao consumo médio da residência em estudo, relacionando-os com a radiação solar mensal. Para a obtenção desse valor foi utilizado o seguinte modelo matemático:

$$N = C_m/E_m$$

$$N = \text{N}^\circ \text{ de Painéis}$$

$$C_m = \text{Consumo Médio/Mês}$$

$$E_m = \text{Energia Média Produzida/Mês}$$

Modelo matemático 2: cálculo da energia produzida pelo gerador fotovoltaico

O consumo médio mensal (C_m) obtido está indicado na Tabela 1, e a energia média produzida por mês está indicada na Tabela 3. O resultado do modelo acima é de 4,4 painéis, porém, como não há a possibilidade de construir um arranjo fracionado, trabalha-se com o valor inteiro de cinco painéis fotovoltaicos.

Relacionando-se a energia produzida pelo gerador e o número de painéis solares, obtém-se a energia mensal produzida pelo arranjo de cinco fotocélulas, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4

Energia mensal produzida por cinco painéis solares - Salvador - 2016

Meses	Dias	Energia mensal produzida total (kWh)
Janeiro	31	200,09
Fevereiro	28	167,93
Março	31	191,24
Abril	30	147,37
Maiο	31	122,18
Junho	30	113,95
Julho	31	125,72
Agosto	31	153,17
Setembro	30	160,22
Outubro	31	173,53
Novembro	30	179,93
Dezembro	31	191,24
Média		160,55
Total		1.926,57

Fonte: elaboração própria (2016).

Custo do projeto

Para determinar o custo do projeto, foi utilizado, como base de informação, o estudo *O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica em 2013*, produzido pelo Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. Esse estudo levantou os valores das instalações realizadas no Brasil no ano de 2013 e obteve 37 respostas de

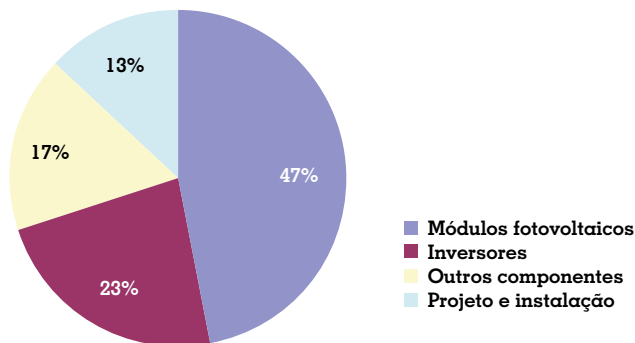
Dentre esse valor médio obtido, estão embutidos todos os custos gerados em um projeto de instalação de sistema fotovoltaico, desde o custo dos módulos fotovoltaicos até a mão de obra de instalação

empreendimentos que instalaram micro ou minigerações fotovoltaicas que indicaram um custo médio de R\$ 8,69/Wp.

Dentre esse valor médio obtido, estão embutidos todos os custos gerados em um projeto de instalação de sistema fotovoltaico, desde o custo dos módulos fotovoltaicos até a mão de obra de instalação. Segundo o estudo realizado com 37 entrevistados, 47% do custo total é relativo aos módulos fotovoltaicos, 23% aos inversores, 17% a outros componentes (estrutura física, instalações e proteções elétricas etc.) e 13% ao projeto e à instalação do sistema (Gráfico 3).

Gráfico 3

Custos para instalação do sistema fotovoltaico - Brasil - 2013



Fonte: Manoel e Konzen (2014).

Com base no modelo matemático 2, obteve-se o valor de cinco painéis fotovoltaicos. Cada painel possui a potência de 240Wp, portando para os cinco painéis a potência de 1.200Wp. Utilizando-se o custo médio de R\$ 8,69/Wp, o custo total para a implantação do sistema fotovoltaico é de R\$ 10.428,00.

Viabilidade do projeto

Para a determinação da viabilidade do projeto, inicialmente foi calculada a diferença entre a quantidade de energia média consumida da rede e a energia média que é injetada na rede em kWh (Quilowatt hora) por mês. A partir do preço unitário do kWh, calculou-se o valor médio mensal economizado em Real (R\$ 54,81) com a energia elétrica, como representado na Tabela 6.

O investimento para a implantação do sistema fotovoltaico é relativamente alto se for comparado à condição financeira do beneficiado.

Como visto no modelo matemático 2, são necessárias cinco placas fotovoltaicas para atender à maior parte do consumo mensal da residência. Portanto, como apresentado no tópico anterior, o custo total para a instalação do sistema fotovoltaico é de R\$ 10.428,00. Posteriormente foi calculado o tempo de retorno do investimento. Para obter esse valor dividiu-se o custo com o investimento para a instalação do sistema fotovoltaico pelo gasto mensal da conta de energia. Estes dois procedimentos estão representados no Quadro 2.

Quadro 2

Custo do investimento com imposto e tempo de retorno do investimento

Custo do investimento com imposto R\$ 10.428,00
Tempo de retorno do investimento (mês)
Custo do investimento / Média valor economizado por mês
190 meses

Fonte: elaboração própria (2016).

Como citado acima o investimento para a instalação do sistema fotovoltaico é alto para uma família de baixa renda. Uma solução para viabilizar o projeto é o incentivo de redução fiscal, que pode reduzir o valor unitário do painel fotovoltaico, além da possibilidade de transformar o projeto em um programa do governo que possa financiar essa aquisição.

Com base no consumo mensal de energia (Tabela 1) e na energia mensal produzida pelos cinco painéis solares (Tabela 4), determinou-se a quantidade de energia (em KWh) a ser comprada da concessionária, ou a quantidade de energia (em KWh) a ser injetada na rede de distribuição. Além disso, determinou-se, considerando o custo do kWh de R\$ 0,4979 quando foram levantados os dados, o valor (em R\$) a ser pago pela residência, que foi calculado pelo valor mínimo fixo a ser pago para a concessionária de energia que, segundo a Resolução Normativa nº 414, da Aneel, corresponde ao consumo mínimo de 30kW (que, na época deste estudo, era de R\$ 14,93); além da contribuição da iluminação pública de R\$ 4,50, mais o valor (em R\$) comprado de energia. Finalmente foi calculado o valor economizado na conta de energia menos o valor fixo pago à concessionária de energia (Tabela 6).

**Investimento
para a
instalação
do sistema
fotovoltaico
é alto para
uma família
de baixa
renda**

Pode-se concluir que, para a efetiva implantação do sistema fotovoltaico em uma residência de baixa renda, é necessário um investimento público

Tabela 6

Energia a ser creditada/injeta na rede, valor pago para a concessionária de energia e economia obtida - Salvador - Set. 2015-set 2016

Mês	Energia produzida mensal (Kwh)	Consumo mensal (Kwh)	Energia a ser creditada/injetada na rede (Kwh)	Valor a ser pago (R\$)	Valor economizado (R\$)
Set. 2015	160	112	48	19,44	40,83
Out. 2015	174	156	18	19,44	62,74
Nov. 2015	180	166	14	19,44	67,72
Dez. 2015	191	163	28	19,44	66,23
Jan. 2016	200	166	34	19,44	67,72
Fev. 2016	168	114	54	19,44	41,83
Mar. 2016	191	137	54	19,44	53,28
Abr. 2016	147	147	0	19,44	58,26
Mai 2016	123	135	-12	19,44	52,29
Jun. 2016	114	135	-21	19,44	52,29
Jul. 2016	126	132	-6	19,44	50,79
Ago. 2016	153	124	29	19,44	46,81
Set. 2016	160	134	26	19,44	51,79
Total	2.087	1.821	266	252,72	712,58
Média	161		20	19,44	54,81

Fonte: elaboração própria (2016).

CONCLUSÃO

A energia solar pode ser considerada uma importante alternativa para a superação dos desafios do crescimento popular e para o desenvolvimento econômico, pois apresenta boa viabilidade ambiental.

Analisando-se o custo de implantação do sistema fotovoltaico e o tempo de retorno de aproximadamente 12 anos, observa-se que é um projeto viável, pois grande parte das empresas fornecedoras dos painéis fotovoltaicos fornece garantia de 25 anos. Porém, o alto custo de implantação, se comparado com o poder aquisitivo das famílias de baixa renda, torna a concepção inviável se o investimento for exclusivamente assumido por estas.

Pode-se concluir que, para a efetiva implantação do sistema fotovoltaico em uma residência de baixa renda, é necessário um investimento público. Esse investimento poderá ser com incentivo fiscal, principalmente para os painéis solares e os inversores que, juntos, são responsáveis por 70% do custo total do sistema fotovoltaico. Além disso, este investimento por parte da família beneficiada poderá ser financiado com o apoio do governo, com baixos juros e financiamento em longo prazo. A população de baixa renda deverá ser beneficiada com esse sistema, gerando assim resultados positivos tanto para o governo quanto para a família atendida, já que esta poderá economizar o gasto mensal com energia elétrica e o governo, aliviar o siste-

ma hidroelétrico, contribuindo para menos gastos públicos e menores impactos ambientais.

O investimento do setor público nos sistemas fotovoltaicos viabilizará o seu uso, pois trará grandes benefícios aos moradores de residências de baixo padrão. Se for levado em conta que a implantação desse sistema trará à família beneficiada uma economia média de R\$ 54,83 mensais, isso representa aproximadamente 7% do salário mínimo, dinheiro que poderia ser investido em outras necessidades de uso para a família.

Além dos benefícios trazidos para os habitantes de baixa renda, o governo teria o benefício de aliviar o sistema elétrico da região, já que, nos períodos de secas e nos horários de maior consumo, este fica extremamente sobrecarregado, o que leva ao acionamento das termoelétricas, provocando amplos custos para a concessionária de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. Departamento Nacional de Aquecimento Solar. *Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar*. São Paulo: ABRAVA, 2008. 138 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas de energia elétrica*. Brasília, DF: ANEEL, 2002.

_____. Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, 19 abr. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Eficiência energética e conservação de energia*. Brasília, DF: MMA, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios*. Brasília, DF: MME, 2003.

CENSO DEMOGRÁFICO: características da população e dos domicílios - resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

ELETOBRAS. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. Rio de Janeiro. 1993.

O investimento do setor público nos sistemas fotovoltaicos viabilizará o seu uso, pois trará grandes benefícios aos moradores de residências de baixo padrão

GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables (version 16). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, [S.l.], v. 8, p. 377-384, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. *A eficiência energética e o novo modelo do setor energético*. Rio de Janeiro: INEE, 2001.

KNIJNIK, R. *Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento*. Porto Alegre: CPEA, 1994.

MANOEL, Paula Scheidt; KONZEN, Gabriel. *O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica em 2013*. Florianópolis: Ideal, 2014.

OLIVEIRA, S. H. F. *Geração distribuída de eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo*. 2002. 205 f. Tese (Doutorado)-Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ORGANIZAÇÃO LATINO AMERICANA DE ENERGIA. *Atlas de climatologia solar*. Quito, EC: [s.n.], 1987. v. 2.

PEREIRA, E. et al. *Atlas brasileiro de energia solar*. São José dos Campos, SP: INPE, 2006.

RUTHER, R. *Instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública*. Florianópolis: [s.n.], 2000.

TIBA, C. (Coord.). *Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2000.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e climatologia*. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2001. 515 p.

Resumo

O Brasil necessita ampliar e diversificar a sua matriz elétrica, de forma a preservar tanto a segurança energética nacional quanto sua predominância renovável. Isto é possível mediante planejamento energético coerente, políticas públicas adequadas e novos investimentos. As energias renováveis estão consolidando-se como alternativas para a diversificação energética no mundo. Com base nisto, este trabalho procura estudar as novas energias renováveis e o setor elétrico no Brasil e na Bahia, além de avaliar cenários de oferta/demanda de energia elétrica de 2013 até 2050 – com ênfase no potencial de crescimento da geração centralizada pelas novas fontes renováveis (eólica, solar fotovoltaica e bioeletricidade) na matriz elétrica da Bahia –, considerando alguns indicadores de sustentabilidade destas energias.

Palavras-chave: Energia eólica. Energia solar fotovoltaica. Bioeletricidade. Bahia.

Abstract

Brazil needs to expand and diversify its Electrical Matrix in order to preserve the national energy security and its renewable predominance. This is possible through coherent energy planning, adequate public policies and new investments. Renewable energies are consolidating as alternatives for energy diversification in the world. Based on this, this work is an study on the new renewable energies and the electric sector in Brazil and Bahia. It assesses supply/demand scenarios for electricity from 2013 to 2050, with emphasis on the growth potential of the centralised power generation by new renewable sources (Wind, Solar Photovoltaic and Bioelectricity) in Electrical Matrix of Bahia and considering some indicators of sustainability of these energies.

Keywords: *Wind energy. Photovoltaic solar energy. Biomass. Energy planning. Bahia.*

Potencial e inserção de novas energias renováveis na matriz elétrica baiana para geração elétrica centralizada até 2050

JOSÉ ALEXANDRE FERRAZ DE ANDRADE SANTOS

Mestre em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia (UFBA); doutorando em Engenharia Industrial pela UFBA; especialista em Gestão de Projetos pela Universidade do Estado da Bahia (Uneb); estudante de especialização em Energias Renováveis pelo Centro Universitário do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia (Senai/Cimatec); graduado em Engenharia Elétrica e em Transporte Terrestre pela UFBA. Pesquisador-bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) no grupo de pesquisas do Laboratório de Energia e Gás (LEN) da Escola Politécnica da UFBA. alex_caeel@yahoo.com.br

EDNILDO ANDRADE TORRES

Pós-doutor pela Florida Agricultural and Mechanical University (FAMU) e Florida State University (FSU) dos Estados Unidos; doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de Campinas (Unicamp); mestre em Engenharia Mecânica pela Unicamp; graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor titular do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da UFBA. Pesquisador-coordenador do grupo de pesquisas do Laboratório de Energia e Gás (LEN) da Escola Politécnica da UFBA. ednildo@ufba.br

A UTILIZAÇÃO da energia está associada à evolução da humanidade. Por sobrevivência e por conta da sua inteligência, a raça humana tem desenvolvido inovações na utilização da energia desde os primórdios da civilização, diversificando suas fontes energéticas (carvão, petróleo, energias renováveis etc.). A disponibilidade destas, especialmente para gerar energia elétrica (ou eletricidade), é pré-requisito para o desenvolvimento socioeconômico de qualquer país. Assim, a oferta, o controle e o uso das fontes de energia permitem que as sociedades se desenvolvam, aprimorando suas respectivas economias e melhorando a qualidade de vida de seus povos. Porém, esta evolução só ocorre efetivamente quando há racionalidade e eficiência na utilização dos recursos energéticos, sendo fundamentais a existência de planejamento e as políticas adequadas.

Atualmente, as preocupações referentes aos impactos do aquecimento global e das mudanças climáticas influenciam muito

A busca por sustentabilidade energética aponta em direção a crescentes investimentos em energias renováveis, uma vez que os combustíveis fósseis predominam nas matrizes energética e elétrica mundiais

nos direcionamentos de investimentos e usos da energia. Em 2015, tais preocupações foram expostas na Convenção do Clima em Paris (COP21), implicando compromissos mundiais em prol de um desenvolvimento sustentável e da redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). A International Energy Agency e a International Renewable Energy Agency (2017) informam que o mundo está em fase de transição energética para sistemas de energia de baixo carbono. A busca por sustentabilidade energética aponta em direção a crescentes investimentos em energias renováveis, uma vez que os combustíveis fósseis predominam nas matrizes energética e elétrica mundiais. Neste contexto, vários países estão investindo em geração via energias renováveis, com destaque para as energias eólica, solar fotovoltaica e biomassa.

Segundo a International Energy Agency (2014a), a oferta e a demanda por energia elétrica no mundo têm sido crescentes e há previsão de significativa ampliação nas capacidades instaladas das energias eólica e solar. A energia eólica reduziu seu custo em cerca de 60%, desde 1984 até 2010. Já a energia solar fotovoltaica reduziu seu custo em cerca de 70%, de 1998 até 2010. A International Energy Agency (2014a) afirma que os custos destas energias renováveis continuam sendo reduzidos de maneira consistente até o momento atual, especialmente os custos da fotovoltaica. Tal fato relaciona-se com os investimentos significativos da China nas energias eólica e solar, tendo uma atuação importante neste contexto de redução de custos decorrentes de uma grande escala de produção e do barateamento destas novas tecnologias.

Ainda de acordo com a International Energy Agency (2013), a energia eólica poderá alcançar de 15% a 18% da geração de energia elétrica global em 2050, atingindo entre 2.300,0 GW e 2.800,0 GW de capacidade instalada e evitando emissões de até 4,8 Gt de CO₂-eq/Ano. Supõe-se que a produção de energia eólica aumentará de forma significativa, chegando possivelmente a 6.678,0 TWh e 2.500,0 GW de capacidade instalada em 2030, e até 12.651,0 TWh e 4.814,0 GW em 2050. Até 2050, a International Energy Agency (2014b) informa que a tecnologia solar fotovoltaica poderá atingir 4.600,0 GW de capacidade instalada (16% da geração elétrica mundial), produzindo mais de 6.000,0 TWh e evitando a emissão de até 4,0 Gt de CO₂-eq/Ano. A a biomassa também poderá fornecer 3.100,0 TWh, equivalendo a 7,5% da geração elétrica mundial para 2050, reduzindo emissões em 1,3 Gt de CO₂-eq/Ano, ainda de acordo com estimativas da International Energy Agency (2012).

Em 2016, segundo a *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (REN21, 2017), as capacidades instaladas eólica e solar fotovol-

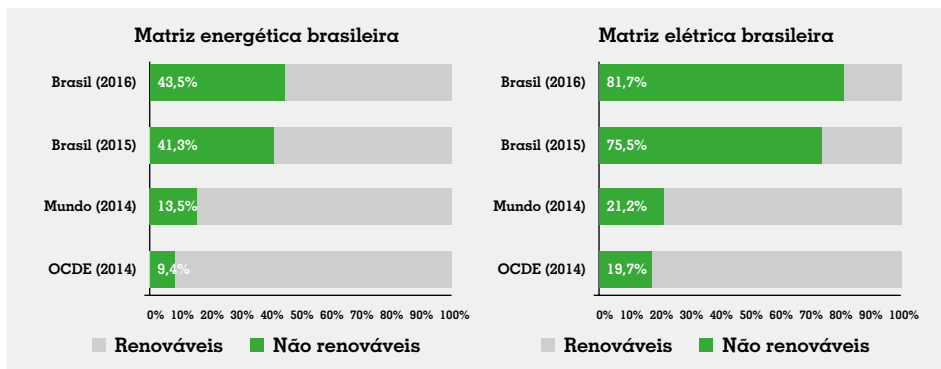
Segundo o Balanço Energético Nacional (2017), o Brasil destaca-se mundialmente em termos de energias renováveis em suas matrizes energética e elétrica

ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Segundo o Balanço Energético Nacional (2017), o Brasil destaca-se mundialmente em termos de energias renováveis em suas matrizes energética e elétrica. Até o atual momento, o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) ainda se configura como um grande sistema ‘hidrotérmico’, uma vez que sua principal base de geração elétrica são as usinas hidrelétricas (UHE), existentes em maior proporção e fornecedoras de energia de custo mais baixo, e as usinas termelétricas (UTE), existentes em proporção menor e provedoras de energia de custo mais elevado. A prevalência das UHE assegura que as fontes de energia renováveis no Brasil predominem em relação às não renováveis nas matrizes energética e elétrica nacionais. Assim, se apresentam mais renováveis que as respectivas matrizes mundiais (Figura 2).

Figura 2

Parcelas das energias renováveis nas matrizes energética e elétrica no Brasil e no mundo - 2016

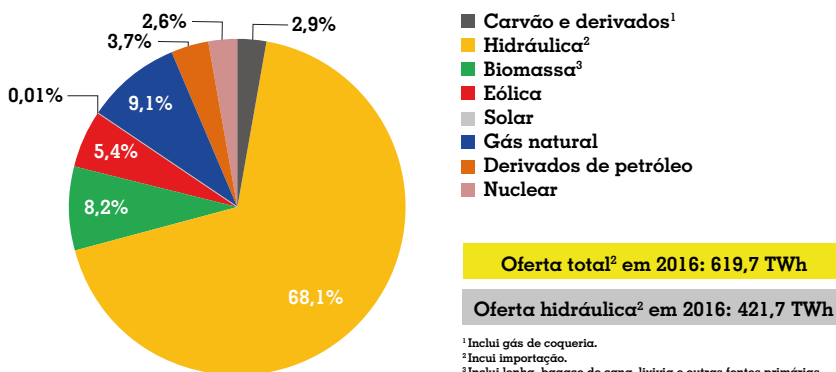


Fonte: Balanço Energético Nacional (2017).

Segundo o Balanço Energético Nacional (2017), a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) foi de 619,7 TWh, com uma capacidade instalada de 150,3 GW em 2016. Apesar de ser mais recente na matriz elétrica brasileira, a parcela eólica já se faz representativa na composição desta e na segurança de abastecimento (Gráfico 2).

Gráfico 2

Percentual de cada tipo de geração na matriz elétrica - Brasil - 2016



Fonte: Balanço Energético Nacional (2017).

A Região
Nordeste,
especialmente
o estado
da Bahia,
dispõe de
potencialidades
estratégicas
para geração
da eletricidade
com base
em energias
eólica, solar
fotovoltaica e
de biomassa

Contudo, perante o previsível aumento contínuo de demanda interna por energia elétrica, existe a necessidade de maiores investimentos em fontes de energia renováveis, para preservar a hegemonia das matrizes renováveis nacionais. Segundo Martins e Pereira (2011), há enorme potencial de crescimento na inserção de energias eólica e solar no Brasil, por conta de a matriz energética primária nacional ser predominantemente renovável, mas a maior parte da eletricidade ser de origem hidráulica. De acordo com Imperial e Pereira (2014) e De Jong e outros (2013), a relevância das energias renováveis tem aumentado significativamente nos últimos anos. Neste contexto, Santos (2015) observa que a Região Nordeste, especialmente o estado da Bahia, dispõe de potencialidades estratégicas para geração da eletricidade com base em energias eólica, solar fotovoltaica e de biomassa, podendo contribuir no suprimento das demandas atuais e futuras por eletricidade no Brasil.

Segundo Santos (2015), após uma grave crise no abastecimento de eletricidade em 2001 (crise do 'apagão'), decorrente de prolongadas secas nos reservatórios das UHE, o governo federal, via Ministério de Minas e Energia (MME), definiu novas políticas públicas e planejamentos para o setor energético a partir de um novo marco legal para o SEB. As contratações de energia elétrica passariam a ocorrer por meio de leilões de energia a partir de 2005. Esta ação visava ampliar e diversificar gradualmente a matriz elétrica, inserindo inclusive novas fontes energéticas renováveis. Em 2004, foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que se tornaria responsável por estudos e planejamentos no setor energético. A EPE elaborou dois Planos Nacionais de Energia (PNE), um em 2007 com horizonte para 2030, e o vigente, em 2014/2015, com horizonte para 2050. O PNE 2050 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014) prevê um crescimento de consumo médio anual de energia elétrica de aproximadamente 3,2%, resultando em um consumo total de 1.624,0 TWh. Neste caso, as gerações de eletricidade eólica, solar fotovoltaica e de biomassa poderão contribuir de maneira significativa para que a demanda estimada de 1.624,0 TWh seja plenamente suprida em 2050.

Santos (2015) comenta que os leilões de energia elétrica foram estabelecidos pela Lei nº 10.848, de 15/03/2004, e regulamentados pelos Decretos nº 5.163, de 30/08/2004, e nº 6.353, de 16/01/2008, no âmbito das diretrizes para a comercialização de eletricidade no modelo do SEB a partir de 2004. Atendendo aos princípios de segurança no abastecimento e de modicidade tarifária (menor preço), os leilões viabilizaram a competição entre os agentes de geração na contratação de energia elétrica e de novas modalidades de energia renováveis, especialmente a eólica, a solar fotovoltaica e a de biomassa. O MME e a EPE classificam os leilões em termos de horizontes de contratação (prazo em anos para início da entrega da energia) e em tipos especiais (Quadro 1):

Atualmente, o Brasil utiliza energia hidroelétrica, eólica, solar e de biomassa

Quadro 1
Classificação dos leilões de energia no Brasil

Leilões de energia		
Tipos de leilão	Sigla	Descrição
Leilão de Energia Nova	LEN	Nestes leilões, as distribuidoras adquirem coletivamente energia de novas fontes de geração para atender os seus mercados com contratos de duração de 15 a 35 anos, a depender do tipo de fonte supridora. Os LEN normalmente são promovidos anualmente em A-3 e A-5.
Leilão de Energia de Reserva	LER	Os LER de novos empreendimentos são para garantir os níveis adequados de segurança de suprimento ao SIN e, normalmente, ocorrem anualmente. De forma distinta dos LEN, a energia de reserva não pode ser usada para abatimento de compromissos de demanda das distribuidoras. A remuneração dos agentes vendedores nos LER é rateada entre todos os agentes de consumo usuários do SIN, por meio da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)
Leilão de Energia Existente	LEE	As distribuidoras adquirem coletivamente energia de fontes existentes para repor contratos vencidos no ano imediatamente anterior ao A-1, com novos contratos de 3 a 15 anos de duração.
Leilão de Fontes Alternativas	LFA	São usinas que produzem energia elétrica a partir de biomassa, as eólicas, as pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e, mais recentemente, a solares fotovoltaicas.
Leilão de Projeto Estruturante	LPE	São classificados como estruturantes pelo Conselho Nacional de Política Energético (CNPE) devido ao seu caráter estratégico e de relevante interesse público, sendo objetos de licitações específicas. São exemplos de LPE as hidrelétricas: Belo Monte (11.000 MW) no Rio Xingu/Pará; Jirau (3.750 MW) e Santo Antônio (3.568 MW) no Rio Madeira/Rondonia.
Mecanismo Competitivo de Descontratação de Energia de Reserva	-	Tipo de leilão excepcionalmente criado em 2017 para descontratar empreendimentos de LER que passaram a apresentar problemas de atrasos ou de inviabilidade/desinteresse de conclusão. Desta forma, as empresas poderiam desistir de alguns projetos contratados sem ter que arcar com todas as penalidades da ANEEL, mas pagando um prêmio ao Governo Federal. O único LDE realizado até o momento ocorreu em 28/08/2017.
Horizontes de contratação		Descrição
A-N onde atualmente "N" pode ser de 0 a 6 anos.		Prazo de "N" ano(s) para implantar o empreendimento gerador e entregar a energia contratada,
Leilão de Ajuste (Necessidade extraordinária)		Os leilões de ajuste são realizados individualmente por distribuidora, a depender de suas necessidades próprias para completar o total de energia contratada nos LEN e LFE A-3 e A-5 e nos LEE A-1. Eles são mitigadores de risco individual das distribuidoras, sendo realizados com até 2 anos de antecedência, com contratos de 3 meses a 2 anos.

Fonte: Santos (2015).

AS NOVAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (2012), as fontes de energia usadas para geração elétrica e que são denominadas renováveis (hidrelétrica, eólica, solar, biomassa, oceânica e geotérmica) independem do consumo de algum combustível, pois usam energias disponíveis na natureza. Desta forma, são consideradas inesgotáveis.

Atualmente, o Brasil utiliza energia hidroelétrica, eólica, solar e de biomassa. A hidrelétrica é a renovável mais tradicional e significativa do Brasil, e as energias eólica, solar fotovoltaica e de biomassa são consideradas as novas renováveis em expansão.

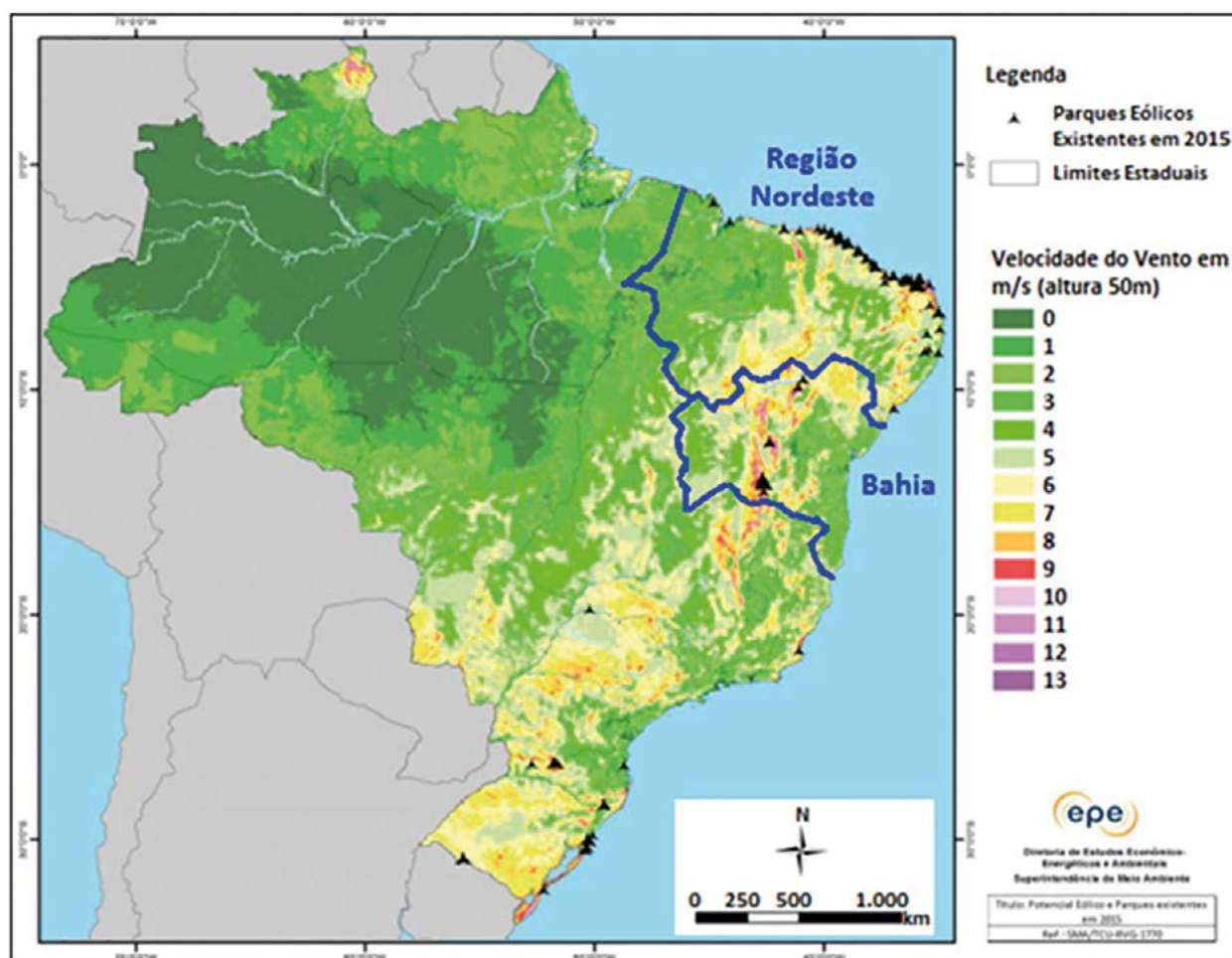
Energia eólica

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CENTRO DE PESQUISAS EM ENERGIA ELÉTRICA, 2001) indica um potencial bruto de 143,5 GW, avaliado para 50,0 m de altura (Figura 3). Segundo Pereira (2016), o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-Clima) estima, para 100,0 m de altura, um potencial eólico bruto de até 880,5 GW, com 522,0 GW tecnicamente viáveis. Tal potencial torna a energia eólica uma alternativa relevante e estratégica para diversificar a geração elétrica brasileira. Muitos estados brasileiros já elaboraram ou estão elaborando seus próprios atlas eólicos, objetivando atrair investimentos. Os maiores potenciais identificados para a geração eólica estão nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste, enquanto que a Região Amazônica apresenta baixo potencial.

Muitos estados
brasileiros já
elaboraram
ou estão
elaborando
seus próprios
atlas eólicos,
objetivando
atrair
investimentos

Figura 3

Potencial eólico e distribuição dos parques eólicos em operação no Brasil



Fonte: Tolmasquim (2016) (adaptado).

No Brasil, os ventos têm aspectos excelentes para a geração elétrica: boa velocidade, baixa turbulência e boa uniformidade. Isto viabiliza fatores de capacidade de até 50,0% em alguns parques eólicos

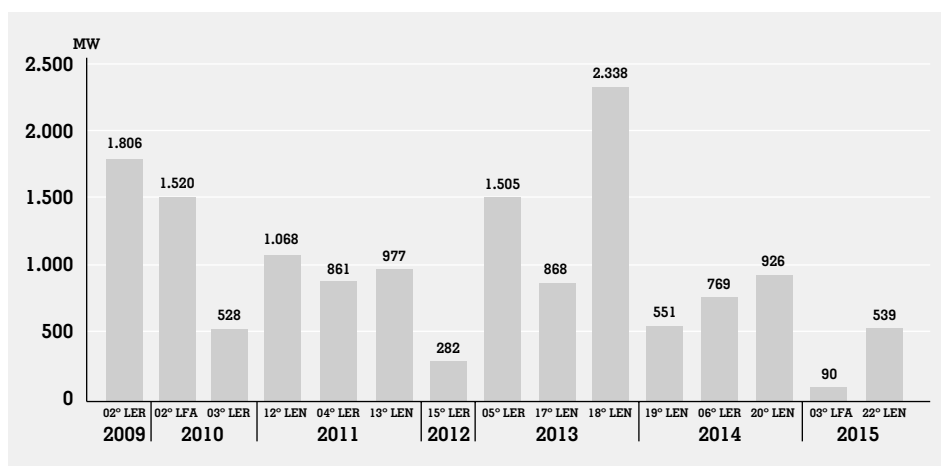
Os ventos economicamente viáveis são unidirecionais e com velocidade superior a 6,0 m/s. No Brasil, os ventos têm aspectos excelentes para a geração elétrica: boa velocidade, baixa turbulência e boa uniformidade. Isto viabiliza fatores de capacidade de até 50,0% em alguns parques eólicos. De acordo com o Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (Cepel), a temporada com maior intensidade de ventos no Brasil vai de junho a dezembro, coincidindo com meses de menor pluviosidade e apresentando potencial complementariedade energética com a fonte hídrica (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009).

As usinas eólicas podem ficar localizadas em terra firme (*on-shore*) ou no mar (*off-shore*). No Brasil, os empreendimentos eólicos são basicamente *on-shore* por conta da grande disponibilidade de áreas em terra firme. Há destaque na implantação de empreendimentos na Região Nordeste por conta de um elevado potencial eólico e de ampla disponibilidade de terras para arrendamento.

Segundo Melo (2013) e o MME (BRASIL, 2014), a energia eólica ganhou maior destaque no Brasil a partir 2009. A Associação Brasileira de Energia Eólica (BOLETIM ANUAL DE GERAÇÃO EÓLICA, 2017) informou que o Brasil passou a ter mais de 10,0 GW eólicos de capacidade instalada e apresentou fator de capacidade médio de 40,7%, superior à média mundial de cerca de 25,0%, no ano de 2016. A fonte de energia eólica esteve presente em 15 leilões – entre eles Leilão de Energia Renovável (LER), Leilão de Energia Nova (LEN) e Leilão de Fontes Alternativas (LFA) –, nos quais pode-se observar a significativa quantidade contratada (Gráfico 3).

Gráfico 3

Potências contratada por leilão - Brasil - 2009-2015



Fonte: Tolmasquim (2016).

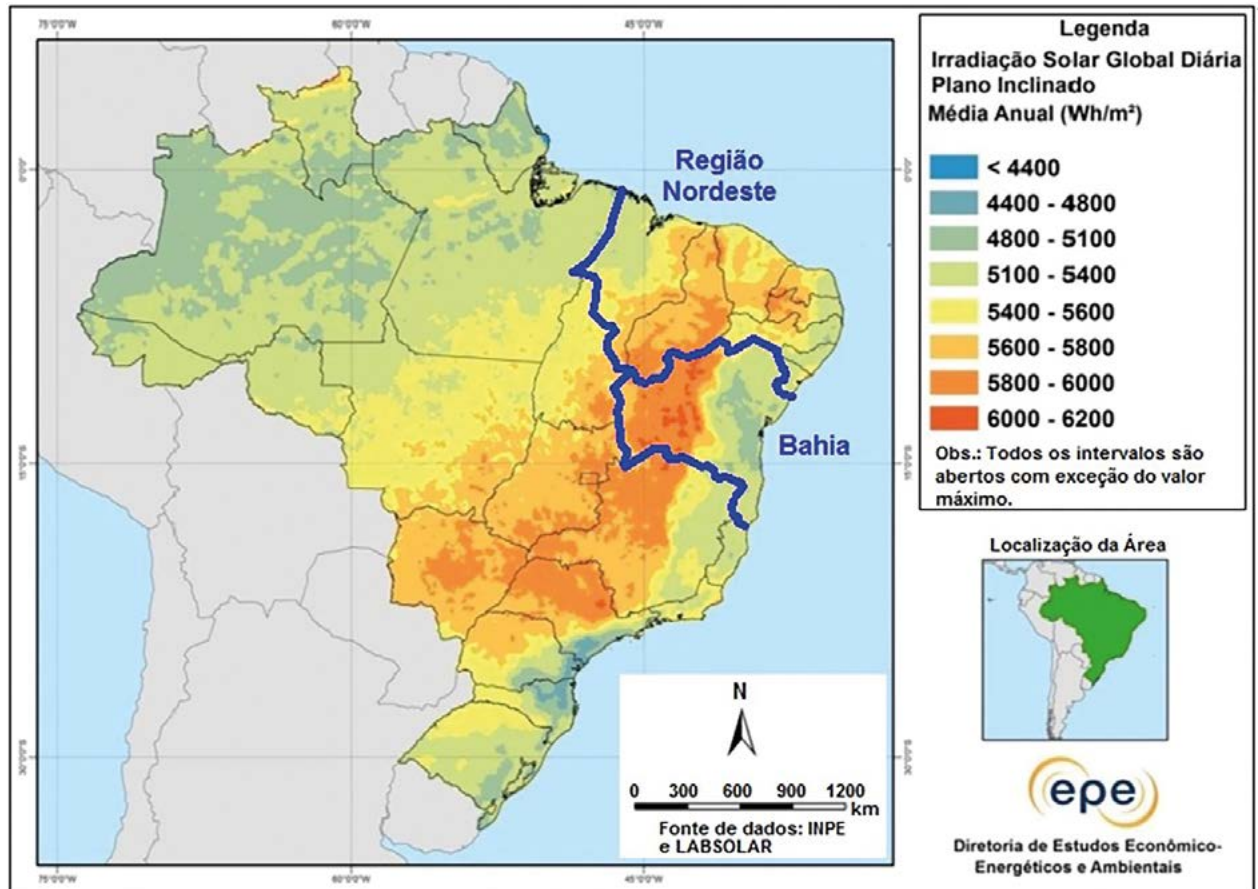
De acordo com Santos e Torres (2016a), a ABEEólica e o governo federal verificam a necessidade de uma contratação mínima de 2.000,0 MW/Ano via leilões para viabilizar e dar sustentabilidade econômica à cadeia produtiva eólica no Brasil.

Energia solar

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (2012), o Brasil, com seu território situado majoritariamente em latitudes entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, possui uma incidência solar bastante favorável, pois inexistem grandes variações de radiação durante o dia (Figura 4). Em 2001, de acordo com Martins, Pereira e Echer (2004), foi iniciado no Brasil o Projeto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) para mapear o potencial energético solar, auxiliar no planejamento de políticas públicas de incentivo a projetos nacionais de energia solar e eólica e atrair o capital de investimentos da iniciativa privada para a área de energias renováveis. As pesquisas de Pereira e outros (2006) e da Empresa de Pesquisa Energética (2012) explicitam um elevado potencial no Brasil para alta produtividade da geração de energia solar. As áreas de maior irradiação solar teriam produtividade média entre 1.260,0 e 1.420,0 Wh/Wp/ano, representando um fator de capacidade médio entre 14,4% e 16,2%. Desta forma, os índices de radiação solar brasileiros estão entre os mais elevados do mundo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2012).

O Brasil, com seu território situado majoritariamente em latitudes entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, possui uma incidência solar bastante favorável, pois inexistem grandes variações de radiação durante o dia

Figura 4
Mapa da irradiação solar global no plano inclinado no Brasil



Fonte: Tolmasquim (2016) (adaptado).

Segundo Santos e Torres (2016b), a energia solar fotovoltaica ganhou destaque a partir de 2014, com a realização do primeiro LER e a contratação efetiva desta fonte renovável

Segundo Santos e Torres (2016b), a energia solar fotovoltaica ganhou destaque a partir de 2014, com a realização do primeiro LER e a contratação efetiva desta fonte renovável. A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2014) observa que o Brasil tem imenso potencial técnico ainda inexplorado, que seria superior a 28.500,0 GW apenas com usinas de grande porte. Segundo o MME (BRASIL, 2016), as contratações de projetos solares aconteceram nos LER de 2014 e 2015 (Tabela 1).

Tabela 1

Contratação de projetos solares [33] - Brasil - 2014/2015

Mês / Ano	Projetos	Capacidade	Energia	Início de	Período
	contratados	instalada (MW)	contratada (MWe)	suprimento	contratado (anos)
10/2014	31	890	202	2017	21
08/2015	30	834	232	2017	21
11/2015	33	929	245	2018	21
Total	94	2653	679		

Fonte: Brasil (2016) (adaptado).

A Empresa de Pesquisa Energética (2012) indica que o Nordeste tem os maiores valores de irradiação solar global no Brasil, com a maior média e a menor variabilidade anual. Além disto, durante o ano inteiro, as condições climáticas viabilizam um regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar para a região semiárida, o que gera menor variação na produtividade fotovoltaica anual.

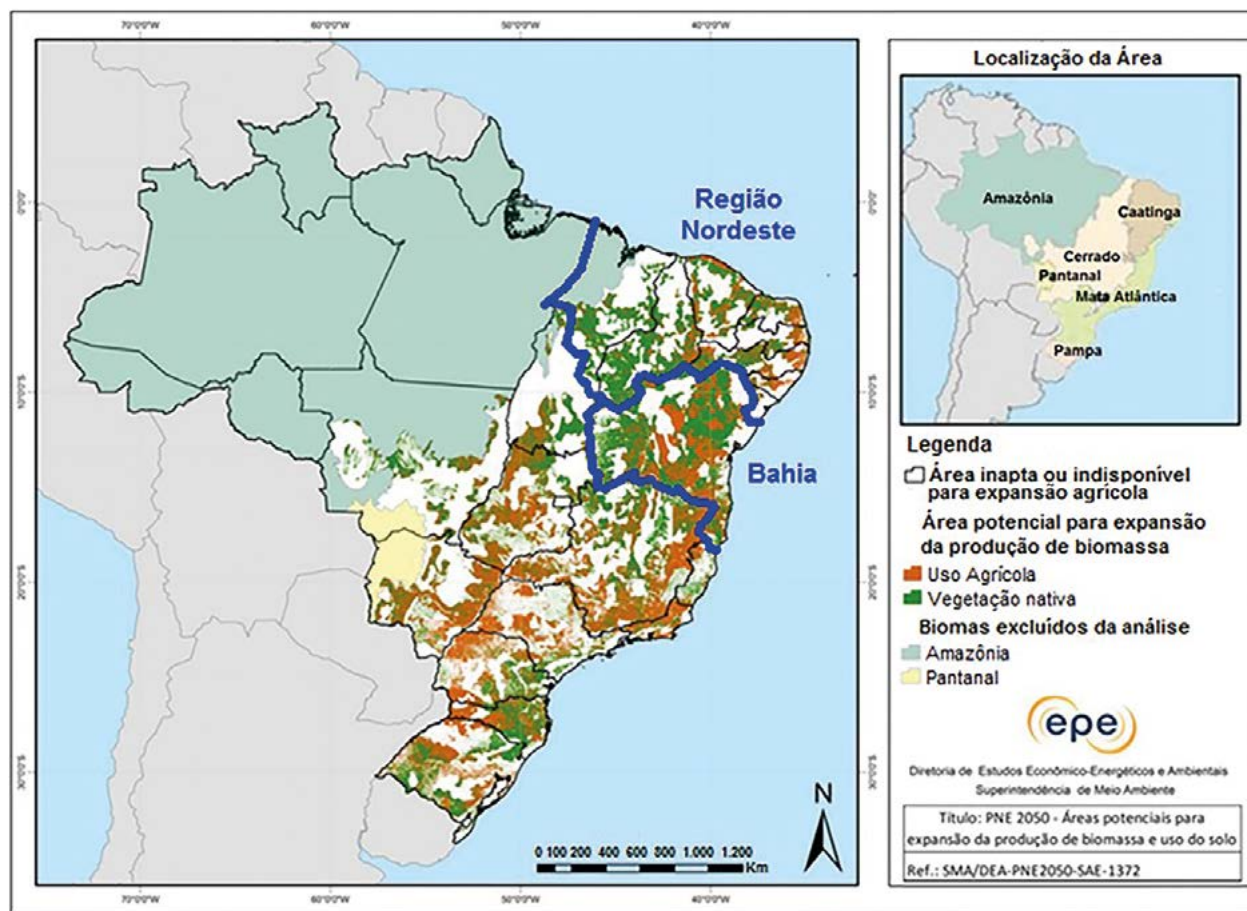
De acordo com a Absolar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2014), a contratação mínima anual de 1.000,0 MW de capacidade instalada solar por leilão seria necessária para viabilizar o desenvolvimento da cadeia produtiva solar completa no Brasil.

Bioeletricidade

Santos e Torres (2017) consideram a biomassa como uma alternativa renovável viável para diversificar as matrizes energéticas dos países, em substituição aos combustíveis fósseis (petróleo e carvão), na produção de bioeletricidade via UTE. Santos (2015) afirma que a biomassa é uma fonte energética muito promissora no Brasil, pois a tradicional (ex.: lenha e cana.) já é utilizada, enquanto as biomassas modernas (culturas para fins energéticos) têm amplo potencial de implantação (Figura 5).

A Empresa de Pesquisa Energética (2012) indica que o Nordeste tem os maiores valores de irradiação solar global no Brasil, com a maior média e a menor variabilidade anual

Figura 5
Mapeamento de áreas para expansão das atividades agrícola e florestal no Brasil



Fonte: Tolmasquim (2016) (adaptado).

O Brasil dispõe de vários tipos de biomassa provenientes de atividades agrícolas, de resíduos sólidos urbanos (RSU) e de outras atividades

De acordo com a International Energy Agency (2012), o Brasil responderia por 80,0% da geração das Américas Central e do Sul. Em 2014, segundo Tolmasquim (2016), a bioeletricidade gerada com bagaço de cana, lixívia e lenha totalizou 44,7 TWh de energia, equivalendo a 8% da geração elétrica total, sendo que o bagaço gerou 32,3 TWh e a lixívia gerou 10,5 TWh. A maioria das UTE movidas a biomassa existentes no Brasil estão concentradas nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, e as matérias orgânicas que suprem as UTE são proveniente de: resíduos florestais e agrícolas (ex.: cana-de-açúcar, arroz, etc.); cultivos para fins energéticos (ex.: eucaliptos, capim-elefante, etc.); e resíduos urbanos e similares (ex.: lixo e esgoto).. O Brasil dispõe de vários tipos de biomassa provenientes de atividades agrícolas, de resíduos sólidos urbanos (RSU) e de outras atividades, e tem muitas possibilidades de usá-la como recurso energético para a diversificação da matriz elétrica nacional.

A biomassa é a fonte energética que se apresenta mais complexa no atual ambiente para se definirem contratações regulares em leilões, pois

o uso mais amplo da bioeletricidade envolve várias questões, referentes a: produção agrícola e uso do solo, legislações voltadas para os resíduos urbanos, entre outras. Segundo Santos (2015), tramita no Congresso Nacional o Projeto de Lei nº 3.529/2012 para instituir a Política Nacional de Geração de Energia Elétrica a partir da biomassa, com obrigatoriedade da contratação da bioenergia na composição da geração elétrica nacional. Caso seja aprovado, representará um incentivo à bioeletricidade.

O Nordeste e o estado da Bahia

A base de geração hidrelétrica do Nordeste são as UHE da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), localizadas no Rio São Francisco, e elas são vulneráveis às mudanças climáticas e aos períodos de secas prolongadas. Desde 2012 há uma severa seca na Região Nordeste prejudicando os reservatórios das UHE da CHESF, e já houve uma situação crítica de seca anterior que resultou na crise do apagão em 2001. Desta forma, em anos anteriores, só não houve racionamento elétrico no Nordeste por conta da importação de energia elétrica produzida em outras regiões brasileiras e transmitida via Sistema Interligado Nacional (SIN) e, mais recentemente, pela contribuição dos parques eólicos nordestinos em funcionamento. Tal vulnerabilidade hidrológica evidencia a necessidade da diversificação de fontes energéticas e a ampliação da capacidade de geração no Brasil.

Comparando-se as informações anteriores (figuras 3, 4 e 5), constata-se que a Região Nordeste do Brasil possui uma maior quantidade de áreas com potenciais mais elevados para geração elétrica das fontes eólica e solar, inclusive havendo muitas coincidências na localização geográfica. Segundo Santos (2015) e Silva e Severo (2012), a área do semiárido nordestino apresenta os maiores potenciais eólicos e solares, e sua maior extensão e coincidências de potenciais encontram-se no estado da Bahia. Também existe potencial para a produção de biomassas diversas.

Na Região Nordeste, a Bahia destaca-se em termos de energias renováveis, visto que o estado é pioneiro em estudos relacionados a estas no Brasil (BAHIA, 1979a, 1979b; TORRES; FROTA; OLIVEIRA, 1983) e apresenta um vasto potencial para a geração elétrica renovável, com as energias eólica, solar e biomassa. Imperial e Pereira (2014) afirmam que o maior índice estadual de irradiação solar no plano inclinado, com média anual máxima de 6,1 kWh/m², encontra-se no oeste da Bahia. O Atlas Eólico da Bahia (CAMARGO SCHUBER, 2013) apresenta estimativas de potencial eólico de 70,0 GW para 100,0 m de altura, e até 195,0 GW para 150,0 m de altura. Já Pereira e Figueiredo (2009) estimam um potencial baiano de geração elétrica baseado em resíduos agrícolas da ordem de 800,0 MW (via tecnologia de combustão), e de 1.300,0 MW (via processo de gaseificação), enquanto Santos (2015) afirma que tam-

Na Região Nordeste, a Bahia destaca-se em termos de energias renováveis, visto que o estado é pioneiro em estudos relacionados a estas no Brasil

Em 2050,
as energias
eólica, solar e
de biomassa
combinadas
poderão
contribuir
significativamente
para atender
às demandas
estadual e
nacional

bém haveria um grande potencial por meio de futuros cultivos para fins energéticos. A possibilidade do aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos ou de esgotos é mais complexa e cara, dependente de políticas específicas capazes de viabilizá-las. Em 2050, as energias eólica, solar e de biomassa combinadas poderão contribuir significativamente para atender às demandas estadual e nacional. Inclusive, segundo Leoni e outros (2017) e Santos (2015), por conta de coincidências geográficas – e para a otimização de infraestrutura e da produtividade – seria possível implantar empreendimentos com geração de mais de uma fonte energética (usinas híbridas), especialmente nos casos eólico e solar.

Geração elétrica no Brasil e na Bahia

De acordo com informações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017a), em 14/11/2017, o Brasil possuía um total de 4.752 empreendimentos de geração elétrica em operação, totalizando 155,6 GW de potência instalada (Tabela 2). Para os próximos anos, há previsão de uma adição de 21,5 GW na capacidade instalada de geração do país, proveniente dos 240 empreendimentos atualmente em construção e mais 548 com construção não iniciada. Ainda segundo a ANEEL (2017b), o estado da Bahia possuía um total 231 empreendimentos em operação, com 10,1 GW de potência instalada, representando aproximadamente 6,5% da capacidade instalada no Brasil. Há previsão para os próximos anos de um acréscimo de 5,1 GW na capacidade instalada de geração do estado, proveniente dos 83 empreendimentos em construção e mais 124 com construção não iniciada.

Tabela 2

Capacidade de geração no Brasil e na Bahia e relação percentual - Bahia/Brasil - 14 nov. 2017

Empreendimentos	Brasil				Bahia				Bahia/Brasil	
	Quantidade	%	Potência (MW)	%	Quantidade	%	Potência (MW)	%	Quantidade	Potência
Em operação										
Todos os tipos de usinas	4.752	100,0%	155.562,2	100,0%	231	100,0%	10.105,9	100,0%	4,9%	6,5%
Eólicas	479	10,1%	11.751,8	7,6%	84	36,4%	2.086,1	20,6%	17,5%	17,8%
Solares fotovoltaicas	63	1,3%	413,1	0,27%	8	3,5%	178,5	1,77%	12,7%	43,2%
Em construção										
Todos os tipos de usinas	240	100,0%	10.674,9	100,0%	91	100,0%	2.049,5	100,0%	37,9%	19,2%
Eólicas	139	57,9%	3.175,5	29,7%	80	87,9%	1.764,1	86,1%	57,6%	55,6%
Solares fotovoltaicas	31	12,9%	883,4	8,3%	10	11,0%	257,4	12,6%	32,3%	29,1%
Em construção não iniciada										
Todos os tipos de usinas	548	100,0%	10.874,9	100,0%	93	100,0%	2.425,7	100,0%	17,0%	22,3%
Eólicas	126	23,0%	2.743,1	25,2%	72	77,4%	1.544,1	63,7%	57,1%	56,3%
Solares fotovoltaicas	65	11,9%	1.651,1	15,2%	16	17,2%	443,8	18,3%	24,6%	26,9%
Totais gerais										
Todos os tipos de usinas	5.540	100,0%	177.112,0	100,0%	415	100,0%	14.581,1	100,0%	7,5%	8,2%
Eólicas	744	13,4%	17.670,4	10,0%	236	56,9%	5.394,3	37,0%	31,7%	30,5%
Solares fotovoltaicas	159	2,9%	2.947,6	1,7%	34	8,2%	879,7	6,0%	21,4%	29,8%

Fonte: elaboração própria a partir de dados na Aneel (2017).

As fontes de energia eólica e solar já tiveram contratações significativas até o ano de 2015. Entretanto, em decorrência da grave crise econômica brasileira atual, iniciada em 2014 e ainda não superada, ocorreu redução do consumo da energia elétrica. Depois disto não foram realizados novos LER em 2016, apenas ocorreu um leilão inédito para desconstrução de alguns empreendimentos. Os leilões só foram retomados em dezembro de 2017, quando ocorreram um LEN A-4 e um LEN A-6. Além disto, o MME (BRASIL, 2017) abriu uma consulta pública para o aprimoramento do marco legal do SEB. Ainda assim, os vários empreendimentos já contratados e o potencial significativo para novos empreendimentos podem permitir a continuidade da matriz elétrica brasileira majoritariamente renovável.

Metodologia

As referências iniciais para a elaboração de gráficos e tabelas foram os Balanços Energéticos Nacional (2014) e Baiano (BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DA BAHIA, 2014), com as informações do ano-base 2013 subsidiando as análises realizadas e começando pelo comparativo Brasil X Bahia (Tabela 3), explicitando as proporções da participação da Bahia perante o SEB.

As fontes de energia eólica e solar já tiveram contratações significativas até o ano de 2015

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado com base no PNE 2050 (Empresa de Pesquisa Energética, 2014), em outros documentos norteadores do setor energético nacional e em pesquisas acadêmicas diversas

Tabela 3

Comparativo da energia elétrica - Brasil e Bahia - 2013

Ano de 2013	Brasil	Bahia	Brasil/Bahia
Capacidade instalada (GW)	126,7	7,0	5,5%
Oferta (TWh)	609,9	24,5	4,0%
Demanda (TWh)	516,3	26,3	5,1%
Perdas (TWh)	93,6	4,2	4,5%
Geração (GW médios)	69,6	2,8	4,0%

Fonte: elaboração própria.

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado com base no PNE 2050 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014), em outros documentos norteadores do setor energético nacional e em pesquisas acadêmicas diversas. Os dados primários foram obtidos em bases de dados técnico-científicas nacionais e internacionais de domínio público, disponíveis na internet em quase sua totalidade.

Foram elaborados três cenários nacionais de demanda elétrica e comparados com três cenários baianos de oferta elétrica para cada um dos três tipos de novas energias renováveis, considerando suas expansões individualizadas até o ano de 2050. Posteriormente, as projeções de ofertas das energias eólica, solar fotovoltaica e de biomassa foram unificadas e já adicionadas à energia hidráulica preexistente. Para cada uma das projeções elaboradas, foram estimados os respectivos indicadores de sustentabilidade. Houve cruzamento de informações entre os diversos cenários de demanda x oferta, gerando-se nove possibilidades da contribuição de energia eólica para o Brasil e a Bahia.

O Quadro 2 apresenta as três equações utilizadas para estimar as projeções de 2013 até 2050. A equação 1 foi usada para projetar os cenários baianos de geração centralizada de eletricidade para cada um dos três tipos de energia renovável. A equação 2 foi usada para projetar três cenários baianos de oferta geral de eletricidade de fontes renováveis. A equação 3 foi usada para projetar três cenários nacionais de demanda elétrica: 1.241,7 TWh (cenário negativo), 1.624,0 TWh (referência) e 2.203,6 TWh (cenário positivo) (Santos, 2015). Adicionalmente, considerando-se 6,0% das respectivas demandas nacionais, três cenários de demanda baiana foram obtidos: 74,5 TWh (cenário negativo), 97,4 TWh (referência) e 132,2 (cenário positivo).

Quadro 2

Três equações utilizadas para a elaboração das projeções

Equação 01	Equação 02
$P_{(TWh)} = 8.760 * N * (CI_{(MW)} * FC) / 1.000.000$	$PBA_{(TWh)} = 8.760 * N * [(CI_{Eol} * FC_{Eol}) + (CI_{Sol} * FC_{Sol}) + (CI_{Bio} * FC_{Bio})] / 1.000.000$
<p>Onde:</p> <p>P = Geração total de energia elétrica em terawatt-hora (TWh) no ano;</p> <p>N = Quantidade de anos variando de 1 a 37, correspondendo a 2013 até 2050;</p> <p>CI = Capacidade instalada em megawatt (MW);</p> <p>FC = Fator de capacidade inerente a cada tecnologia de fonte energética.</p>	<p>Onde:</p> <p>P_{BA} = Geração total de energia elétrica em terawatt-hora (TWh) na Bahia;</p> <p>N = Quantidade de anos variando de 1 a 37, correspondendo a 2013 até 2050;</p> <p>CI_{Eol} = Contratação de capacidade instalada em megawatt/Ano (MW/Ano) eólicos;</p> <p>CI_{Sol} = Contratação de capacidade instalada em MW/Ano solares fotovoltaicos;</p> <p>CI_{Bio} = Contratação de capacidade instalada em MW/Ano de bioeletricidade;</p> <p>FC_{Eol} = Fator de capacidade adotado para a geração eólica igual a 40,1%;</p> <p>FC_{Sol} = Fator de capacidade adotado para a geração solar fotovoltaica igual a 18,9%;</p> <p>FC_{Bio} = Fator de capacidade adotado para a geração de bioeletricidade igual a 60,0%.</p>
<p>Equação 03</p> $D_{BR(TWh)} = 516,3 * (1 + C)^N$	
<p>Onde:</p> <p>D_{BR} = Demanda total por energia elétrica em terawatt-hora (TWh) no ano;</p> <p>C = Taxa de crescimento anual da demanda em TWh;</p> <p>N = Quantidade de anos variando de 1 a 37, correspondendo a 2013 até 2050.</p>	

Fonte: elaboração própria (adaptado).

Os três cenários baianos de oferta total de eletricidade com inserção da geração por fontes renováveis, via contratações anuais de capacidade instalada por meio de leilões, foram definidos em duas etapas. Na primeira, foram estimados nove cenários parciais, sendo três para cada tipo de energia renovável, com base em projeções lineares (equação 1), sobre o potencial de oferta elétrica da Bahia por meio de contratações de capacidade instalada para a geração centralizada das energias eólica, solar fotovoltaica e de biomassa.

Os cenários parciais 1 correspondem aos de maiores contratações de capacidade instalada. Os cenários parciais 2 correspondem aos de contratações intermediárias (mais prováveis) de capacidade instalada. Os cenários parciais 3 correspondem aos de menor contratação. A Tabela 4 apresenta as referências para embasar as projeções de expansão dos três cenários parciais por fonte.

Os três cenários baianos de oferta total de eletricidade com inserção da geração por fontes renováveis, via contratações anuais de capacidade instalada por meio de leilões, foram definidos em duas etapas

Tabela 4

Referências para projeções de cenários parciais de contratação na Bahia

Tipos de fonte energética	Cenários parciais na Bahia	Contratação anual de capacidade instalada		Fator de capacidade	
		(MW/Ano)	Referência	Valor	Referência
Eólica	Cenário parcial 1	700,0	Estimativa majorada da média real		
	Cenário parcial 2	677,6	Média real da série histórica de 2009-2014	40,1%	MME, 2014b
	Cenário parcial 3	500,0	Estimativa de 25% da contratação mínima de 2.000 MW/Ano		
Solar	Cenário parcial 1	700,0	Estimativa majorada equiparada à eólica		
	Cenário parcial 2	400,0	Valor arredondado da 1ª contratação histórica do LER 2014	18,9%	EPE, 2014g
	Cenário parcial 3	300,0	Estimativa para 30% da contratação mínima dos 1.000 MW/Ano		
Biomassa	Cenário parcial 1	50,0	Estimativa de implantação de uma UTE de 50,0 MW por ano		
	Cenário parcial 2	30,0	Estimativa de implantação de uma UTE de 30,0 MW por ano	60,0%	MME, 2015
	Cenário parcial 3	10,0	Estimativa de implantação de uma UTE de 30,0 MW a cada 3 anos		

Fonte: elaboração própria.

Na segunda etapa, os cenários parciais de energia e os cenários de impactos foram agrupados e somados conforme suas numerações, de forma a sintetizar três cenários gerais baianos (1, 2 e 3), que correspondem, respectivamente, aos de maior contratação total, de contratação intermediária total (mais provável) e de menor contratação total de MW/Ano dos três tipos de energias renováveis agregados.

Os indicadores de sustentabilidade expressam os impactos futuros relacionados à geração de energia elétrica das novas fontes renováveis e foram escolhidos baseados em critérios econômicos, sociais e ambientais (Tabela 5).

Tabela 5

Parâmetros para as estimativas dos indicadores de sustentabilidade

Tipo de fonte energética	Estimativas para os indicadores de sustentabilidade escolhidos							
	Impacto econômico		Impacto social		Impactos ambientais			
	Investimentos		Empregos gerados		Redução de emissões		Economia de água	
	Milhões de R\$/MW	Referência	Empregos/MW	Referência	t CO ₂ /MWh	Referência	Litros/MWh	Referência
Eólica	4,2	Garbe, Mello e Tomaselli, 2014	15	Simas, 2012	0,1554	MCTI (2015)	1,065 milhões	MMA, 2014
Solar	4,7	CCEE, 2014	33		Emissões neutras	Protocolo de Quioto, 1997		
Biomassa	5,0	SDE, 2015b	5					

Fonte: elaboração própria.

RESULTADOS DA INSERÇÃO DE NOVAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NA BAHIA

Uma vez aplicada a metodologia descrita, os resultados obtidos foram tabelados e estão expostos a seguir.

Potencialidades da energia eólica

A Tabela 6 expõe exclusivamente as potenciais expansões baianas da oferta da energia eólica e os respectivos indicadores de sustentabilidade. Os impactos econômicos e sociais são referentes ao período 2013-2050 e os impactos ambientais referem-se ao ano de 2050.

Tabela 6

Energia eólica - Bahia - 2013-2050

Energia eólica na Bahia		Cenário parcial 1	Cenário parcial 2	Cenário parcial 3
Contratação (MW/Ano)		700,0	677,6	500,0
Capacidade instalada acumulada de 2013 até 2050 (MW)		25.900,0	25.071,2	18.500,0
Fator de capacidade		40,1%	40,1%	40,1%
Geração total de energia elétrica em 2050 (TWh)		91,0	88,1	65,0
Impacto econômico	Investimentos (bilhões de R\$)	108,78	105,30	77,70
Impacto social	Empregos por ano	10.500	10.164	7.500
Impacto ambiental	Redução de emissões (Gt CO ₂ -eq)	14,1	13,7	10,1
	Economia de água (trilhões de litros)	96,9	93,8	69,2

Fontes: Santos (2015) e Santos e Torres (2016a) (adaptado).

Comparando-se os três cenários nacionais e os três cenários baianos de demanda elétrica, apresentados na Tabela 7, com os três cenários de projeção de geração eólica na Bahia indicados na Tabela 6, observa-se que, só com energia eólica, haveria possibilidade de suprir entre 2,9% e 7,3% da demanda nacional e entre 49,2% e 122,1% da demanda baiana em 2050 (Tabela 7).

Tabela 7

Contribuição da energia eólica - Bahia - 2050

Demanda do Brasil por energia elétrica (TWh)	Cenário pessimista			Cenário-referência			Cenário otimista		
	1.241,7			1.624,0			2.203,6		
Demanda elétrica máxima na Bahia (TWh)	74,5			97,4			132,2		
Oferta de energia elétrica eólica da Bahia (TWh)	91,0	88,1	65,0	91,0	88,1	65,0	91,0	88,1	65,0
Demanda brasileira atendida pela oferta eólica baiana (%)	7,3%	7,1%	5,2%	5,6%	5,4%	4,0%	4,1%	4,0%	2,9%
Demanda baiana atendida pela oferta eólica baiana (%)	122,1%	118,3%	87,2%	93,4%	90,4%	66,7%	68,8%	66,6%	49,2%

Fontes: Santos (2015) e Santos e Torres (2016a) (adaptado).

Potencialidades da energia solar

A Tabela 8 expõe exclusivamente as potenciais expansões baianas da oferta da energia solar fotovoltaica e os respectivos indicadores de sustentabilidade. Os impactos econômicos e sociais são referentes ao período 2013-2050, e os impactos ambientais, ao ano de 2050.

Tabela 8

Energia solar fotovoltaica - Bahia - 2013-2050

Energia Solar FV na Bahia		Cenário parcial 1	Cenário parcial 2	Cenário parcial 3
Contratação (MW/Ano)		700,0	399,7	300,0
Capacidade instalada acumulada de 2013 até 2050 (MW)		25.900,0	14.788,9	11.100,0
Fator de capacidade		18,9%	18,9%	18,9%
Geração total de energia elétrica em 2050 (TWh)		42,9	24,5	18,4
Impacto econômico	Investimentos (bilhões de R\$)	121,73	69,51	52,17
Impacto social	Empregos por ano	23.100	13.190	9.900
Impacto ambiental	Redução de emissões (Gt CO ₂ -eq)	6,7	3,8	2,9
	Economia de água (trilhões de litros)	45,7	26,1	19,6

Fontes: Santos (2015) e Santos e Torres (2016b) (adaptado).

Comparando-se os três cenários nacionais e os três cenários baianos de demanda elétrica apresentados na Tabela 8 com os três cenários de projeção de geração fotovoltaica na Bahia indicados na Tabela 9, observa-se que, só com energia solar, haveria possibilidade de suprir entre 0,8% e 3,5% da demanda nacional e entre 13,9% e 57,6% da demanda baiana em 2050.

Tabela 9

Contribuição da energia solar fotovoltaica - Bahia - 2050

Demanda do Brasil por Energia elétrica (TWh)	Cenário pessimista			Cenário-referência			Cenário otimista		
	1.241,7			1.624,0			2.203,6		
Demanda elétrica máxima na Bahia (TWh)	74,5			97,4			132,2		
Oferta de energia elétrica solar da Bahia (TWh)	42,9	24,5	18,4	42,9	24,5	18,4	42,9	24,5	18,4
Demanda brasileira atendida pela oferta solar baiana (%)	3,5%	2,0%	1,5%	2,6%	1,5%	1,1%	1,9%	1,1%	0,8%
Demanda baiana atendida pela oferta solar baiana (%)	57,6%	32,9%	24,7%	44,0%	25,1%	18,9%	32,4%	18,5%	13,9%

Fontes: Santos (2015) e Santos e Torres (2016b) (adaptado).

Potencialidades da bioeletricidade

A Tabela 10 expõe as potenciais expansões baianas da oferta da bioeletricidade e os respectivos indicadores de sustentabilidade. Os impactos econômicos e sociais são referentes ao período de 2013 até 2050, e os impactos ambientais, ao ano de 2050.

Tabela 10

Bioeletricidade - Bahia - 2013-2050

Bioeletricidade na Bahia		Cenário parcial 1	Cenário parcial 2	Cenário parcial 3
Contratação (MW/Ano)		50,0	30,0	10,0
Capacidade instalada acumulada de 2013 até 2050 (MW)		1.850,0	1.110,0	370,0
Fator de capacidade		60,0%	60,0%	60,0%
Geração total de energia elétrica em 2050 (TWh)		9,7	5,8	1,9
Impacto econômico	Investimentos (bilhões de R\$)	9,25	5,55	1,85
	Empregos por ano	250	150	50
Impacto ambiental	Redução de emissões (Gt CO ₂ -eq)	0	0	0
	Economia de água (trilhões de litros)	10,4	6,2	2,1

Fontes: Santos (2015) e Santos e Torres (2017) (adaptado).

Comparando-se os três cenários nacionais e os três cenários baianos de demanda elétrica apresentados na Tabela 10 com os três cenários de projeção de geração de bioeletricidade na Bahia indicados na Tabela 11, observa-se que, só com bioeletricidade, haveria possibilidade de suprir entre 0,09% e 0,78% da demanda nacional e entre 1,4% e 13,0% da demanda baiana em 2050.

Tabela 11
Contribuição da bioeletricidade - Bahia - 2050

Demanda do Brasil por energia elétrica (TWh)	Cenário pessimista			Cenário-referência			Cenário otimista		
	1.241,7			1.624,0			2.203,6		
Demanda elétrica máxima na Bahia (TWh)	74,5			97,4			132,2		
Oferta de bioeletricidade da Bahia (TWh)	9,7	5,8	1,9	9,7	5,8	1,9	9,7	5,8	1,9
Demanda brasileira atendida pela oferta de bioeletricidade baiana (%)	0,78%	0,47%	0,15%	0,60%	0,36%	0,12%	0,44%	0,26%	0,09%
Demanda baiana atendida pela oferta de bioeletricidade baiana (%)	13,0%	7,8%	2,6%	10,0%	6,0%	1,9%	7,3%	4,4%	1,4%

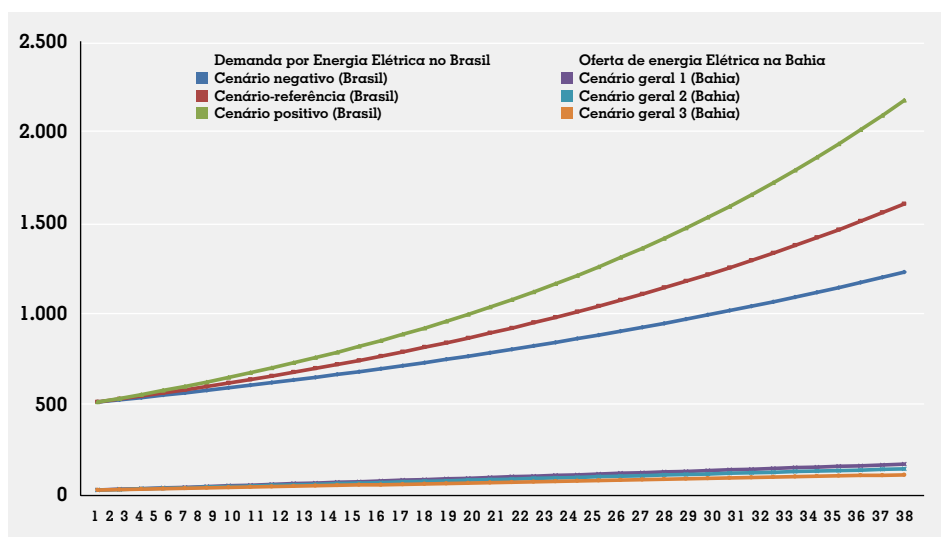
Fontes: Santos (2015) e Santos e Torres (2017) (adaptado).

Potencialidade conjunta das novas energias renováveis

As projeções dos três cenários para a demanda total do Brasil por energia elétrica em 2050 e as potenciais contribuições para a oferta de eletricidade baiana, considerando-se a união das novas energias renováveis disponíveis (eólica, solar e de biomassa) e já contabilizando a energia hidrelétrica preexistente, são apresentadas no Gráfico 4 e na Tabela 12. Os dados sintetizam o potencial baiano para geração elétrica por fontes renováveis e evidencia o considerável potencial de contribuição de oferta elétrica da Bahia para suprir a futura demanda brasileira.

Gráfico 4

Três projeções de consumo no Brasil e três projeções de oferta de eletricidade - Bahia - 2013-2050



Fonte: elaboração própria.

Tabela 12

Cenários brasileiros de demanda e cenários gerais baianos de oferta de energia elétrica por fontes renováveis - Bahia - 2013-2050

	Demanda do Brasil por energia elétrica em TWh	Demanda máxima elétrica baiana (6,0 % da Demanda do Brasil) em TWh	Oferta de energia elétrica da Bahia em TWh	Percentagem da demanda brasileira atendida pela oferta baiana	Situação da Bahia em relação ao SIN	
Referência de 2013	513,6	26,3	Oferta de 2013	24,5	5,1%	Déficit
Cenário pessimista 2050	1.241,7	74,5	Cenário Geral 1	168,1	13,5%	Superávit
			Cenário Geral 2	142,9	11,5%	Superávit
			Cenário Geral 3	109,8	8,8%	Superávit
Cenário-referência 2050	1.624,0	97,4	Cenário Geral 1	168,1	10,4%	Superávit
			Cenário Geral 2	142,9	8,8%	Superávit
			Cenário Geral 3	109,8	6,8%	Superávit
Cenário otimista 2050	2.203,60	132,2	Cenário Geral 1	168,1	7,6%	Superávit
			Cenário Geral 2	142,9	6,5%	Superávit
			Cenário Geral 3	109,8	5,0%	Déficit

Fonte: elaboração própria.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Este estudo indica que o estado da Bahia apresenta condições excepcionais para a expansão da geração elétrica por meio de energia eólica, solar e de biomassa devido ao amplo potencial de fontes disponíveis. A Bahia poderá ter uma condição de segurança energética independente das condições hídricas do Rio São Francisco, pois, dentre os nove cenários gerais elaborados, oito apontam o estado como futuro exportador pleno para o SIN de eletricidade de novas fontes renováveis contra um único cenário geral de futura importação baiana de eletricidade. O PNE 2050 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014), a política vigente de leilões do governo federal e as considerações deste estudo preveem que a capacidade instalada na Bahia poderá aumentar até quase oito vezes em comparação à capacidade hidrotérmica baiana de 2013, e a produção de eletricidade poderá aumentar até quase sete vezes. Além disto, os indicadores de sustentabilidade apresentam-se excelentes: ganhos socioeconômicos com investimentos entre R\$ 132 bilhões e R\$ 240 bilhões e a criação/manutenção entre 17.450 e 33.850 empregos; e ganhos ambientais de redução de GEE entre 13,0 e 20,8 Gt de CO₂-eq e economia de água entre 90,9 e 152,9 trilhões de litros para as UHE da CHESF.

Considerando-se exclusivamente a energia eólica até 2050, estimou-se que esta pode vir a suprir entre 49,2% e 122,1% da demanda elétrica baiana, representando entre 2,9% e 7,3% da demanda elétrica nacional no ano de 2050. Como ganhos econômicos, os investimentos poderão

Este estudo indica que o estado da Bahia apresenta condições excepcionais para a expansão da geração elétrica por meio de energia eólica, solar e de biomassa devido ao amplo potencial de fontes disponíveis

As economias dos municípios do interior do Bahia poderão ser dinamizadas através de recursos oriundos dos arrendamentos de propriedades rurais

totalizar entre R\$ 77,7 bilhões e R\$ 108,8 bilhões. Como ganhos sociais, poderão ser criados e mantidos entre 7.500 e 10.500 postos de trabalho. Como ganhos ambientais, poderá haver redução de GEE entre 10,1 e 14,1 Gt de CO₂-eq e economia de água entre 69,2 e 96,9 trilhões de litros para as UHE da CHESF no ano de 2050.

Considerando-se apenas a energia solar fotovoltaica até 2050, estimou-se que esta pode vir a suprir entre 13,9% e 57,6% da demanda elétrica baiana, representando entre 0,8% e 3,5% da demanda elétrica nacional no ano de 2050. Como ganhos econômicos, os investimentos poderão ser entre R\$ 52,2 bilhões e R\$ 121,7 bilhões. Como ganhos sociais, poderão ser criados e mantidos entre 9.900 e 23.100 postos de trabalho. Como ganhos ambientais, poderá haver redução de emissões de GEE entre 2,9 e 6,7 Gt de CO₂-eq e economia de água entre 19,6 e 45,7 trilhões de litros para as UHE da CHESF no ano de 2050.

Considerando-se exclusivamente a bioeletricidade até 2050, estimou-se que esta pode vir a suprir entre 1,4% e 13,0% da demanda elétrica baiana, representando entre 0,09% e 0,78% da demanda elétrica nacional no ano de 2050. Como ganhos econômicos, os investimentos poderão ser entre R\$ 1,85 bilhão e R\$ 9,25 bilhões. Como ganhos sociais, poderão ser criados e mantidos entre 50 e 250 postos de trabalho. Como ganhos ambientais, poderá haver economia de água entre 2,1 e 10,4 trilhões de litros para UHE da CHESF no ano de 2050.

O potencial de investimentos ao longo dos anos poderá trazer um incremento positivo ao Produto Interno Bruto (PIB) baiano e favorecer o processo de industrialização por meio de novas cadeias produtivas de energias eólica e solar. Também pode ser a oportunidade para universidades e centros de pesquisa estaduais realizarem pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias adaptadas às peculiaridades das energias renováveis no Brasil. As economias dos municípios do interior do Bahia poderão ser dinamizadas através de recursos oriundos dos arrendamentos de propriedades rurais. Além disto, a critério das empresas e do governo, poderão ser criados programas de responsabilidade social voltados para a melhoria da condição de vida das populações carentes no entorno dos parques geradores.

A economia de água poderá ser uma contribuição significativa em relação à preservação ou à melhoria das condições hidrológicas da bacia do Rio São Francisco e das demais funções desta (abastecimento humano, irrigação, dessedentação de gado etc.).

É possível constatar que os potenciais de geração elétrica eólica e solar fotovoltaica são muito superiores aos de bioeletricidade, mas isto não implica redução da relevância desta fonte, que pode ser usada

para compensar parte das intermitências das energias eólica e solar. A bioeletricidade tem implicações socioambientais positivas e continua sendo uma alternativa de diversificação da geração elétrica, no entanto, as políticas públicas governamentais focadas na bioeletricidade precisam ser aprimoradas, uma vez que a este potencial ainda se encontra subutilizado.

A Bahia tem condições de se tornar exportadora de energia elétrica para o SIN, desde que as circunstâncias e os quantitativos de contratação em leilões definidos neste estudo permaneçam relativamente estáveis ao longo dos anos, dentro das condições do PNE 2050 e considerando a geração conjunta de energias eólica, solar fotovoltaica e de biomassa. O planejamento energético nacional e os leilões realizados pelo governo federal mantiveram condições plenamente factíveis para este estudo até o ano de 2015, indicando que a política vigente estava relativamente adequada para potencializar empreendimentos de energias renováveis na Bahia. Entretanto, em 2016, não houve realização de LER e, em 2017, houve dois leilões em dezembro. Além disto, o MME divulgou que vai reformular o marco legal do SEB. Estes fatores trazem incertezas sobre: a continuidade das contratações de energias renováveis via leilões; a segurança jurídica em relação aos investimentos já feitos e futuros; e a sustentabilidade econômica para a implantação de cadeias produtivas completas para energias eólica e solar fotovoltaica no país.

A inserção de novas energias renováveis no Brasil e na Bahia mostra-se benéfica, pois traz consequências bastante positivas: maior segurança energética nacional; dinamização da economia; geração de emprego e renda; economia de água e redução de emissões GEE. Assim, é desejável que o país continue estimulando a expansão destas energias renováveis e aprimorando seu planejamento e políticas públicas em prol deste objetivo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Informações técnicas*. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/big-banco-de-informacoes-de-geracao/655808>. Acesso em: 26 jul. 2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). *Informações Técnicas*, Brasília, 2017a. Disponíveis em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 14 nov. 2017.

A inserção de
novas energias
renováveis
no Brasil e na
Bahia mostra-
se benéfica,
pois traz
consequências
bastante
positivas

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Informações Técnicas, Brasília, 2017b. Disponíveis em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/ResumoEstadual.cfm>>. Acesso em 14 nov. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. *Solar*: 1 GWp para começar. São Paulo: ABSOLAR, 2014. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/solar-1-gwp-para-comecar.html>>. Acesso em 26 jun. 2017.

BAHIA. Subsecretaria de Ciência e Tecnologia. *Potencial de energia solar do estado da Bahia*. Salvador: SSCT, 1979a.

_____. *Potencial eólico do estado da Bahia*. Salvador: SSCT, 1979b.

BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DA BAHIA 2014: Série 1997-2013. Salvador: Seinfra, 2014.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2017: ano-base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Relatório Síntese.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

BIG - BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO. *Capacidade de geração do Brasil*. Brasília: Aneel, 2017a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 26 jun. 2017.

_____. *Capacidade instalada por Estado*: usinas de divisa computadas em ambos os Estados. Brasília: Aneel, 2017b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/ResumoEstadual.cfm>>. Acesso em 26 jun. 2017.

BOLETIM ANUAL DE GERAÇÃO EÓLICA 2016. São Paulo: ABEEólica, maio 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Aprimoramento do marco legal do setor elétrico*. Brasília: MME, 2017. (Nota Técnica nº 5/2017/Aereg/SE). Disponível em: <http://www.paranoaenergia.com.br/wp-content/uploads/2017/07/ConsultaMME.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2017.

_____. *Energia solar no Brasil e no mundo*: ano de referência 2015. Brasília: MME, 2016.

_____. *Energia eólica no Brasil e no mundo*. Brasília: MME, 2014.

CAMARGO SCHUBERT. *Atlas eólico*: Bahia. Salvador: SENAI CIMATEC, 2013.

SAUAIA, Rodrigo Lopes. A hora e a vez da energia solar. *Canal Jornal da Bioenergia*, Goiânia, 2017. Entrevista. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/entrevistaa-hora-e-vez-da-energia-solar/>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

CENTRO DE PESQUISAS EM ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas do potencial eólico brasileiro*. Brasília: CEPEL, 2001.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. *Perguntas frequentes: FAQ solar*. 2012. Disponível em: <[www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid\[\]=2&catid\[\]=5](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid[]=2&catid[]=5)>. Acesso em: 19 jun. 2017.

DE JONG, Pieter et al. Solar and wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil. *Renewable and Sustainable-Energy Reviews*, [S.l.], v. 23, p. 526-535, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Demanda de energia 2050*. Rio de Janeiro: EPE, 2014. (Série Estudos da demanda de energia. Nota técnica DEA 13/14).

_____. *Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira*. Rio de Janeiro: EPE, maio 2012. (Nota Técnica EPE).

_____. *Proposta para a expansão da geração eólica no Brasil*. Rio de Janeiro: EPE, fev. 2009. (Nota Técnica PRE 01/2009-r0).

IMPERIAL, Lucas da Costa Corte; PEREIRA, Osvaldo Lívio Soliano. Análise do potencial do recurso solar na Bahia a partir de software de informação geográfica baseado na WEB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 5., 2014, Recife. *Anais...* Recife: CBENS, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. *Perspectives for the energy transition: investment needs for a low-carbon energy system*. Paris: IEA; Abu Dhabi: IRENA, 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Renewable energy: medium-term market report 2014: market analysis and forecasts to 2020*. IEA: Paris, 2014a.

_____. *Technology roadmap: solar photovoltaic energy: executive summary*. Paris: IEA, 2014b.

_____. *Technology roadmap: wind energy*. Paris: IEA, 2013.

_____. *Technology roadmap: bioenergy for heat and power-foldout*. Paris: IEA, 2012.

LEONI, Pedro Nery et al. Projeto híbrido eólico-solar: uma maneira de aumentar a competitividade e ampliar a penetração de projetos solares de grande porte. *Revista O Setor Elétrico*, São Paulo, n. 134, p. 59-66, jun. 2017.

MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. *Energy Policy*, [S.l.], v. 39, n. 7, p. 4378-4390, July 2011.

MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno; ECHER, Mariza Pereira de Souza. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário - o Projeto SWERA. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 145-159, 2004.

MELO, Elbia. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 27, n. 77, 2013.

PEREIRA, Enio Bueno. Segurança Energética: perspectivas no enfrentamento às mudanças climáticas globais. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DO INCT PARA MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 1., 2016, São Paulo. *Anais...* São Paulo: FAPESP, 2016. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/eventos/2016/09/inct/ENIO.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

PEREIRA, Enio Bueno et al. *Atlas brasileiro de energia solar*. São José dos Campos: INPE, 2006.

PEREIRA, Osvaldo Lívio Soliano; FIGUEIREDO, Maria das Graças Pimentel. Um futuro energético sustentável para a Bahia. *Revista Desenbahia*, Salvador, v. 5, n. 10, p. 145-164, mar. 2009.

REN21. *Renewables 2017: global status report*. Paris: [s.n.], 2017.

SANTOS, José Alexandre Ferraz de Andrade, TORRES, Ednildo Andrade. Projeções de aumento da geração elétrica via bioeletricidade no estado da Bahia. In: ENCUENTRO REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÈ, 17., 2017, Ciudad del Este. *Anais...* Ciudad del Este: Eriac, 2017.

_____. Projeções de expansão da geração elétrica por meio da energia eólica no estado da Bahia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY APPLICATIONS, 12., 2016, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INDUSCON, 2016a.

_____. Projeções da ampliação da geração elétrica através da energia solar fotovoltaica na Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 10., 2016, Gramado. *Anais...* Gramado: CBPE, 2016b.

SANTOS, José Alexandre Ferraz de Andrade, TORRES, Ednildo Andrade. Expansão da geração elétrica na Bahia até 2050 com base nas novas energias renováveis. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 3., 2016, Foz do Iguaçu; SEMANA OFICIAL DA ENGENHARIA E AGRONOMIA, 73., 2016, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: CONTEC, 2016c.

SANTOS, José Alexandre Ferraz de Andrade. *Planejamento energético para a Bahia em 2050: cenários e discussões relacionados às energias renováveis para geração de eletricidade*. 2015. 246 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

SILVA, Glauciene Justino Ferreira da; SEVERO, Thiago Emmanuel Araújo. Potencial/aproveitamento de energia solar e eólica no semiárido nordestino: um estudo de caso em Juazeiro-BA nos anos de 2000 a 2009. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 5, n. 3, p. 586-599, out. 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Coord.). *Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica*. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

TORRES, Ednildo Andrade; FROTA, Francisco Ivaldo A.; OLIVEIRA, Hermano Peixoto de. *Bahia: avaliação do potencial dos resíduos vegetais para fins energéticos* RL 83-007-09-PE-0. Camaçari, BA: PROENERGIA: FINEP: CEPED, 1983.

Resumo

Este artigo discute a geração de empregos nas etapas de construção e de operação de parques eólicos no semiárido brasileiro. O objetivo principal é revelar indícios de que a implantação e a posterior operação de parques eólicos, nos moldes em que vêm ocorrendo no semiárido brasileiro, podem não ser vetores de desenvolvimento local, especialmente no que diz respeito à geração de emprego e renda em caráter duradouro. Esta análise está baseada em informações e dados colhidos em trabalhos de campo e junto à base de dados RAIS-Caged do Ministério do Trabalho e Emprego, além de vistas técnicas e entrevistas realizadas com importantes atores do processo de implantação e operação de parques eólicos no Nordeste brasileiro. A partir da análise dos dados colhidos concluiu-se que a operação de parques eólicos caracteriza-se como uma atividade intensiva em capital, e não em mão de obra, exceto na etapa da construção, quando há geração de relevante quantidade de empregos.

Palavras-chave: Energia eólica. Semiárido brasileiro. Parques eólicos. Geração de empregos. Desenvolvimento local.

Abstract

This paper intends to discuss the job creation in the construction and operation stages of wind farms in the Brazilian semi-arid region. The main objective is to show that there are indications that the implantation and subsequent operation of wind farms, in the way they are happening in the Brazilian semi-arid region, may not be a way to achieve local development, especially with regard to the job creation and income. This analysis is based on: information and data collected in fieldwork and in the RAIS-Caged database of the Ministry of Labor and Employment, technical visits, interviews with important actors involved in the implementation and operation of wind farms in northeast region of Brazil. From the analysis of the data collected, it is possible to conclude that the operation of wind farms is characterized as an activity intensive in capital and not labor, except in the construction phase, when there is a relevant creation quantity of jobs.

Keywords: Wind power. Brazilian semi-arid. Wind farms. Generation of jobs. Local development.

Implantação de parques eólicos no semiárido brasileiro e a promessa da geração de empregos

MARIANA TRALDI

Mestre em Geografia, pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); doutoranda em Geografia, pela Unicamp; graduada em Ciências Sociais e Jurídicas, pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) e graduada em Geografia, pela Unicamp. Professora e pesquisadora do Instituto Federal de São Paulo (IFSP-Hortolândia) e integrante do Grupo de Estudo e Pesquisa em Energias Renováveis e Eficiência Energética (GEPEREE). mariana.traldi@ifsp.edu.br; mariana.traldi@ige.unicamp.br

OS PARQUES EÓLICOS chegam ao semiárido brasileiro com a promessa, feita por empresas e governos estaduais e municipais, de que empregos serão gerados nos lugares de implantação. O discurso da empregabilidade em geral vem associado à tese do desenvolvimento local, atualmente muito presente nas políticas públicas no Brasil, nas esferas municipal, estadual e federal. Esta tese está baseada na proeminência da escala local em detrimento das escalas regional e nacional, e, em linhas gerais, está associada à existência de um processo endógeno capaz de promover certo dinamismo econômico em nível local, o que resultaria na geração de renda e na melhora da qualidade de vida das pessoas (BRANDÃO, 2007; BUARQUE, 2002).

A implantação de grandes estruturas, como os parques eólicos, para geração de energia elétrica no semiárido brasileiro parece ser um desses processos capazes de promover o dinamismo econômico local através da geração de emprego e renda.

Neste artigo, o principal objetivo é mostrar que os parques eólicos geram empregos nos lugares de implantação, mas não na proporção prometida

A literatura existente sobre o tema no Brasil aponta neste sentido quando afirma que a energia eólica contribui com o desenvolvimento socioeconômico em nível regional e local (SIMAS, 2012; SIMAS; PACCA, 2013). Os autores que advogam neste sentido explicam que, em nível local, a maior contribuição dos parques eólicos seria a geração de empregos em duas fases distintas: na primeira, durante a construção dos parques, os empregos são mais numerosos, mas temporários; já na segunda fase, quando os parques entram em funcionamento, começam as etapas de operação e manutenção, quando os postos de emprego são menos numerosos, mas permanentes, pois são mantidos durante todo o tempo de vida útil do projeto. De acordo com Simas (2012, p. 165), “ambas as atividades têm alto potencial para a geração de empregos no nível local”, sendo seu principal desdobramento a geração de renda muitas vezes em “localidades rurais com baixas oportunidades de crescimento econômico”.

Neste artigo, o principal objetivo é mostrar que os parques eólicos geram empregos nos lugares de implantação, mas não na proporção prometida. Este trabalho faz uso de fontes de dados diversas daquela usada por Simas (2012) e Simas e Pacca (2013). A metodologia de trabalho esteve fundada na realização de pesquisas de campo e visitas técnicas e no levantamento de dados disponíveis na plataforma RAIS-Caged do Ministério do Trabalho e Emprego. A partir desta pesquisa e da análise dos resultados, acredita-se que a geração de empregos nos lugares de implantação dos parques eólicos, especialmente a partir do início da fase de operação desses parques, não é tão importante quanto se pensava.

METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta pesquisa foi desenvolvida entre os anos 2012 e 2014 e adotou uma metodologia de trabalho a partir dos estudos realizados por Simas (2012) e Simas e Pacca (2013), que afirmavam que, em nível local, a geração de empregos em decorrência da implantação de parques eólicos no Brasil se daria em duas fases distintas, sendo a primeira fase, a de construção, com empregos mais numerosos, mas temporários, e a segunda fase, a de operação, com empregos menos numerosos, mas permanentes.

Assim, este estudo dividiu-se em duas etapas. Na primeira realizaram-se trabalhos de campo em dois municípios do semiárido brasileiro onde existem parques eólicos em construção e em operação, João Câmara (RN) e Caetité (BA). Nestes municípios foram visitadas áreas de implantação de parques eólicos e parques eólicos em funcionamento, e entrevistados proprietários de terrenos arrendados para geração de ener-

gia eólica, funcionários de empresas proprietárias de parques eólicos, funcionários do poder público municipal e, no caso do estado do Rio Grande do Norte, também do poder público estadual, além de donos de restaurantes e pousadas, corretores imobiliários, profissionais ligados às empresas de consultoria especializadas em elaborar relatórios de impacto ambiental e social para implantação de parques eólicos e funcionários de instituições públicas e privadas que trabalham na formação de mão de obra para atuar na manutenção de equipamentos eólicos. Nesta etapa objetivou-se identificar as atividades econômicas cuja dinamização pode estar associada à construção e, posteriormente, à operação de parques eólicos. Entre as atividades identificadas estão: a construção civil e os serviços de manutenção, segurança, alimentação e hotelaria. Importante dizer que a construção de parques eólicos no semiárido atraiu uma série de empresas ligadas a: construção civil, operação e manutenção de parques eólicos, o que fez aumentar a demanda por hotéis e pousadas para estadia e moradia temporária de funcionários, e também elevou a demanda por restaurantes.

Na segunda etapa da pesquisa, a partir da identificação das atividades econômicas que ganharam impulso com a construção e a operação de parques eólicos nos municípios de João Câmara (RN) e Caetité (BA), iniciou-se o levantamento de dados de vínculos empregatícios junto à base de dados RAIS-Caged do Ministério do Trabalho e Emprego. O objetivo nesta etapa foi verificar se a implantação e a operação de parques eólicos nestes municípios tinham, de fato, gerado novos postos de emprego nas atividades identificadas na primeira fase da pesquisa. Realizou-se o levantamento dos vínculos empregatícios para ambos os municípios, no período que antecedeu a construção dos parques e durante o tempo em que perduraram as obras de construção destes. Contudo, no caso de Caetité (BA) e João Câmara (RN), não era possível analisar a conservação e/ou geração de empregos após o fim das obras de construção, quando haveria apenas a operação dos parques, pois em ambos os municípios ainda existiam obras de construção de parques em andamento à época da pesquisa. Por isso, na segunda etapa da pesquisa, o levantamento foi realizado quanto à empregabilidade dos parques eólicos para as mesmas atividades identificadas na primeira etapa também para os municípios de Guamaré (RN) e Beberibe (CE). Diferentemente de Caetité (BA) e João Câmara (RN), que ainda contavam com parques em construção e outros tantos outorgados à época do desenvolvimento deste trabalho, em Guamaré (RN) e Beberibe (CE) não existiam mais parques eólicos em construção, apenas em operação. Ao fazer esta comparação objetivou-se mostrar, do ponto de vista da manutenção dos empregos gerados no período das obras, um futuro possível para os municípios que ainda tinham parques eólicos em construção.

O objetivo nesta etapa foi verificar se a implantação e a operação de parques eólicos nestes municípios tinham, de fato, gerado novos postos de emprego nas atividades identificadas na primeira fase da pesquisa

A etapa da construção de um parque eólico compreende a abertura de vias de acesso, a construção de plataformas e das bases, a montagem dos aerogeradores e a construção de subestações e linhas de transmissão

PRIMEIRA ETAPA DA PESQUISA: TRABALHO DE CAMPO E LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES GERAIS

Etapa da construção dos parques eólicos

A etapa da construção de um parque eólico compreende a abertura de vias de acesso, a construção de plataformas e das bases, a montagem dos aerogeradores e a construção de subestações e linhas de transmissão. Esse período dura, em média, um ano, podendo chegar a dois anos, a depender das dificuldades encontradas e do tamanho do parque. Durante as obras civis, na primeira etapa, que envolvem a terraplanagem, a fundação e a pavimentação do complexo, ou seja, a preparação do terreno para que as torres sejam afixadas, há relevante geração de empregos temporários.

Segundo Marcelo Arruda, funcionário da empresa Gestamp¹, proprietária de parques eólicos no estado do Rio Grande do Norte, durante o período das obras – que duram, aproximadamente oito meses – há geração de, mais ou menos, 100 empregos diretos e cerca de 300 indiretos por parque em construção, a depender do tamanho deste. Somente a secagem da fase de concretagem dura em torno de um mês. Ainda assim, a mão de obra contratada nem sempre é local, já que há demanda por muitos trabalhadores com habilidades para a construção civil em um mesmo período. Isso porque a construção dos diversos parques eólicos das mais diversas empresas ocorre concomitantemente nos municípios de elevado potencial eólico. Em se tratando de municípios pequenos que dispõem de uma quantidade limitada de mão de obra especializada na construção civil, é necessária a importação de trabalhadores provenientes de outros lugares.

Após o fim das obras civis, as vagas de emprego relacionadas à construção dos parques são fechadas. Na etapa seguinte, quando são montados os equipamentos (período que tem duração de pouco mais de quatro dias por torre), atuam apenas os projetistas do parque e os funcionários da empresa fabricante dos aerogeradores. De acordo com o funcionário da Gestamp, Juan Castro², responsável técnico pelos parques eólicos Cabeçu Preto I e IV, localizados em João Câmara (RN), são necessários, em média, dois dias para a montagem das turbinas, um dia para a montagem da torre com a nacelle e mais um dia para a montagem das pás. Importante ressaltar que o tempo de execução desta etapa é determinado pelo número de equipamentos que serão instalados.

1 Entrevista realizada no escritório da empresa localizado no município de Natal (RN) em 09/07/2013.

2 Ele participou do processo de construção do parque enquanto ainda era funcionário da empresa Vestas.

O trabalho de campo realizado no município Caetité (BA)³ revelou realidade muito similar à verificada em João Câmara (RN), onde a geração de empregos que decorreu da implantação dos parques eólicos em caráter longo prazo foi reduzida, e muitos trabalhadores, em especial aqueles qualificados, vieram de outras localidades para a execução das obras de construção. Em canteiros de obras da empresa Renova Energia, por exemplo, localizados em Caetité (BA), muitos dos operadores de máquinas e caminhões, que vinham atuando na etapa das obras civis, eram oriundos do estado de Santa Catarina, conforme informado pelos próprios trabalhadores em trabalho de campo⁴. De acordo com estes funcionários, a dificuldade das empresas para encontrar localmente trabalhadores qualificados para operação de máquinas, tratores e caminhões explica a contratação de mão de obra de outras regiões. No caso específico Renova Energia, houve a subcontratação do consórcio MGT (formado pelas empresas DM Construtora e TKK Engenharia), especializado na preparação de terrenos. Esta empresa contratou funcionários especializados na operação de máquinas – que devem retornar para seu estado de origem com o fim das obras – para trabalhar nas obras civis dos parques.

Há também um grande deslocamento de trabalhadores que saem de diversas regiões do estado ou até de estados vizinhos para trabalhar nas obras. Esta mão de obra, ainda que passe a residir provisoriamente no município, pelo espaço de tempo que permanece, pressiona o custo de vida, elevando os preços de gêneros de primeira necessidade e dos aluguéis, conforme apontado pelo secretário de Infraestrutura do município de Caetité, Nilo Joaquim de Azevedo⁵.

Indiretamente, como observa Simas (2012), a implantação dos parques eólicos é geradora de empregos nas áreas de alimentação e hotelaria, o que resulta em certa dinamização da economia nos municípios. Em João Câmara (RN), por exemplo, houve expansão no número e no porte das pousadas, cuja finalidade era atender à enorme demanda de funcionários das empresas do setor eólico. Entretanto, estas atividades estão ligadas diretamente à existência de parques em construção, fase em que há maior geração de empregos. Com o fim das obras, há redução no número de empregados nos parques, reduzindo-se assim também a demanda por estes serviços.

A implantação dos parques eólicos é geradora de empregos nas áreas de alimentação e hotelaria, o que resulta em certa dinamização da economia nos municípios

3 Trabalho de campo realizado em 23 e 24/07/2013.

4 Trabalho de campo realizado no município de Caetité (BA) em 24/07/2013.

5 Entrevista realizada em 22/07/2013, na Secretária de Infraestrutura do município de Caetité (BA).

Após a construção e implantação do parque e sua entrada em operação há reduzida geração de empregos, como se verifica nos trabalhos de campo realizados no estado do Rio Grande do Norte e da Bahia

Etapa de operação dos parques eólicos

Após a construção e implantação do parque e sua entrada em operação há reduzida geração de empregos, como se verifica nos trabalhos de campo realizados no estado do Rio Grande do Norte e da Bahia. Em geral, os parques eólicos em operação precisam de um segurança armado e um técnico, responsável por acompanhar a produção de energia e verificar possíveis problemas. Conforme verificado em trabalho de campo, a estrutura de um parque eólico é relativamente simples e muito similar em todos os lugares visitados, resumindo-se a um escritório, onde trabalha o técnico responsável pelo parque, à cabine do segurança, às torres e à subestação do parque.

Os parques eólicos recebem, periodicamente, visitas da equipe de manutenção, pertencente à empresa fabricante do equipamento. Essa equipe conta com quatro ou cinco funcionários, em média, e é itinerante, sendo responsável pela cobertura de uma área, estipulada pela empresa fabricante dos aerogeradores, que engloba diversos municípios onde existem parques eólicos operando com seus equipamentos⁶.

As equipes de manutenção são responsáveis pelos serviços de manutenção e também pelo acompanhamento do comportamento dos equipamentos e da produção de energia; realizam visitas semanais aos parques e também atuam nas emergências para troca de peças que venham a apresentar defeitos, além de realizar as revisões periódicas para apertar parafusos, trocar freios, lubrificar os equipamentos, realizar as trocas anuais de óleo e a limpeza das máquinas.

Essas equipes atuam também na fase de operação dos parques eólicos, com técnicos responsáveis pelo monitoramento dos impactos ambientais e sociais, uma exigência da Aneel. Esse monitoramento é de responsabilidade dos donos dos parques que, em geral, subcontratam empresas especializadas na execução destes serviços.

SEGUNDA ETAPA DA PESQUISA: LEVANTAMENTO DE DADOS NA PLATAFORMA RAIS-CAGED A PARTIR DAS DIRETRIZES ESTABELECIDAS NA PRIMEIRA ETAPA

Os dados levantados junto à base de dados do Ministério do Trabalho e Emprego apontam para a mesma direção que os trabalhos de campo e as visitas técnicas realizados na primeira etapa da pesquisa: a geração de empregos locais em parques eólicos é bastante reduzida após o fim

6 Entrevista realizada no escritório dos Parques Eólico Cabeçu Preto I e IV, em João Câmara (RN) em 18/07/2013, com o supervisor de manutenção da Vestas, Jorge Fernandes.

das obras de construção. Ao contrário de Simas (2012) e Simas e Pacca (2013), buscou-se como fonte de dados a plataforma RAIS-Caged, do Ministério do Trabalho e Emprego, com o objetivo de verificar se haveria crescimento no número de vínculos empregatícios nos municípios onde parques eólicos estão sendo implantados e, em caso positivo, em que proporção.

Importante ressaltar que, embora a plataforma RAIS-Caged seja uma das mais importantes fontes de dados sobre trabalho e emprego no Brasil, possibilitando a consulta em nível de estabelecimento, de forma tempestiva, com caráter censitário e análise de séries históricas, ela apresenta limitações, como omissões, erros nas declarações e atraso nas respostas por parte de uma parcela de empregadores. Porém, a mais importante de suas fragilidades é a irrisória penalidade para empregadores que não inserem os dados de seus funcionários na plataforma, embora seja procedimento obrigatório, por força de lei, a inserção das informações dos funcionários.

A partir dos trabalhos de campo e das visitas técnicas, observou-se que a implantação de parques eólicos tem potencial para a geração de empregos, no entanto, buscou-se verificar se eles, de fato, são empregos longevos gerados localmente, ou se são postos de trabalho temporários ocupados por trabalhadores provenientes de outras localidades.

João Câmara (RN) e Caetité (BA): parques eólicos em construção e em operação

No município de João Câmara (RN), os parques eólicos começaram a ser construídos em 2009, quando foram contratados os primeiros projetos para o município no segundo Leilão de Energia de Reserva (LER)⁷, de 2009.

Tabela 1

Número de vínculos empregatícios por ano - João Câmara (RN) - 2006-2012

Ano	População	Nº de vínculos
2006	31.757	1.421
2007	30.333	1.878
2008	31.332	2.135
2009	31.518	2.224
2010	32.227	2.529
2011	32.456	2.962
2012	32.677	2.753

Fonte: IBGE (2014), Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a), STN (BRASIL, 2014b).
Elaboração própria.

7 Leilão restrito à fonte eólica, realizado em 25 de novembro de 2009, com prazo inicial de suprimento a partir de 1º de julho de 2012, na modalidade por quantidade de energia e contratos com prazo de duração de 20 anos.

Buscou-se como fonte de dados a plataforma RAIS-Caged, do Ministério do Trabalho e Emprego, com o objetivo de verificar se haveria crescimento no número de vínculos empregatícios nos municípios onde parques eólicos estão sendo implantados

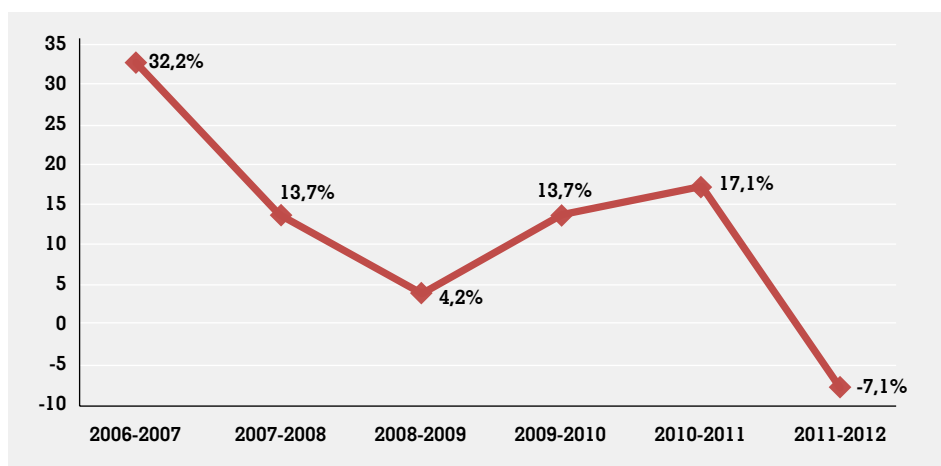
A partir do dado mais geral, que indica aumento de vínculos empregatícios no município para o período analisado, passa-se a analisar a qualidade destes vínculos

De acordo com a Tabela 1, a partir de 2009 percebe-se que houve um aumento no número de vínculos empregatícios totais. Em 2009 eram 2.224 vínculos, já em 2012 esse número chegou a 2.753, adicionando um total de 529 novos vínculos empregatícios. Importante ressaltar, entretanto, que haviam sido criados 2.962 novos vínculos em 2011, número este que sofreu queda de 209 vínculos em 2012.

No Gráfico 1, que mostra a evolução do crescimento do número de vínculos empregatícios, verifica-se que, entre 2009 e 2010, período em que tiveram início as obras de construção dos primeiros parques eólicos no município, o crescimento do número de vínculos foi de 13,71%, o que representou um aumento de 305 novos vínculos empregatícios em relação ao período anterior. Entre 2010 e 2011, o número de vínculos teve um crescimento ainda mais relevante, de 17,12%, representando um total de 433 vínculos novos. Contudo, entre 2011 e 2012 houve decréscimo de -7,06%, no número de vínculos, havendo redução de 209 vínculos em relação ao período anterior. No acumulado, entre 2009 e 2012 houve um aumento de aproximadamente 23,8% no número total de vínculos empregatícios.

Gráfico 1

Evolução do crescimento do número de vínculos empregatícios - João Câmara (RN) - 2006/2007-2011/2012



Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a). Elaboração própria.

A partir do dado mais geral, que indica aumento de vínculos empregatícios no município para o período analisado, passa-se a analisar a qualidade destes vínculos. De acordo com a Tabela 2, os tipos de vínculo empregatício que predominaram entre 2009 e 2012 foram: trabalhador urbano celetista por tempo indeterminado, que, com alguma variação, representou em torno de 65% a 70% de todos os vínculos para todos os anos analisados, e os servidores públicos, que representaram em torno de 25% a 33% dos vínculos empregatícios existentes no município também para todos os anos. Juntos, eles representaram, em 2012, 96,7% de todos os vínculos empregatícios, média que vinha repetindo-se, com alguma variação, desde 2009.

Tabela 2

Participação dos tipos de vínculos empregatícios no total destes - João Câmara (RN) - 2009-2012

Tipo de vínculo	(em %)			
	2009	2010	2011	2012
Trabalhador urbano celetista (tempo indeterminado)	65,65	64,29	68,23	70,98
Servidor público (efetivos e não efetivos)	33,00	32,62	29,41	25,72
Trabalhador urbano celetista (tempo determinado/obra certa)	0,36	1,39	1,38	2,58
Trabalhador rural (tempo indeterminado)	0,76	1,07	0,57	0,73
Trabalhador temporário	0	0	0,03	0
Trabalhador rural celetista (por tempo determinado ou obra certa)	0	0	0	0
Diretor de empresa sem vínculo empregatício	0,22	0,63	0,37	0

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a). Elaboração própria.

Dentre os dois principais tipos de vínculo empregatício existentes em João Câmara (RN), expostos na Tabela 2, o que apresentou maior crescimento, entre 2009 e 2012, foi o de trabalhador urbano celetista, que teve incremento de 33,84%, o que representou um acréscimo real de 494 novos vínculos. Já o vínculo de servidor público acumulou um crescimento negativo de -3,54% para o mesmo período, resultando em um decréscimo de 26 vínculos. Ainda assim, o vínculo de servidor público foi extremamente representativo no município, correspondendo a 25,72% do total de vínculos em 2012. A Tabela 3 confirma a importância da administração pública na empregabilidade no município, pois, embora tenha apresentado queda, foi o setor que mais empregou em João Câmara (RN). Estes vínculos, no entanto, não têm relação direta com a construção de parques eólicos no município.

Tabela 3

Distribuição do número de vínculos empregatícios por setor do IBGE - João Câmara (RN) - 2009-2012

Setor do IBGE	2009	2010	2011	2012
Administração pública	1.014	1.107	1.147	974
Comércio	686	757	860	852
Serviços	212	241	323	346
Indústria de transformação	166	188	204	332
Construção civil	79	155	367	191
Extrativa mineral	20	23	26	30
Agropecuária, extração vegetal, caça e pesca	41	50	21	24
Serviços industriais de utilidade pública	6	8	14	4
Total	2.224	2.529	2.962	2.753

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a). Elaboração própria.

Os setores de comércio e serviços são o segundo e o terceiro mais importantes, respectivamente, em empregabilidade no município. O setor da construção civil, que tinha previsão de crescimento em empregabilidade no período analisado em decorrência da construção de parques eólicos, embora tenha apresentado expressivo aumento entre 2009 e 2011 - com acúmulo de 288 novos vínculos -, sofreu queda de 176 vínculos em 2012. Como resultado, o aumento, entre 2009 e 2012, foi de 112 novos vínculos empregatícios no setor da construção civil.

Os setores de comércio e serviços são o segundo e o terceiro mais importantes, respectivamente, em empregabilidade no município

A partir desta pesquisa, foram identificadas as categorias que poderiam estar relacionadas à implantação e à operação de parques eólicos

Outro setor que pode estar relacionado com a instalação dos parques eólicos é o de serviços, que também obteve aumento no número de vínculos para o mesmo período, somando 176 novas vagas.

Para verificar quantos empregos criados no município entre 2009 e 2012 poderiam estar relacionados à implantação de parques eólicos foi realizado um levantamento do total de vínculos por subgrupo da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)⁸ (BRASIL, 2010). A partir desta pesquisa, foram identificadas as categorias que poderiam estar relacionadas à implantação e à operação de parques eólicos. A identificação destas foi realizada com base nas informações colhidas em trabalho de campo, que integrou a primeira etapa da pesquisa (Tabela 4).

Tabela 4

Vínculos empregatícios relacionados com a implantação de parques eólicos - João Câmara (RN)* - 2009-2012

Subgrupo da CBO	2009	2012	Total de novos vínculos entre 2009-2012
Trabalhadores dos serviços de hotelaria e alimentação	36	109	73
Trabalhadores da construção civil e obras públicas	47	120	73
Ajudantes de obras	57	91	34
Trabalhadores nos serviços de administração, conservação e manutenção de edifícios e limpeza	67	97	30
Trabalhadores de acabamento de obras	1	14	13
Supervisores da extração mineral e da construção civil	1	10	9
Supervisores de manutenção eletroeletrônica e eletromecânica	0	5	5
Técnicos em construção civil, de edificações e obras de infraestrutura	0	5	5
Técnicos em eletroeletrônica e fotônica	5	9	4
Técnicos de nível médio em operações industriais	0	2	2
Outros trabalhadores na reparação e manutenção de equipamentos	0	2	2
Supervisores dos serviços	0	1	1
Supervisores em serviços de reparação e manutenção mecânica	0	1	1
Outros trabalhadores da conservação e manutenção (exceto trabalhadores elementares)	0	1	1
Mecânicos de manutenção de máquinas e equipamentos industriais, comerciais e residenciais	3	3	0
Eletricistas eletrônicos de manutenção industrial, comercial e residencial	1	1	0
Montadores e instaladores de equipamentos eletroeletrônicos em geral	1	0	-1
Montadores de máquinas e aparelhos mecânicos	3	1	-2
Instaladores e reparadores de linhas e cabos elétricos e de comunicações	2		-2
Trabalhadores nos serviços de proteção e segurança	62	59	-3
Outros trabalhadores de serviços diversos	8	5	-3
Trabalhadores elementares da manutenção	25	17	-8
Total	319	553	234

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a). Elaboração própria.

*Distribuição do número de vínculos empregatícios por subgrupo, segundo a classificação CBO.

8 CBO 2.2.4 também chamada de CBO 2002.

De acordo com a Tabela 4, supondo que estas categorias tenham sido os subgrupos de ocupações relacionados com a construção e a operação dos parques eólicos, podem ter sido gerados, durante o período de estudo, em torno de 234 novos vínculos empregatícios, de um total de 529 novos vínculos no município para o período de 2009 a 2012, o que representa aproximadamente 44,2% do total de novos vínculos para o período em questão.

Ressalte-se que pelo menos 73, dos 234 novos vínculos, estão relacionados a ocupações nas áreas de hotelaria e alimentação, e que por isso podem ser extintos ou reduzidos posteriormente em decorrência do fim das obras de construção dos parques eólicos. Vale lembrar também que estes vínculos empregatícios podem ter sido gerados pela chegada dos parques eólicos, mas podem também ter sido gerados em decorrência de outra atividade.

No município de Caetité (BA), onde os parques eólicos começaram a ser construídos também em 2009, verificou-se um aumento no número de vínculos empregatícios entre 2009 e 2012. Em 2009 foram contabilizados 6.166 vínculos empregatícios, já em 2012 esse número chegou a 7.654, um aumento de 1.488 novos vínculos, conforme dados da Tabela 5.

Tabela 5

Número de vínculos empregatícios por ano - Caetité (BA) - 2006-2012

Ano	População	Nº de vínculos
2006	48.559	4.439
2007	46.414	4.964
2008	47.774	6.104
2009	48.007	6.166
2010	47.515	6.545
2011	47.647	7.361
2012	47.774	7.654

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a), STN (BRASIL, 2014b). Elaboração própria.

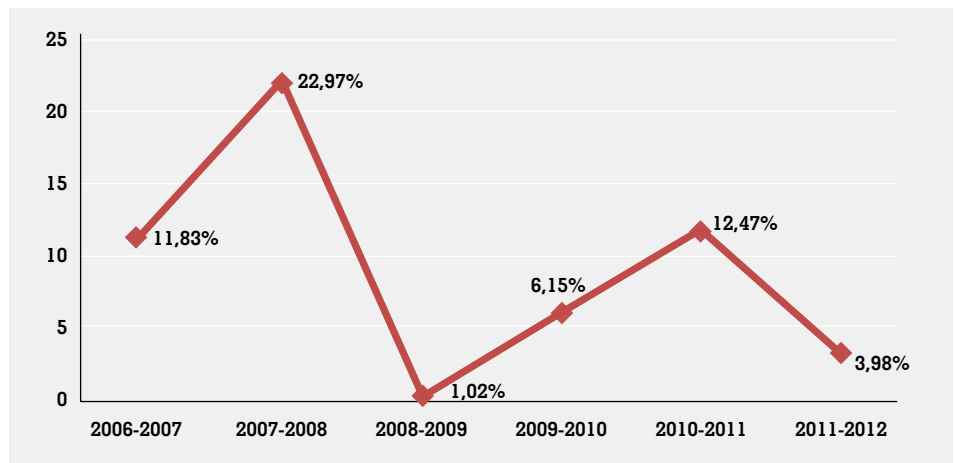
De acordo com o Gráfico 2, percebe-se que, entre 2009 e 2010, período em que tiveram início as obras de construção dos primeiros parques eólicos no município de Caetité (BA), o crescimento do número de vínculos empregatícios foi de apenas 6,15%, o que representou um aumento de 379 vagas de emprego no município. Entre 2010 e 2011, o número de vínculos teve crescimento mais relevante, de 12,47%, representando um total de 816 novos vínculos empregatícios. Entre 2011 e 2012, esse número encolheu novamente, sendo de apenas 3,98%, o que representou 293 novos vínculos. No acumulado, entre 2009 e 2012, houve um aumento de aproximadamente 24%, que se traduz em um aumento total de 1.488 novos vínculos empregatícios.

Vale lembrar também que estes vínculos empregatícios podem ter sido gerados pela chegada dos parques eólicos, mas podem também ter sido gerados em decorrência de outra atividade

Assim, do total de 1.488 novos vínculos empregatícios surgidos no período de 2009 a 2012, em Caetité (BA), 484 vínculos são do tipo servidor público, o que representa 32,52% do total de novos vínculos no período

Gráfico 2

Evolução do crescimento do número de vínculos empregatícios - Caetité (BA) - 2006/2007-2011/2012



Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a). Elaboração própria.

Quanto ao tipo de vínculo empregatício que predominou, de 2009 a 2012, destacam-se: o trabalhador urbano celetista por tempo determinado, que com alguma variação representou em torno de 74% e 76% de todos os vínculos para todos os anos, e os servidores públicos, que representaram em torno de 18% a 23% dos vínculos existentes no município para todos os anos (Tabela 6). Juntos, eles representaram, em 2012, 97,23% de todos os vínculos empregatícios, média que vinha repetindo-se, com alguma variação, desde 2009.

Dentre os dois principais tipos de vínculo empregatício expostos na Tabela 6, o que apresentou maior crescimento, entre 2009 e 2012, foi o de servidor público, que acumulou um crescimento de 37,75%, o que resultou em um acréscimo real de 484 novos vínculos. Já o trabalhador urbano celetista acumulou um crescimento de 23,55%, para o período de 2009 a 2012, o que representou um acréscimo de 1.081 novos vínculos (Tabela 6). Assim, do total de 1.488 novos vínculos empregatícios surgidos no período de 2009 a 2012, em Caetité (BA), 484 vínculos são do tipo servidor público, o que representa 32,52% do total de novos vínculos no período. Estes, no entanto, não têm relação direta com a construção de parques eólicos no município.

Tabela 6

Participação dos tipos de vínculos empregatícios no total de vínculos empregatícios - Caetité (BA) - 2009-2012 (em %)

Tipo de vínculo empregatício	2009	2010	2011	2012
Trabalhador urbano celetista (tempo indeterminado)	74,51	76,04	74,95	74,16
Servidor público (efetivo e não efetivo)	20,79	18,78	21,99	23,07
Trabalhador urbano celetista (tempo determinado)	0,03	1,16	1,86	1,34
Trabalhador rural (tempo indeterminado)	0,79	1,80	0,77	0,88
Trabalhador temporário	3,52	1,86	0,04	0,47
Diretor de empresa sem vínculo empregatício	0,31	0,32	0,37	0,05
Trabalhador rural celetista (tempo determinado/obra certa)	0,03	0,02	0,01	0,01

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a).
Elaboração própria.

Quanto aos setores do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que reuniram o maior número de vínculos empregatícios no município de Caetité (BA), destacaram-se: 1) a indústria de transformação; 2) a atividade de serviços, e 3) a administração pública. A construção civil, que se esperava estivesse entre os setores que reuniram um grande número de vínculos, ou ao menos um grande crescimento, não se comportou conforme o esperado (Tabela 7). Este setor apresentou aumento no número de vínculos entre 2009 e 2011, mas sofreu queda em 2012, ficando em patamar inferior ao registrado no ano de 2009. Isso quer dizer que, no período de 2009 a 2012, no setor da construção civil, houve uma redução no número de vínculos empregatícios.

Com base na Tabela 7 pode-se afirmar que apenas dois setores poderiam estar relacionados com a construção dos parques eólicos: o da construção civil, que sofreu decréscimo no número de vínculos empregatícios, no período de 2009 a 2012, e o de serviços, que apresentou aumento para o mesmo período, somando 495 novos vínculos entre 2009 e 2012.

Tabela 7

Distribuição do n. de vínculos empregatícios por setor do IBGE - Caetité (BA) - 2009-2012

Sector do IBGE	2009	2010	2011	2012
Indústria de transformação	1.645	1.927	2.106	2.139
Serviços	1.342	1.570	1.733	1.837
Administração pública	1.502	1.352	1.621	1.802
Comércio	1.014	1.164	1.395	1.387
Extrativa mineral	366	174	193	217
Construção civil	176	189	225	161
Agropecuária, extração vegetal, caça e pesca	121	169	88	111
Total	6.166	6.545	7.361	7.654

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a).
Elaboração própria.

Quando se analisa a distribuição dos vínculos empregatícios de acordo com CBO (BRASIL, 2010), tem-se uma melhor dimensão de quantos destes criados em Caetité (BA) podem ter sido em decorrência da instalação de parques eólicos.

A construção civil, que se esperava estivesse entre os setores que reuniram um grande número de vínculos, ou ao menos um grande crescimento, não se comportou conforme o esperado

O serviço público contribuiu em maior medida que os parques eólicos para o aumento de vínculos empregatícios no município

A Tabela 8 mostra os subgrupos (CBO) que apresentaram vínculos empregatícios em Caetité (BA) entre 2009 e 2012, com o objetivo de indicar, de forma ainda mais apurada, quantos destes podem ser resultantes da construção e operação dos parques eólicos no município.

De acordo com a Tabela 8, supondo-se que tenham sido estes os subgrupos de ocupações que estão relacionados com a construção e a operação dos parques eólicos, durante o período de 2009 a 2012, podem ter sido gerados em torno de 325 novos vínculos empregatícios, de um total de 1.488 novos vínculos para o mesmo período, o que representa 21,8% desse total.

Vale lembrar que a possível criação de novos vínculos pela chegada dos parques eólicos teria participação menor que o vínculo de servidor público, que foi de 32,52% no total de novos vínculos para o período. Assim, o serviço público contribuiu em maior medida que os parques eólicos para o aumento de vínculos empregatícios no município. Salienta-se ainda que, pelo menos, 207, dos 325 novos vínculos, estão relacionados a ocupações nas áreas de hotelaria e alimentação, que podem ser extintas ou reduzidas futuramente, em decorrência do fim das obras de construção de parques eólicos.

Tabela 8

Vínculos empregatícios relacionados com a implantação de parques eólicos - Caetité (BA)⁽¹⁾ - 2009-2012

Subgrupo da CBO	2009	2012	Total de novos vínculos entre 2009-2012
Trabalhadores dos serviços de hotelaria e alimentação	151	358	207
Ajudantes de obras	141	184	43
Trabalhadores de acabamento de obras	21	47	26
Trabalhadores nos serviços de proteção e segurança	148	172	24
Engenheiros, arquitetos e afins	20	42	22
Trabalhadores da construção civil e obras publicas	92	108	16
Mecânicos de manutenção de máquinas e equipamentos industriais, comerciais e residenciais	4	15	11
Técnicos em eletroeletrônica e fotônica	25	34	9
Técnicos em construção civil, de edificações e obras de infraestrutura	10	17	7
Eletricistas eletrônicos de manutenção industrial, comercial e residencial	1	6	5
Montadores de máquinas e aparelhos mecânicos	9	14	5
Montadores e instaladores de equipamentos eletroeletrônicos em geral	1	6	5
Supervisores em serviços de reparação e manutenção mecânica	0	4	4
Supervisores de manutenção eletroeletrônica e eletromecânica		3	3
Outros trabalhadores de serviços diversos	5	7	2
Supervisores da extração mineral e da construção civil	7	9	2
Outros trabalhadores na reparação e manutenção de equipamentos	1	2	1
Técnicos de nível médio em operações industriais	13	11	-2
Trabalhadores elementares da manutenção	39	10	-29
Trabalhadores nos serviços de administração, conservação e manutenção de edifícios e limpeza	308	272	-36
Total	996	1.321	325

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a).
Elaboração própria.

(1) Distribuição do número de vínculos empregatícios por subgrupo, segundo a classificação CBO.

Vale lembrar que Caetité (BA) é um grande explorador de urânio do Brasil, além de ser também local de exploração de outros minérios, como o minério de ferro, atividade que também gera empregos no município e, em alguns casos, em ocupações similares àquelas geradas pelos parques eólicos. Portanto, não se pode assegurar que, do total de novos vínculos empregatícios acima elencados, todos são resultado da construção e operação de parques eólicos no município.

Guamaré (RN) e Beberibe (CE): parques eólicos em operação

No município de Guamaré (RN), existiam oito parques em operação e nenhum em construção ou outorgado à época da pesquisa. Os dois primeiros projetos contratados para Guamaré (RN) são provenientes da primeira chamada pública realizada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) em 2004: os parques eólicos Alegria I e Alegria II. Contudo, as obras de construção do complexo tiveram início apenas em 2009, sendo contratados, posteriormente, outros projetos para Guamaré (RN), que resultaram na construção de oito parques eólicos, com uma capacidade instalada de 284.450 KW de potência; o último a ficar pronto no município havia entrado em operação em 2012.

Mesmo antes da construção dos parques eólicos, o município de Guamaré (RN) já apresentava uma variação no número de vínculos empregatícios, que tendia ao crescimento (Tabela 9). A partir de 2009 houve um aumento no número de vínculos empregatícios, de 4.591 para 6.228 em 2012, registrando-se assim 1.637 novos vínculos, conforme a Tabela 9.

Tabela 9

Número de vínculos empregatícios por ano - Guamaré (RN) - 2006-2012

Anos	População	Nº de vínculos
2006	9.678	3.083
2007	9.915	3.211
2008	12.157	2.679
2009	12.558	4.591
2010	12.404	7.672
2011	12.731	5.963
2012	13.047	6.228

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a), DATASUS (2014), STN (BRASIL, 2014b).
Elaboração própria.

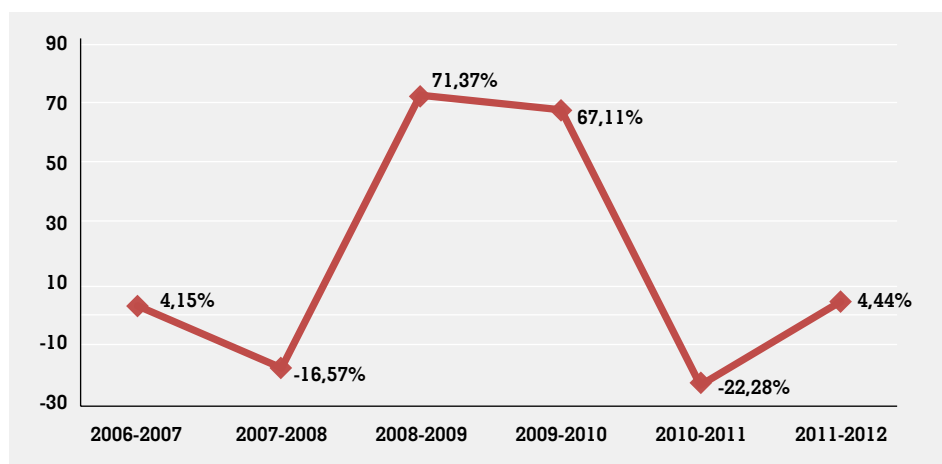
De acordo com o Gráfico 3, verifica-se que, entre 2008 e 2009, antes mesmo do início das obras dos parques eólicos, o município de Guamaré (RN) registrou crescimento de 71,37% no número de vínculos empregatícios, registrando um salto de 1.912 novos vínculos. Não se pode, no entanto, associar esse crescimento aos parques eólicos, pois datam de período anterior ao do início das obras.

Mesmo antes da construção dos parques eólicos, o município de Guamaré (RN) já apresentava uma variação no número de vínculos empregatícios, que tendia ao crescimento

Assim, o serviço público contribuiu em maior medida que os parques eólicos para o aumento de vínculos empregatícios no município

Gráfico 3

Evolução do crescimento do número de vínculos empregatícios - Guararé (RN) - 2006/2007-2011/2012



Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a). Elaboração própria.

Conforme o Gráfico 3, a partir de 2009 e 2010, quando os parques eólicos começaram a ser construídos em Guararé (RN), o município registrou crescimento de 67,11% no número de vínculos empregatícios, o que resultou no surgimento de 3.081 novos vínculos. Entre 2010 e 2011, o número de vínculos sofreu queda de 22,28%, resultando em redução de 1.709 vínculos empregatícios. Por fim, entre 2011 e 2012, houve um crescimento de apenas 4,44% nesse número, representando um aumento de 265 novos vínculos. No acumulado, entre 2009 e 2012, o município teve um crescimento de, aproximadamente, 35,6% no número de vínculos empregatícios, o que significou aumento total de 1.637 novos vínculos.

Tabela 10

Participação dos tipos de vínculos empregatícios no total destes - Guararé (RN) - 2009-2012

Tipo de vínculo empregatício	(em %)			
	2009	2010	2011	2012
Trabalhador urbano celetista (tempo indeterminado)	43,78	59,27	41,59	44,14
Servidor público (efetivo e não efetivo)	39,84	35,66	36,96	29,66
Contrato de trabalho por prazo determinado	12,33	3,30	20,38	24,49
Trabalhador rural (tempo indeterminado)	3,77	1,62	0,97	1,14
Trabalhador urbano celetista (tempo determinado/obra certa)	0,26	0,13	0,07	0,58
Diretor de empresa sem vínculo empregatício	0,00	0,01	0,03	0,00

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a). Elaboração própria.

Quanto aos tipos de vínculo empregatício que predominaram entre 2009 e 2012, destacaram-se: o de trabalhador urbano celetista por tempo indeterminado, que apresentou uma variação em torno de 41% a 60% de todos os vínculos; e o de servidor público, que representou em torno de 29% a 40% dos vínculos empregatícios existentes no município. Por fim, o contrato de trabalho por tempo determinado, tipo de vínculo que passou a ter maior representatividade a partir de 2011, teve participação que variou entre 12% e 25%. Juntos, eles representaram, em 2012, 98,29% de todos os vínculos empregatícios.

Dentre os três principais tipos de vínculo empregatício existentes em Guimarães (RN), o que apresentou maior crescimento, entre 2009 e 2012, foi o de contrato de trabalho por tempo determinado, que teve incremento de 169,43%, representando um acréscimo total de 959 novos vínculos empregatícios (Tabela 10).

Por sua vez, o trabalhador urbano celetista apresentou crescimento de 36,77%, para o período de 2009 a 2012, significando um acréscimo de 739 novos vínculos. O servidor público foi o que teve menor crescimento no período, de apenas 0,98%, representando apenas 18 novos vínculos empregatícios. Em que pese o número de pouca expressão, o servidor público foi o segundo tipo de contrato de trabalho que mais contribuiu para o total de vínculos no município durante o período analisado.

Quanto aos setores do IBGE que reuniram o maior número de vínculos empregatícios no município de Guimarães (RN) destacaram-se: 1) o da administração pública; 2) o da construção civil e, por fim, 3) o da indústria de transformação. A construção civil apresentou aumento significativo do número de vínculos entre 2009 e 2010, mas, em 2011, sofreu queda, voltando a crescer em 2012. Entre 2009 e 2012, o setor acumulou 447 novos vínculos empregatícios. Observando-se a Tabela 11, pode-se afirmar que apenas dois setores podem estar diretamente relacionados com a construção dos parques eólicos: o da construção civil, que sofreu acréscimo no número de vínculos empregatícios no período de 2009 a 2012, e o de serviços, que registrou pequeno aumento no número de vínculos, somando 71 novas vagas, de 2009 a 2012.

Dentre os três principais tipos de vínculo empregatício existentes em Guimarães (RN), o que apresentou maior crescimento, entre 2009 e 2012, foi o de contrato de trabalho por tempo determinado

Importante ressaltar que Guamaré (RN) é explorador de petróleo e abriga uma refinaria, além de outras diversas empresas e atividades ligadas à exploração petrolífera

Tabela 11

Distribuição do n. de vínculos empregatícios por setor do IBGE - Guamaré (RN) - 2009-2012

Setor do IBGE	2009	2010	2011	2012
Administração pública	2.383	2.984	3.418	3.374
Construção civil	482	2.718	851	929
Indústria de transformação	432	970	863	895
Serviços	457	593	436	528
Comércio	187	251	274	332
Agropecuária, extração vegetal, caça e pesca	196	156	80	105
Extrativa mineral	454	0	29	43
Serviços industriais de utilidade pública	0	0	12	22
Total	4.591	7.672	5.963	6.228

Fonte: Plataforma RAIS-Caged BRASIL, (2014a).
Elaboração própria.

Quando se analisam os vínculos empregatícios segundo as ocupações tem-se um panorama mais claro da relação entre novos vínculos criados e a construção e operação de parques eólicos.

Na Tabela 12 estão elencados os subgrupos (CBO) que apresentaram vínculos empregatícios no município de Guamaré (RN) entre 2009 e 2012, que podem estar relacionados com a implantação e a operação dos parques eólicos no município no mesmo período. Supondo-se que estes tenham sido os subgrupos de ocupações relacionados com a construção e a operação dos parques eólicos, podem ter sido gerados, entre 2009 e 2012, em torno de 132 novos vínculos empregatícios, de um total de 1.637 para o mesmo período. Os números apresentados indicam que houve crescimento de aproximadamente 8% do total de vínculos novos no município.

Importante ressaltar que Guamaré (RN) é explorador de petróleo e abriga uma refinaria, além de outras diversas empresas e atividades ligadas à exploração petrolífera. Atividades estas que também geram empregos no município e, em alguns casos, em ocupações similares àquelas geradas pelos parques eólicos. Dessa forma, não se pode assegurar que todos os vínculos empregatícios acima elencados são resultado apenas da implantação dos parques eólicos no município.

Tabela 12

Vínculos empregatícios relacionados com a implantação de parques eólicos - Guimarães (RN)* - 2009-2012

Subgrupo da CBO	2009	2012	Total de novos vínculos entre 209-2012
Trabalhadores nos serviços de proteção e segurança	383	523	140
Trabalhadores dos serviços de hotelaria e alimentação	142	261	119
Trabalhadores da construção civil e obras públicas	197	298	101
Ajudantes de obras	208	252	44
Supervisores da extração mineral e da construção civil	4	17	13
Montadores e instaladores de equipamentos eletroeletrônicos em geral	1	13	12
Técnicos em eletroeletrônica e fotônica	53	59	6
Outros trabalhadores na reparação e manutenção de equipamentos	3	7	4
Engenheiros, arquitetos e afins	35	37	2
Mantenedores eletromecânicos	0	2	2
Supervisores de montagens e instalações eletroeletrônicas	0	1	1
Instaladores e reparadores de linhas e cabos elétricos e de comunicações	0	1	1
Reparadores de instrumentos e equipamentos de precisão	1	0	-1
Eletricistas eletrônicos de manutenção industrial, comercial e residencial	7	6	-1
Técnicos em construção civil, de edificações e obras de infraestrutura	36	35	-1
Outros trabalhadores da conservação e manutenção (exceto trabalhadores elementares)	1	0	-1
Trabalhadores elementares da manutenção	3	1	-2
Técnicos mecatrônicos e eletromecânicos	2	0	-2
Trabalhadores de acabamento de obras	7	2	-5
Mecânicos de manutenção de máquinas e equipamentos industriais, comerciais e residenciais	9	4	-5
Montadores de máquinas e aparelhos mecânicos	7	0	-7
Supervisores em serviços de reparação e manutenção mecânica	19	2	-17
Supervisores dos serviços	20	1	-19
Trabalhadores nos serviços de administração, conservação e manutenção de edifícios e limpeza	209	96	-113
Técnicos de nível médio em operações industriais	150	11	-139
Total	1.497	1.629	132

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a).

Elaboração própria.

*Distribuição do número de vínculos empregatícios por subgrupo, segundo a classificação CBO.

No município de Beberibe (CE) existiam, à época desta pesquisa, apenas três parques eólicos em operação, não havendo nenhum parque em construção ou outorgado. Todos os três parques foram contratados através da primeira chamada do Proinfa, realizada em 2004.

O primeiro parque eólico do município foi o Foz do Rio Choró, cujas obras tiveram início em agosto de 2005, sendo inaugurado em 2006. O último parque a ser construído foi o Praias de Parajurú, cujas obras foram finalizadas em janeiro de 2008, tendo o parque iniciado sua operação em agosto de 2009.

No município de Beberibe (CE) existiam, à época desta pesquisa, apenas três parques eólicos em operação, não havendo nenhum parque em construção ou outorgado

Entre 2005 e 2009, período em que existiam parques eólicos em construção, o crescimento acumulado no número de vínculos foi de 35,2%, o que resultou em um acréscimo de 1.684 novos vínculos empregatícios

Analisando-se a Tabela 13 percebe-se que, desde 2005 até 2011, o total de vínculos empregatícios no município apresentou crescimento. Apenas em 2012 houve redução nesse número em relação ao ano anterior. De 2005 a 2009, período em que existiam obras de construção de parques eólicos, o número de vínculos cresceu de 4.771 para 6.455, acumulando um aumento de 1.684 novos vínculos empregatícios. No entanto, de 2005, quando as obras tiveram início, até o ano de 2012, verificou-se que o número de novos vínculos atingiu 837.

Tabela 13

Número de vínculos empregatícios por ano - Beberibe (CE) - 2004-2012

Anos	População	Nº de vínculos
2004	45.186	4.719
2005	45.815	4.771
2006	46.439	5.520
2007	45.999	5.771
2008	48.201	6.019
2009	48.760	6.455
2010	49.311	6.524
2011	49.846	6.844
2012	50.364	5.608

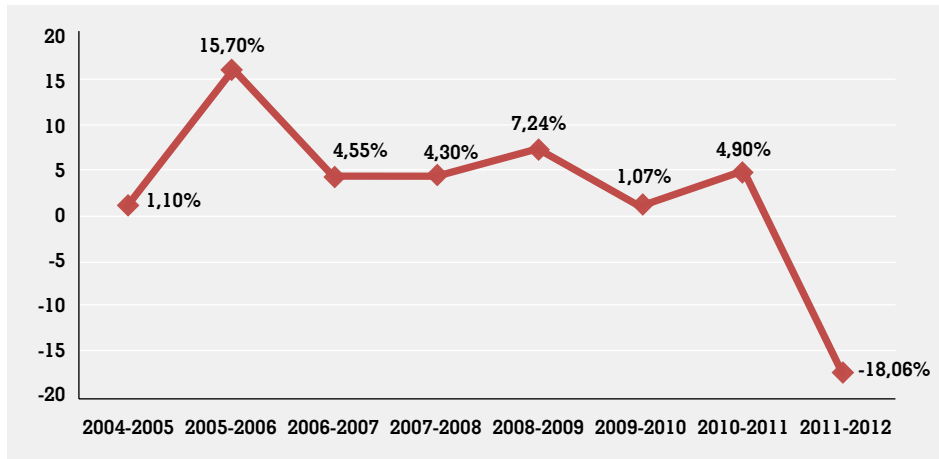
Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a), STN (BRASIL, 2014b).
Elaboração própria.

De acordo com o Gráfico 4, entre 2005 e 2006, período em que tiveram início as obras de construção dos primeiros parques eólicos no município de Beberibe (CE), o crescimento dos vínculos empregatícios foi de 15,70%, o maior registrado em todo o período analisado, o que representou um aumento de 749 novos vínculos em todo o município. Entre 2006 e 2007, houve novo crescimento, mas em patamares mais modestos, de 4,55%, o que representou um incremento de 251 novos vínculos. Nos períodos subsequentes, o crescimento foi de 4,30 e 7,24%. Já entre 2009 e 2010, que marca o fim das obras de construção dos parques eólicos, o aumento no número de vínculos empregatícios foi de apenas 1,07%, representando a criação de apenas 69 novos vínculos para todo o município. Entre 2010 e 2011, o incremento foi de 4,9%, e entre 2011 e 2012 foi registrada queda de 18,06%, acumulando uma redução de 1.236 vínculos empregatícios em relação a 2009 e 2010.

Entre 2005 e 2009, período em que existiam parques eólicos em construção, o crescimento acumulado no número de vínculos foi de 35,2%, o que resultou em um acréscimo de 1.684 novos vínculos empregatícios. No acumulado, entre 2005 e 2012, foi registrado um aumento de aproximadamente 17,5%, que se traduziu em um total de 837 novos vínculos.

Gráfico 4

Evolução do crescimento do número de vínculos empregatícios - Beberibe (CE) - 2004/2005-2011/2012



Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a). Elaboração própria.

Quanto ao tipo de vínculo empregatício que predominou, de 2005 a 2012, o de trabalhador urbano celetista por tempo determinado apresentou variação em torno de 22% a 35% de todos os vínculos, para todos os anos. Por sua vez, o de servidor público representou em torno de 31% a 43% dos vínculos empregatícios totais para o mesmo período. E, por fim, o de trabalhador rural celetista representou entre 31% e 43% do total de vínculos empregatícios existentes no município. Juntos, eles representaram, em 2012, 98,7% de todos os vínculos, média que se repete desde 2005 (Tabela 14).

Dentre os três principais tipos de vínculos empregatícios expostos na Tabela 14, o que apresentou maior crescimento, entre 2005 e 2009, foi o de trabalhador rural, que acumulou um crescimento de 49,39%, resultando em um acréscimo de 895 novos vínculos. Do total de 1.684 novos vínculos empregatícios criados no período de 2005 a 2009, 53,14% são do tipo trabalhador rural. Já entre 2005 e 2012, do total de 837 novos vínculos criados, o de trabalhador rural teve queda de 34,33%, o que representou uma redução de 622 vínculos.

Dentre os três principais tipos de vínculos empregatícios [...], o que apresentou maior crescimento, entre 2005 e 2009, foi o de trabalhador rural

Quanto aos setores do IBGE que reuniram o maior número de vínculos empregatícios no município de Beberibe (CE) destacaram-se: 1) o de administração pública; 2) o de serviços e, por fim, 3) o do comércio

Tabela 14

Participação dos tipos de vínculos empregatícios no total destes - Beberibe (CE) - 2005-2012

(em %)

Tipo de vínculo empregatício	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Servidor público (efetivo e não efetivo)	31,7	34,9	35,6	31,9	33,8	33,9	33,7	43,0
Trabalhador urbano celetista (tempo indeterminado)	28,7	24,0	22,5	26,7	23,5	23,9	24,8	34,5
Trabalhador rural (tempo indeterminado)	38,0	41,1	41,9	41,3	41,9	37,9	36,9	21,2
Trabalhador urbano celetista (tempo determinado/obra certa)	0,0	0,1	0,0	0,1	0,4	0,3	0,2	0,5
Trabalhador rural celetista (tempo determinado/obra certa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,7	1,8	0,5
Contrato de trabalho por prazo determinado	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	2,6	0,3

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a).
Elaboração própria.

Já o trabalhador urbano celetista acumulou um crescimento de 49,39% para o período de 2005 a 2009, o que representou um ganho de 149 novos vínculos. Do total de 1.684 novos vínculos criados no período, o trabalhador urbano celetista representou apenas 8,8% desse total. Já para o período de 2005 a 2012, o vínculo de trabalhador urbano celetista apresentou crescimento de 41,24%, o que significou a criação de 564 novos vínculos, representando 67,38% do crescimento total para o período.

Por fim, o servidor público acumulou um crescimento de 44,31%, de 2005 a 2009, representando aumento de 670 novos vínculos empregatícios para o período. No acumulado referente ao período de 2005 até 2012, o crescimento foi ainda maior, de 59,59%, o que significou 901 novos vínculos empregatícios. Assim, o vínculo de servidor público, em especial para o período entre 2005, início das obras de construção dos parques eólicos, e 2012 foi o que mais contribuiu para o crescimento do número de vínculos empregatícios no município de Beberibe (CE).

Quanto aos setores do IBGE que reuniram o maior número de vínculos empregatícios no município de Beberibe (CE) destacaram-se: 1) o de administração pública; 2) o de serviços e, por fim, 3) o do comércio (Tabela 15).

O setor da construção civil, embora tenha apresentado crescimento a partir de 2005, chegou a 2012 com um aumento de apenas seis vagas, na comparação com 2004, ano anterior ao início das obras de construção de parques eólicos em Beberibe (CE). Isso quer dizer que, no período de 2005 a 2011, o setor da construção civil aumentou o número de vínculos, chegando a 253 em 2011, mas sofreu uma forte queda em 2012, terminando com apenas 47 vínculos empregatícios.

Com base na Tabela 15 pode-se afirmar que apenas dois setores podem estar diretamente relacionados com a construção dos parques eólicos: o da construção civil, que sofreu decréscimo no número de vínculos empregatícios no período de 2005 a 2012, e o de serviços, que também sofreu queda no período.

Tabela 15

Distribuição do número de vínculos empregatícios por setor do IBGE - Beberibe (CE) - 2004-2012

Setor do IBGE	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Administração Pública	1.360	1.513	1.926	2.053	1.920	1.958	2.209	2.219	2.326
Agropecuária, extração vegetal, caça e pesca	1.974	1.782	2.297	2.169	2.298	2.549	2.564	2.691	1.521
Serviços	695	684	742	745	796	941	592	678	654
Comércio	189	267	268	342	388	468	592	642	647
Indústria de transformação	460	443	257	414	480	420	331	358	403
Construção civil	41	82	28	43	136	117	234	253	47
Serviços industriais de utilidade pública	0	0	0	4	1	2	2	3	9
Extrativa mineral	0	0	2	1	0	0	0	0	1
Total	4.719	4.771	5.520	5.771	6.019	6.455	6.524	6.844	5.608

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a).
Elaboração própria.

Quando se analisa a distribuição dos vínculos empregatícios de acordo com a CBO, tem-se uma melhor dimensão de quantos vínculos empregatícios em Beberibe (CE) podem ter sido criados em decorrência da instalação de parques eólicos e quantos destes vínculos permaneceram após o fim das obras de construção dos parques.

Na Tabela 16 destacam-se os subgrupos (CBO) de vínculos empregatícios que podem estar associados à construção e à operação de parques eólicos, no período entre 2005 e 2012, em Beberibe (CE).

Tabela 16

 Vínculos empregatícios relacionados com a implantação de parques eólicos - Beberibe (CE)⁽¹⁾ - 2005-2012

Subgrupo da CBO	2005	2012	Total de novos vínculos, 2005-2012
Técnico em ciências físicas e químicas	1	55	54
Trabalhadores dos serviços de hotelaria e alimentação	266	318	52
Trabalhadores nos serviços de proteção e segurança	155	205	50
Operadores de utilidades	0	12	12
Ajudantes de obras	23	32	9
Técnicos de nível médio em operações industriais	0	6	6
Engenheiros, arquitetos e afins	0	5	5
Mecânicos de manutenção de máquinas e equipamentos industriais, comerciais e residenciais	2	7	5
Supervisores dos serviços	0	5	5
Técnicos em eletroeletrônica e fotônica	0	2	2
Montadores de máquinas e aparelhos mecânicos	0	2	2
Supervisores da produção de utilidades	0	1	1
Eletricistas eletrônicos de manutenção industrial, comercial e residencial	6	7	1
Técnicos em construção civil, de edificações e obras de infraestrutura	2	2	0
Montadores e instaladores de equipamentos eletroeletrônicos em geral	3	3	0
Instaladores e reparadores de linhas e cabos elétricos e de comunicações	1	0	-1
Supervisores em serviços de reparação e manutenção mecânica	2	1	-1
Supervisores de manutenção eletroeletrônica e eletromecânica	3		-3
Outros trabalhadores de serviços diversos	15	11	-4
Trabalhadores elementares da manutenção	12	1	-11
Trabalhadores de acabamento de obras	23	0	-23
Trabalhadores nos serviços de administração, conservação e manutenção de edifícios e limpeza	561	535	-26
Outros trabalhadores da conservação e manutenção (exceto trabalhadores elementares)	32	0	-32
Supervisores da extração mineral e da construção civil	34	2	-32
Trabalhadores da construção civil e obras públicas	90	44	-46
Total	1.231	1256	25

Fonte: Plataforma RAIS-Caged (BRASIL, 2014a).

Elaboração própria.

(1) Distribuição do número de vínculos empregatícios por subgrupo, segundo a classificação CBO.

De acordo com a Tabela 16, considerando-se os subgrupos de ocupações que estão relacionados com a construção e a operação dos parques eólicos, podem ter sido gerados em torno de 25 novos vínculos empregatícios, decorrentes da construção e da operação dos parques eólicos no município de Beberibe (CE) entre 2005 e 2012, de um total de 837 novos vínculos para o mesmo período, o que representa apenas 3% desse total.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas empresas e governos municipais e estaduais, além de acadêmicos, têm afirmado que os parques eólicos são vetores de desenvolvimento local nos lugares onde se instalam. O principal argumento que fundamenta esta tese é a geração de emprego e renda, contudo, acredita-se ser esta tese refutável.

Em trabalho de campo, e após a análise do número de novos vínculos empregatícios existentes em dois dos principais municípios localizados no semiárido, João Câmara (RN) e Caetité (BA), que concentram parques eólicos em construção, tem-se o indicativo de que a geração de empregos ligados à construção ou à operação dos parques eólicos não é tão significativa.

No caso de João Câmara (RN), desde o início das obras de construção de parques eólicos, o município apresentou aumento total de 529 novos vínculos empregatícios e, deste total, apenas 234 podem ter sido gerados diretamente pela construção e operação de parques eólicos.

No caso de Caetité (BA), desde o início das obras de construção de parques eólicos, o município apresentou um total de 1.488 novos vínculos empregatícios. Destes, 484 (o equivalente a 32,52% do total) são do tipo servidores públicos, e apenas 325 vínculos (o que representa 21,8% do total) podem estar ligados à atividade de construção e operação de parques eólicos no município.

Verificou-se também o número de novos vínculos empregatícios existentes em Guararé (RN) e Beberibe (CE) que, diferentemente de João Câmara (RN) e Caetité (BA), apresentaram apenas parques eólicos em operação. Em ambos os municípios se verificou que o número de novos vínculos, desde o início das obras de construção dos parques até sua entrada em operação, foi ainda menos significativo que o verificado nos municípios anteriores.

Em Guararé foram criados 1.637 novos vínculos empregatícios entre 2009 e 2012 (período que marca o início da construção dos primeiros parques eólicos e a entrada em operação do último parque existente no município). Contudo, dos 1.637 novos vínculos, apenas 132 podem estar relacionados com as atividades de construção e operação de parques eólicos, o que representa um crescimento de apenas 8% em relação ao total de novos vínculos no período.

Muitas
empresas
e governos
municipais e
estaduais, além
de acadêmicos,
têm afirmado
que os parques
eólicos são
vetores de
desenvolvimento
local nos
lugares onde se
instalam

Pode-se concluir que a operação de um parque eólico se caracteriza como uma atividade intensiva em capital e não em mão de obra

Em Beberibe (CE), os primeiros parques eólicos iniciaram suas obras de construção em 2005, e, ao longo de 2009, todos os parques existentes no município já estavam operando. Entre 2005 e 2009 foram criados 1.684 novos vínculos empregatícios no município, o equivalente a um crescimento de 35,2%. No mesmo período contribuíram para esse crescimento, principalmente, dois tipos de vínculos empregatícios, o de trabalhador rural celetista, com 895 novos vínculos, e o de servidor público, com 670. No entanto, estes dois tipos de vínculo empregatício não tiveram qualquer relação com a construção e a operação de parques eólicos. Somaram juntos 1.565 novos vínculos de um total de 1.684, o que representou 97,45% dos novos vínculos empregatícios para o período. Já o setor da construção civil apresentou queda de 35 vínculos empregatícios para o mesmo período.

Quando analisado um período mais amplo, de 2005 a 2012, verificou-se um aumento total de 837 novos vínculos empregatícios, somados aos 622 vínculos extintos no grupo dos trabalhadores rurais celetistas. Destes, 901 são de servidor público (59,59% do total de novos vínculos criados entre 2005 e 2012). Já o vínculo trabalhador urbano celetista por tempo determinado registrou 565 novos vínculos entre 2005 e 2012. Destes, no entanto, apenas 25 podem ter sido criados e mantidos pela atividade de operação de parques eólicos.

Pode-se concluir que a operação de um parque eólico se caracteriza como uma atividade intensiva em capital e não em mão de obra. Exceto no período da construção destas grandes infraestruturas, quando há geração de uma significativa quantidade de vagas nas obras civis, não se pode afirmar que a atividade é geradora de empregos.

Por fim, diante das análises realizadas, constata-se que, embora a chegada dos parques eólicos seja geradora de empregos nos lugares onde são instalados, especialmente na etapa da construção, há indicativos de que essa geração de empregos não é suficiente para promover o desenvolvimento local.

A maior geração de empregos no ramo eólico está, portanto, na etapa da fabricação e transporte dos equipamentos. Contudo, estes empregos têm-se concentrado no litoral nordestino, mais especificamente nos complexos portuários de Pecém (CE), Camaçari (BA) e Suape (PE), onde as unidades produtivas dos equipamentos estão sendo instaladas.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *RAIS-CAGED 2014*: Programa de Disseminação de Estatísticas do Trabalho. Brasília: MTE, 2014a. Disponível em: <<http://bi.mte.gov.br/bgcaged/inicial.php>>. Acesso em: 2 jul. 2014.

_____. Classificação Brasileira de Ocupações: CBO 2010. 3. ed. Brasília: MTE: SPPE, 2010. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/observatoriosocial/files/2014/09/CBO-Livro-1.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

BRASIL. Secretaria do Tesouro Nacional. *Finanças do Brasil (FINBRA)*: dados contábeis dos municípios. Brasília: STN, 2014b. Disponível em: <<http://bi.mte.gov.br/bgcaged/inicial.php>>. Acesso em: 2 jul. 2014.

BERMANN, Célio. *As novas energias no Brasil*: dilemas de inclusão social e programas de governo. Rio de Janeiro: FASE, 2007.

BLANCO, Maria Isabel. The economics of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], n. 13, p. 1372-1382, Aug./Sept. 2009. Disponível em: <<http://www.journals.elsevier.com/renewable-and-sustainable-energy-reviews>>. Acesso em: 3 fev. 2014.

BRANDÃO, Carlos. *Território e desenvolvimento*: as múltiplas escalas entre o local e o global. Campinas: Editora da Unicamp, 2007.

BUARQUE, Sergio José Cavalcanti. *Construindo o desenvolvimento local sustentável*: metodologia de planejamento. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

CAMILLO, Edilaine Venâncio. *As políticas de inovação da indústria de energia eólica*: uma análise do caso brasileiro com base no estudo de experiências internacionais. 2013. 212 f. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) -Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências, Campinas, 2013.

DATASUS. *População residente*: Rio Grande do Norte. 2014. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?ibge/cnv/poprn.def>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

DUTRA, Ricardo Marques; SZKLO, Alexandre Salem. A energia eólica no Brasil: Proinfa e o novo modelo do setor elétrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 11., 2006, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Cresesb-Cepel, 2006. p. 855-868. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=artigo>>. Acesso em: 8 jul. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Cidades e Estados do Brasil*. Brasília: IBGE, 2014. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 jul. 2014.

SIMAS, Moana Silva. *Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada*. 2012. 219 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Programa de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SIMAS, Moama; PACCA, Sergio. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 99-115, 2013.

TRALDI, Mariana. *Novos usos do território no semiárido nordestino: implantação de parques eólicos e valorização seletiva nos municípios de Caetité (BA) e João Câmara (RN)*. 2014. 272 f. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Análise Ambiental e Dinâmica Territorial)-Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 2014. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000938393>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

Resumo

O processo de torrefação é uma alternativa para converter a biomassa em combustível de maior valor energético e homogeneidade. Assim, foi investigada a viabilidade técnica da torrefação para as biomassas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e algaroba (*Prosopis juliflora*) visando à melhoria das propriedades físico-químicas e energéticas tanto in natura quanto torrefeita. Desenvolveu-se um sistema reacional para condução dos ensaios de torrefação com temperaturas entre 190 e 310 °C, em ambiente inerte. O poder calorífico superior após o pré-tratamento de torrefação apresentou incrementos de 40,5% e 64,4%, para o eucalipto e a algaroba, respectivamente. Observando-se uma melhoria significativa nas propriedades físico-químicas e energéticas do produto torreficado em comparação com as biomassas in natura.

Palavras-chave: Biomassa. Torrefação. Sustentabilidade.

Abstract

*The torrefaction process is an alternative to convert the biomass into a fuel of greater energetic value. This study is focused on feasibility aspects of torrefaction the eucalyptus (*Eucalyptus grandis*) and algaroba (*Prosopis juliflora*) to improving the physical-chemical and energetic properties of raw and torrefied biomasses. A reaction system was developed to conduct the torrefaction experiments with temperatures between at 190 to 310 °C, in inert atmosphere. The high heat value after torrefaction showed increases of 40.5% and 64.4% for *E. grandis* and *P. juliflora*, respectively. Improvement of the physico-chemical and energetic properties of the torrefied product was observed in comparison to the in nature biomasses.*

Keywords: Biomass. Torrefaction. Sustainability.

Biomassa torrefeita: um novo combustível para a indústria

JOSÉ AIRTON DE MATTOS CARNEIRO JUNIOR

Mestre e doutorando em Engenharia Industrial, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e graduado em Engenharia Química, pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor do ensino básico, técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) - Campus Irecê e pesquisador do Laboratório de Energia e Gás da UFBA. airton@ifba.edu.br

CARINE TONDO ALVES

Pós-doutora, pela School of Chemical Engineering - University of Birmingham; doutora sanduíche, pela School of Chemical Engineering - University of Birmingham; doutora em Engenharia Industrial, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA); mestre em Engenharia Química, pela UFBA e graduada em Engenharia Química, pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Professora participante do Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da UFBA e do Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente da UFBA; professora adjunta da Universidade Federal do Recôncavo Baiano (UFRB) e pesquisadora do Grupo de Pesquisa em Bioenergia da UFRB. carine.alves@ufrb.edu.br

EDNILDO ANDRADE TORRES

Pós-doutor, pela Florida Agricultural and Mechanical University (FAMU) - Estados Unidos; doutor em Engenharia Mecânica, pela Universidade Estadual de Campinas; mestre em Engenharia Mecânica, pela Universidade de São Paulo (USP) e graduado em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial e do Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente da UFBA; membro titular da Academia de Ciências da Bahia e vice-coordenador do INCT Energia e Ambiente; coordenador do Laboratório de Energia e Gás da UFBA. ednildotorres@gmail.com

A INDEPENDÊNCIA e a autossuficiência no setor de energia é um indicador do desenvolvimento socioeconômico de qualquer país. Tem-se visto que, nos últimos anos, as pesquisas e prospecções tecnológicas têm-se voltado ao uso de fontes de energia não convencionais. A utilização da biomassa, de forma regulada e eficiente, tem sido bastante impulsionada por ser um recurso renovável e de grande abundância no Brasil.

Conforme dados da International Agency Energy (2016), a oferta mundial de energia por fonte corresponde, no total, a cerca de 13.113 (x10⁶) tep¹ (Gráfico 1).

Quando observado em nível nacional, o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidroelétrica, que corresponde a 71% da oferta interna de energia elétrica.

As fontes renováveis representam 80% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é resultante da soma dos montantes referentes

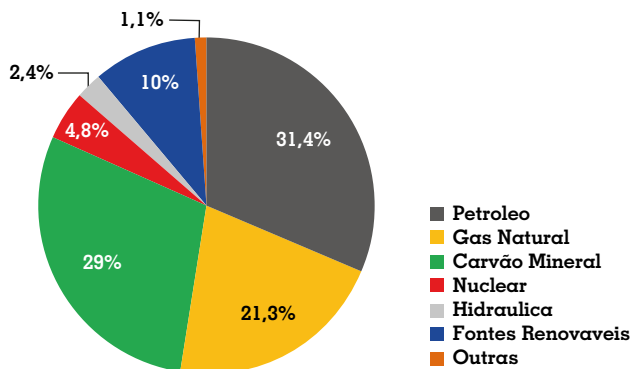
1 tep: Tonelada Equivalente de Petróleo.

As fontes renováveis representam 80% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável

à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável (Gráfico 2).

Gráfico 1

Gráfico da oferta mundial de energia por fonte

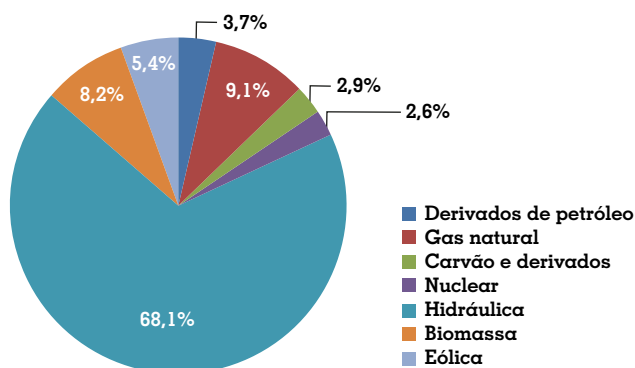


Fonte: International Agency Energy (2016).

De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia, em 2016 a participação da biomassa na geração de energia elétrica no Brasil representou cerca de 8,2%, sendo o bagaço da cana-de-açúcar, o licor negro e os resíduos florestais as principais fontes utilizadas para essa geração (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2016). A biomassa de base florestal representou cerca de 15,8% da energia elétrica gerada a partir de biomassa (Figura 1).

Gráfico 2

Oferta interna de energia elétrica por fonte - 2016



Fonte: Balanço Energético Nacional (2016).

Segundo a ABRAF² (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ABRAF, 2013), são geradas anualmente cerca de 41 milhões de toneladas de resíduos madeireiros, provindos da indústria de processamento de madeira e da colheita florestal, capazes de gerar energia equivalente a 1,7 GW/ano.

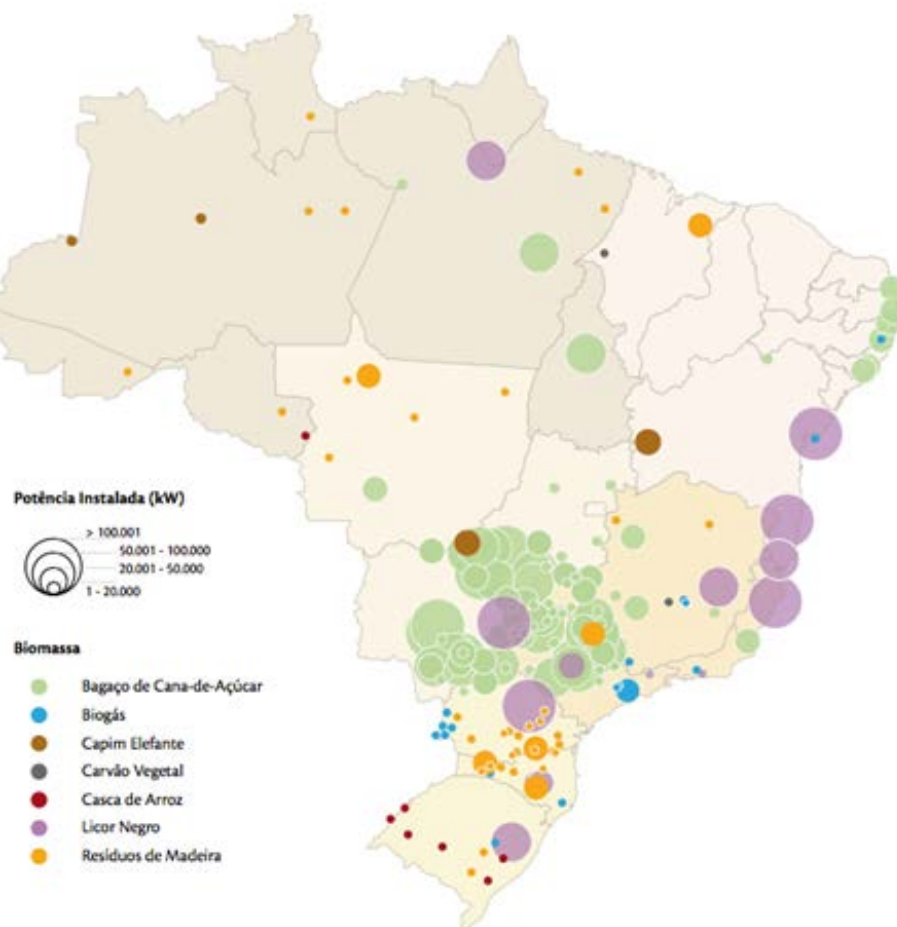
Através do Projeto de Lei nº 3.529/2012, como ação à diversificação da matriz energética nacional, o governo brasileiro prevê uma política nacional de geração de energia elétrica a partir da biomassa, estabelecendo a obrigatoriedade da contratação da bioenergia na composição da geração elétrica nacional. Com a sanção desta lei, a geração de energia elétrica a partir da biomassa é inevitável e a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira torna-se ainda maior (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ABRAF, 2013).

O manejo florestal visando à produção de biomassa para energia, com menor ciclo de corte e menor espaçamento entre árvores, caracteriza o conceito de florestas energéticas. Entre as florestas plantadas no Brasil, o eucalipto recebe destaque por ser o gênero *Eucalyptus* o mais implantado e estudado (OLIVEIRA, 2007).

O manejo florestal visando à produção de biomassa para energia, com menor ciclo de corte e menor espaçamento entre árvores, caracteriza o conceito de florestas energéticas

Figura 1

Distribuição de usinas termelétricas à base de biomassa no Brasil



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2012).

A biomassa pode ser energeticamente convertida em biocombustíveis, em geral, pelas seguintes vias tecnológicas: a via termoquímica, a via bioquímica e a via físico-química

Segundo o Anuário Estatístico ABRAF (2013), os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul destacaram-se no cenário nacional como detentores de 87,1% da área total de plantios florestais.

As florestas plantadas de eucalipto cobrem 5,1 milhões de hectares no Brasil, segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ABRAF, 2013). Desse total, 1,8 milhão é cultivado pela indústria de celulose e papel, o que corresponde a 81,2% das florestas plantadas desse setor. A Bahia possui 617 mil hectares de florestas plantadas, equivalentes a cerca de 10% do total brasileiro, e a 1% do território baiano (ASSOCIAÇÃO BAIANA DAS EMPRESAS DE BASE FLORESTAL, 2015).

No entanto, em regiões semiáridas, a exemplo do Nordeste brasileiro, a *Prosopis juliflora*, conhecida como algaroba, é considerada uma árvore de uso múltiplo, seja na alimentação humana e animal, seja na fertilidade do solo e no uso de sua madeira em forma de mourões, tábuas, dormentes, estacas, lenha e carvão (RIBASKI et al., 2009). Em especial, a algaroba da espécie *juliflora* apresenta importante papel econômico em áreas isoladas do semiárido nordestino, fornecendo lenha para diversos setores, como curtumes, cerâmicas, padarias, pizzarias, dentre outros.

No Brasil, a algaroba é cultivada, principalmente, na Região Nordeste, sendo que a sua introdução ocorreu a partir de 1942, em Serra Talhada (PE), com sementes procedentes de Piura, no Peru. Existem também registros de duas outras introduções que foram realizadas em Angicos (RN), em 1946, por meio de sementes oriundas do Peru e, em 1948, com sementes do Sudão (NASCIMENTO, 2008). A partir daí sua expansão para os demais estados ocorreu através da regeneração natural e de plantios.

Neste contexto, a biomassa pode ser energeticamente convertida em biocombustíveis, em geral, pelas seguintes vias tecnológicas: a via termoquímica, a via bioquímica e a via físico-química. A via termoquímica utiliza-se do aporte de calor para geração direta de energia ou para produção de combustíveis secundários com maior densidade energética. A via bioquímica converte a biomassa através de processos anaeróbicos, aeróbicos e enzimáticos, enquanto a via físico-química produz a energia através da extração ou compressão, seguida de tecnologias, como a transesterificação, para produção de outros biocombustíveis.

Quanto à biomassa crua, verificam-se o seu baixo teor de carbono e os elevados teores de oxigênio que tornam o poder calorífico desta muito menor quando comparado ao do carvão. Essa biomassa também requer

uma quantidade significativa de energia para reduzir a sua dimensão (na forma de *chips* ou cavacos), a qual é necessária na maior parte dos processos de obtenção de energia a partir da biomassa.

Assim, as propriedades inerentes à biomassa crua, como o alto teor de umidade, a baixa densidade energética, a degradação biológica, a alteração de propriedades físico-químicas durante o armazenamento e a dificuldade de moagem, limitam sua ampla utilização na indústria. Para superar estas limitações, a torrefação tem sido proposta como um processo de tratamento térmico da biomassa (ARIAS et al., 2008). Pode-se considerar que a torrefação objetiva eliminar o oxigênio sob a forma de gases sem valor calórico, como, por exemplo, o CO₂, a água e alguns ácidos orgânicos, a partir da exposição da biomassa a temperaturas de 200-300°C (PIMCHUAL; DUTTA; BASU, 2010; MEDIC et al., 2012).

Os tipos mais comuns de reatores de pequena escala utilizados na torrefação são os de aquecimento por convecção, de leito fluidizado, de tambor rotativo e de microondas. Os reatores do tipo leito convectivo e fluidizado utilizam, na maioria das vezes, o aquecimento direto, enquanto que o tambor rotativo é um reator de aquecimento indireto, e o de microondas é um reator de aquecimento volumétrico. O reator de aquecimento direto tem uma melhor e mais uniforme transferência de calor, enquanto que, no aquecimento indireto, os voláteis não são diluídos pelo fluido de aquecimento e podem ser facilmente reutilizados na combustão.

Dessa forma, este trabalho objetiva o desenvolvimento de um sistema piloto laboratorial para pré-tratamento da biomassa através do processo de torrefação, utilizando como biomassas potenciais o eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e a algaroba (*Prosopis juliflora*), comparando suas propriedades físico-químicas e energéticas *in natura* e após torrefação, no intuito de apresentar a algaroba como biomassa alternativa para uso no setor energético e com grande potencial a ser explorado no semiárido nordestino.

Para isto, os objetivos específicos desta pesquisa são:

- desenvolver, montar, testar e validar um sistema laboratorial para torrefação de biomassas;
- realizar ensaios de torrefação com biomassas residuais de eucalipto e algaroba;
- caracterizar e avaliar as propriedades físico-químicas e energéticas do eucalipto e da algaroba *in natura* e após torrefação.

**Este trabalho
objetiva o
desenvolvimento
de um
sistema piloto
laboratorial para
pré-tratamento
da biomassa
através do
processo de
torrefação,
utilizando como
biomassas
potenciais
o eucalipto
(*Eucalyptus
grandis*) e
a algaroba
(*Prosopis
juliflora*)**

METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi composta pelas seguintes etapas: levantamento bibliográfico a partir de pesquisas e análises científicas; concepção e desenvolvimento do sistema; ensaios de torrefação, e caracterização físico-química e energética das biomassas crua e torrefeita a partir de análise imediata, análise elementar e poder calorífico.

Concepção, montagem e testes do reator

Concepção e desenvolvimento do reator e do sistema de torrefação

Para a concepção do escopo do reator e do sistema de torrefação foram revisados e levados em consideração os seguintes pontos:

- avaliação na literatura dos reatores de bancada e componentes acessórios já existentes (BERGMAN et al., 2005; MACEDO, 2014; TRAN et al., 2013; SARVARAMINI; LARACHI, 2014; KEIPI et al., 2014; SATPATHY et al., 2014);
- análise dos principais fatores que influenciam a torrefação, tais como: temperatura (200 a 350 °C), tempo de reação (30 a 90 minutos), tamanho da partícula (quanto aos fenômenos de transporte envolvidos), composição da biomassa (análise elementar, PCS/PCI, origem e forma), taxa de aquecimento (baixa, moderada ou elevada) e atmosfera de trabalho (tipo, composição e percentual do componente inerte utilizado);
- tamanho/escala do reator desejado, podendo ser de bancada, laboratorial ou comercial/industrial;
- forma de aquecimento: direto ou indireto.

O dimensionamento do sistema de aquecimento foi realizado a partir da Equação 01, que visa atender à necessidade do cálculo da resistência elétrica necessária para o aquecimento da biomassa. Visando compensar quaisquer perdas térmicas, cerca de 15% foram acrescentados no valor final da potência encontrada.

Onde:

$$P = \frac{m \times C_p \times \Delta T}{860 \times t} \quad (1)$$

P = Potência; m = Massa de amostra; Cp= Calor específico; ΔT = Variação de temperatura inicial e final; 860 = Unidade para conversão de unidades (=1kW).

Considerando-se que os materiais utilizados na montagem do sistema foram, na sua maioria, obtidos em sucatas da Região Metropolitana de Salvador (RMS), Bahia, a resistência elétrica obtida para o aquecimento desejado teve potência de 2.000W, inferior ao desejado.

O *layout* do sistema foi elaborado a partir de uma ferramenta computacional utilizada para o desenho dos equipamentos e *layout* de sistemas denominada SolidWorks, um *software* de Computer-Aided Design (CAD).

Metalurgia e montagem

A etapa de metalurgia foi realizada nas instalações do galpão da unidade de gaseificação do Laboratório de Energia e Gás (LEN), localizado na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, a partir da concepção e do *layout* do sistema definido na etapa anterior.

Para a fabricação do reator de torrefação foram utilizados um tubo em aço carbono de 114 mm x 390 mm, tampos tipo flanges, porta amostra em tela de aço inox, junta grafitada para vedação, parafusos inox e isolamento térmico em lã de rocha e chapa de zinco. A estrutura da plataforma de sustentação foi fabricada em aço carbono de 3/16 x 1". O painel elétrico de controle do sistema é composto por botoeiras on/off, chave contactora, botoeira de emergência, termopar tipo J e controlador-indicador de temperatura digital N1100 com dois relés da marca Novus. Como componentes auxiliares, um rotâmetro da marca OMEL 1/2" NPTF vidro em polipropileno (0-60 L/min), *tubing* de aço inox diâmetro externo 9,52 mm (3/8"OD) x esp. 0,89 mm (0,035") tipo 316/316L, banho ultratermostático microprocessado com circulador (-20 a 120 °C) da marca Quimis e sistema de condensação composto por três condensadores conectados entre si e a dois frascos de Erlenmeyer para coleta de voláteis condensáveis, seguido de um Erlenmeyer borbulhador de gases.

Os materiais utilizados para metalurgia do reator e plataforma de sustentação, à exceção dos parafusos, foram reciclados e/ou reutilizados de equipamentos depreciados e sucatas.

Testes de validação

Os testes de validação do sistema visaram à simulação da torrefação buscando identificar possíveis pontos de melhorias e detalhamentos operacionais, para auxiliar na definição de falhas não previstas na concepção do sistema.

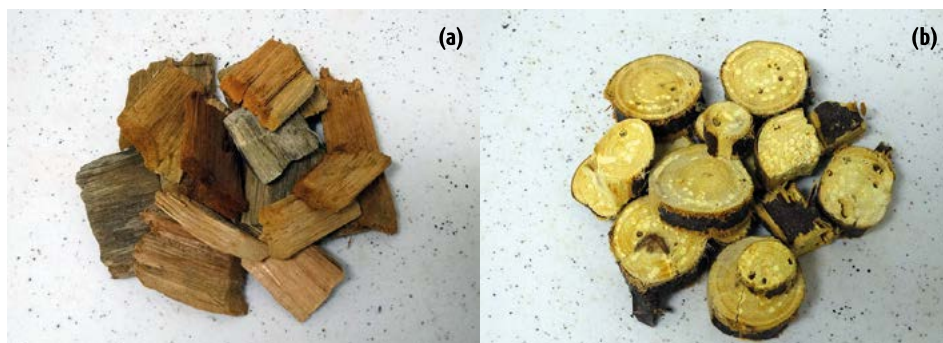
Assim, os testes foram realizados sem a presença de biomassa, utilizando-se ar comprimido por não haver necessidade de atmosfera inerte, a temperatura mínima de 150 °C, intermediária de 250 °C e superior de 350 °C, evidenciando a faixa de temperatura da torrefação, durante 150 minutos. Estes testes auxiliaram na verificação da taxa de aquecimento e da variação da temperatura em torno do *setup* desejado.

Ensaio de torrefação

As biomassas utilizadas nos testes de torrefação foram obtidas por doação do Laboratório de Energia e Gás (LEN/UFBA) e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) - *Campus Irecê*, respectivamente, na forma de cavacos com tamanho médio de 2x10x12 mm (Figura 2).

Figura 2

Cavacos in natura de eucalipto (a) e algaroba (b)



Fonte: elaboração própria.

Para padronização e referência dos ensaios de termoconversão e físico-químicos, todas as amostras foram inicialmente secas a 105 °C durante 24 horas, conforme norma ASTM E 871-82.

Foi definida, inicialmente, para cada ensaio, a utilização de cerca de 50 gramas de biomassa para evitar a sua sobreposição e acúmulo desnecessário.

O processo de torrefação ocorreu à taxa de aquecimento de cerca de 5 a 10 °C/minuto, vazão de 18 L/minuto de nitrogênio, temperaturas de 190, 230, 270 e 310 °C (± 10 °C) visando atender a toda a faixa usual de temperaturas de torrefação (SCHORR; MUINONEM; NURMINEM, 2012; BERGMAN et al., 2005) e tempo de reação de 30 minutos.

Ao final de cada ensaio, as amostras foram retiradas do reator quando a temperatura atingiu o patamar de 120 °C, sendo colocadas, em seguida, no dessecador para resfriamento final à temperatura ambiente (30 °C).

Caracterização físico-química e energética das biomassas

A partir dos cavacos de resíduos de madeira de eucalipto e algaroba, foram realizados os ensaios de umidade, cinzas, teor de voláteis, carbono fixo, poder calorífico e análise elementar (C,H,N,O e S) tanto das biomassas *in natura* (em base seca) quanto das biomassas torrefeitas. Após cada ensaio de torrefação, as biomassas foram trituradas em moinho multiuso, da marca MarqLabor, sendo, em seguida, passada em peneira de análise granulométrica, marca Bertel, com abertura de 0,15mm (*mesh* 100), visando à homogeneização das amostras antes da caracterização. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Análise imediata

Umidade

O teor de umidade é utilizado para ajustar a massa da biomassa, de modo que todos os resultados analíticos possam ser relatados em uma base livre de umidade. Os ensaios para determinação do teor de umidade foram baseados na norma ASTM E1756-08 (ASTM INTERNATIONAL, 1998) e consistiram na medição da massa úmida de 1,0 a 1,5 gramas de amostra e da posterior medição da massa seca (seca em estufa a 105 ± 3 °C por, pelo menos, 60 minutos). Esse procedimento foi repetido até não se observar nenhuma variação das massas obtidas após a secagem em estufa.

Teor de cinzas e carbono fixo

O teor de cinzas de uma amostra é o resíduo inorgânico que permanece após esta amostra ser submetida à oxidação completa. O método utilizado para a determinação do teor de cinzas foi baseado na norma ASTM E1755-01 (ASTM INTERNATIONAL, 2017). O teor de cinzas foi estabelecido a partir de 1,0 a 1,5 gramas da amostra colocada em cadinho com massa predeterminada. Em seguida, o cadinho foi inserido em forno mufla, da marca Novatécnica, preaquecido à 575°C, por 120 minutos, até a queima completa da biomassa. Em seguida, a amostra e o cadinho são colocados para resfriar à temperatura ambiente em dessecador, quando tem sua massa novamente determinada.

O teor de carbono fixo foi obtido a partir da subtração do teor de voláteis e de cinzas, como sendo a fração mássica da biomassa que foi queimada, conforme a Equação 02:

$$\text{Carbono Fixo} = 100 - (\text{Voláteis} + \text{Cinzas}) \quad (2)$$

O teor de cinzas de uma amostra é o resíduo inorgânico que permanece após esta amostra ser submetida à oxidação completa

Teor de materiais voláteis

O teor de voláteis consiste de frações condensáveis e não condensáveis que aumentam de acordo com a temperatura de processo utilizada, podendo indicar os rendimentos reacionais. Para isto, foi empregado o método ASTM D 5832-98 (ASTM INTERNATIONAL, 2008), que estabelece o teor de materiais voláteis a partir da perda de massa resultante do aquecimento da amostra. Assim, o teor de materiais voláteis foi obtido a partir de 1,0 a 1,5 gramas de amostra colocada em forno mufla, da marca Novatécnica, a $950 \pm 25^\circ\text{C}$ por sete minutos (\pm dez segundos). Após este período, a amostra foi retirada e colocada em um dessecador para resfriamento e pesagem final.

Análise elementar

Por ainda não existir um método específico para análise elementar em biomassas, foi empregado o método ASTM D 5291 – que determina o carbono, o hidrogênio e o nitrogênio em produtos de petróleo e lubrificantes –, realizado na Central Analítica do Instituto de Química, na Universidade de São Paulo. O ensaio consistiu na aplicação da técnica para determinação das porcentagens de carbono, hidrogênio e nitrogênio em cerca de $1,1000 \pm 0,1000$ mg (pesadas em microbalança acoplada ao aparelho) de amostra de eucalipto ou algaroba, baseando-se no método de Pregl-Dumas, em que as amostras são sujeitas à combustão em uma atmosfera de oxigênio puro, e os gases resultantes dessa combustão são quantificados em um detector de condutividade térmica (TCD) do analisador elementar – Perkin Elmer 2400 series ii.

Poder calorífico

Conforme norma ASTM D-2015 (ASTM INTERNATIONAL, 2000), o ensaio consistiu na pesagem de $0,500 \pm 0,100$ g da biomassa em cadinho metálico, seguido do seu acoplamento no suporte de amostragem, inserção do fio de ignição, encaixe no vaso inox de amostras e condução à bomba calorimétrica, da marca IKA C2000 *basic*. O poder calorífico inferior foi calculado pela Equação 03 (REZENDE, 1997).

$$PCI = [PCS \times (1 - U/100)] - [(U/100) \times Lv] \quad (3)$$

Sendo:

PCI = poder calorífico inferior, MJ.kg^{-1} ; U = umidade, %; Lv = calor latente de vaporização da água (540 cal.g^{-1}).

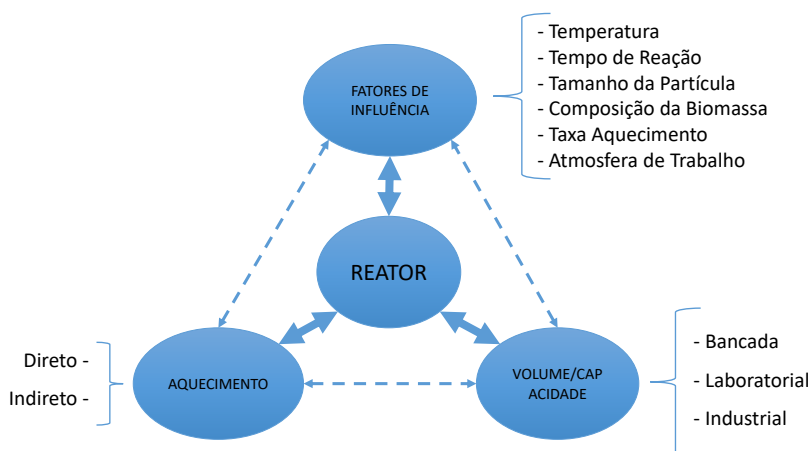
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concepção, metalurgia, montagem e testes do sistema

Para a melhor definição do reator de torrefação foram realizadas considerações baseadas nos principais fatores que influenciam a torrefação, o tipo de aquecimento e o volume de biomassa a ser utilizado no processo em batelada (Figura 3).

Figura 3

Considerações para definição do reator de torrefação



Fonte: elaboração própria.

A Tabela 1 apresenta os dados do escopo considerado para os principais parâmetros utilizados na concepção e na montagem do reator de torrefação e seus sistemas complementares.

Tabela 1

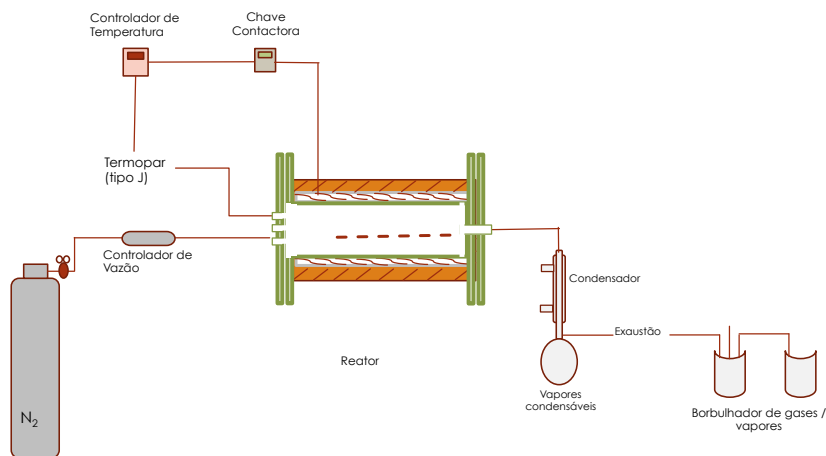
Considerações iniciais do reator e sistema de torrefação

- Faixa de temperatura:	190, 230, 270 e 310°C	- Atmosfera de trabalho:	Nitrogênio
- Tempo de residência:	30-90 minutos	- Tipo de aquecimento:	Indireto
- Tamanho da partícula:	Cavacos ou Chips	- Escala:	Laboratorial
- Taxa de aquecimento:	5 - 10°C/minuto	- Operação:	Batelada

Fonte: elaboração própria.

A Figura 4 apresenta o diagrama do processo composto pelos principais componentes do sistema de torrefação desejado, dos quais fazem parte o reator de leito convectivo, a batelada, o sistema de condensação de gases, os borbulhadores de gases, o controlador de vazão de gás inerte, o indicador-controlador de temperatura, a chave contactora, o termopar e o cilindro de nitrogênio.

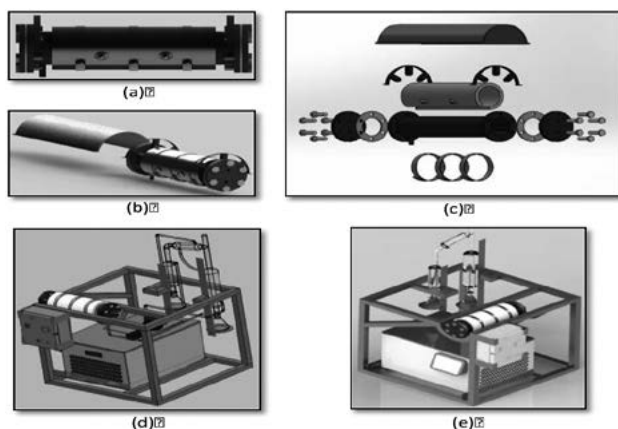
Figura 4
Diagrama do sistema de torrefação



Fonte: elaboração própria.

O sistema laboratorial de torrefação foi desenhado no *software* Solid Works, a partir das considerações definidas anteriormente (Figura 5). O reator central é composto de tubo 4" em aço carbono, isolamento térmico em lã de rocha, porta amostra em aço inox, flanges, junta grafitada, tampos flangeados, parafusos inox, camisa de aquecimento tipo coleira e chapa de zinco.

Figura 5
Concepção do reator laboratorial de torrefação



Fonte: elaboração própria.

Nota: a) vista lateral do reator de torrefação; b) vista perspectiva do reator com o isolamento térmico em lã de rocha; c) vista explodida do reator com todos os itens que o compõem; d) sistema de torrefação composto de reator, condensadores, banho ultratermostático e quadro elétrico; e) sistema de torrefação após renderização.

Os testes de validação do sistema de aquecimento foram feitos à temperatura de 150 °C, 250 °C e 350 °C. Assim, foram conduzidos com insuflamento de ar comprimido, em vazão de 10 L/minuto, durante 150 minutos, nos quais foram obtidas variação na temperatura de *setup* em torno de ± 10 °C e taxa de aquecimento médio de 5-10 °C/minuto.

Apesar da variação e dos picos de temperatura indesejáveis, esses valores favoreceram o conhecimento do sistema, reduzindo assim o desvio padrão nas temperaturas desejadas.

O sistema de condensação foi devidamente interligado à saída do reator de torrefação e ao banho ultratermostático, sendo eliminados quaisquer vazamentos de gases e água.

A etapa seguinte foi a fabricação e a montagem da estrutura ou *skid* de sustentação dos equipamentos e acessórios, visando à produção de plataforma para facilitar a operação dos sistemas, tornando-os de fácil movimentação e transporte (Figura 6).

Figura 6

Sistema de torrefação laboratorial montado e testado



Fonte: elaboração própria.

Ensaio de torrefação

Os ensaios de torrefação foram conduzidos a temperaturas de 190, 230, 270 e 310 °C, em ambiente inerte (nitrogênio), utilizando-se cerca de 50 gramas de biomassa (que permaneceram 30 minutos na temperatura prevista), na forma de cavacos ou chips, anteriormente seca em estufa a 105 °C por 24 horas, visando à homogeneidade das amostras, conforme normatizado.

Como características dos reatores de leito convectivo, o aquecimento indireto demanda maior tempo de aquecimento e pequena limitação na quantidade de biomassa a ser utilizada, pois, quando colocada muito próxima de outras ou amontoada, há possibilidade de ocasionar o surgimento de áreas com maior transferência de calor e de massa, produzindo biomassa não uniforme.

O resultado das biomassas torrefeitas experimentalmente pode ser visualizado na Figura 7, podendo ser observados a sua coloração característica e o escurecimento gradual com o aumento da temperatura.

As mudanças de coloração das biomassas podem estar relacionadas às perdas de umidade livre superficial, umidade interna e voláteis gerados a diferentes fases da torrefação (NHUCHHEN; BASU; ACHARYA, 2014), a depender das condições do processo. Segundo Torres e outros (2010), as alterações na cor da madeira sob o tratamento térmico são principalmente devido às reações de hidrólise e oxidação, devendo-se levar em consideração os princípios dos fenômenos de transporte envolvidos. A cor da biomassa torreficada também depende do tipo da biomassa bruta e de suas densidades (AYDEMIR; GUNDUZ; OZDEN, 2010). As mudanças e a transformação da hemicelulose e lignina sob a degradação térmica, o nível de pH, o teor de umidade, o meio de aquecimento, o tempo de exposição e o tipo de espécies utilizadas também produzem uma cor escura ao produto (TORRES et al., 2010). A cor da superfície da madeira é também afetada pela concentração de açúcares de baixo peso molecular, álcoois de açúcar e compostos nitrogenados (NHUCHHEN; BASU; ACHARYA, 2014).

Figura 7

Biomassas torrefeitas a diferentes temperaturas, tendo na parte superior o eucalipto e na parte inferior a algaroba



Fonte: elaboração própria.

Caracterização físico-química e energética das biomassas

Caracterização das biomassas in natura

Após secagem a 105 °C por 24 horas, as biomassas passaram pela etapa de pré-tratamento através da trituração e do peneiramento em malha de abertura de 0,15 mm (100mesh) para homogeneização das amostras.

A Tabela 2 apresenta as principais características físico-químicas e energéticas das biomassas de eucalipto e algaroba quanto a análise imediata, análise elementar e poder calorífico. Em geral, estes resíduos apresentam baixo poder calorífico, elevada relação oxigênio/carbono e baixa densidade energética, sendo combustíveis muito oxigenados e reativos, características que dificultam, muitas vezes, a sua utilização direta como energético. Da mesma forma, quando a utilização dessas biomassas é em local distante de sua origem ou estas precisam de armazenagem por longos períodos, podem ocorrer processos de degradação biológica, alterando ainda mais as suas características.

Neste sentido, o tratamento dessas biomassas através da torrefação, além de diminuir a umidade e aumentar a hidrofobicidade, visa melhorar sua densidade energética e propriedades físico-químicas, possibilitando sua armazenagem por longos períodos.

Tabela 2

Análise imediata e análise elementar das biomassas in natura de eucalipto e algaroba

Análise imediata (% base seca)						
	Umidade (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de voláteis (%)	Carbono fixo (%)		
Eucalipto	0,33	2,23	86,80	10,64		
Algaroba	0,21	2,87	86,48	10,44		
Análise elementar (% base seca)						
	C	H	N	O	H/C	O/C
Eucalipto	46,81	6,11	0,12	46,96	0,13	1,00
Algaroba	46,11	6,49	0,06	47,36	0,14	1,03
	Poder calorífico superior (MJ.Kg ⁻¹)		Poder calorífico inferior (MJ.Kg ⁻¹)			
Eucalipto	18,13		18,06			
Algaroba	16,33		16,24			

Fonte: elaboração própria.

Caracterização das biomassas torrefeitas

Na Tabela 3 é apresentada a caracterização das biomassas após torrefação a diferentes temperaturas. É possível verificar que o comportamento das propriedades do eucalipto e da algaroba são modificadas com o aumento da temperatura durante o processo, tendo influência direta na torrefação. À medida que a temperatura de torrefação é aumentada, a concentração de carbono aumenta, provocando a redução das relações H/C e O/C. O elevado teor de oxigênio da algaroba *in natura* ocasiona a baixa fração H/C observada na Gráfico 3, geralmente relacionada à composição química característica da lignina de espécies folhosas. Assim, o produto sólido a partir de uma biomassa torrificada com maior conteúdo de lignina torna-se com maior densidade energética em comparação com o de menor teor de lignina. Desse modo, uma eliminação

completa de ambos os conteúdos de celulose e hemicelulose da madeira produz um produto que pode ter densidade energética semelhante à do carvão (NHUCHHEN; BASU; ACHARYA, 2014).

Tabela 3

Análises imediata e elementar das biomassas torrefeitas de eucalipto e algaroba

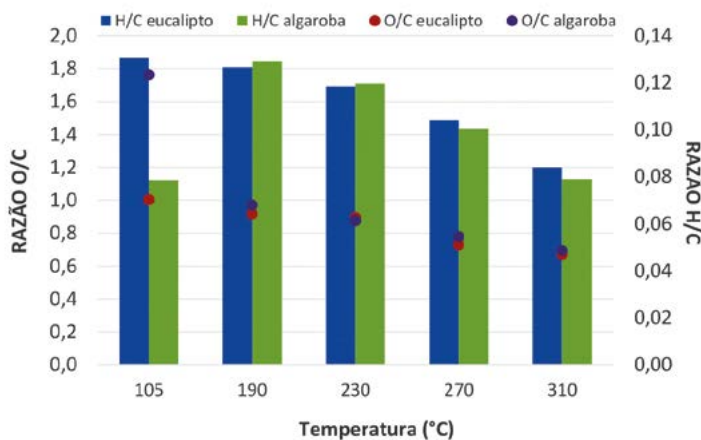
		Análise imediata (% base seca)					
		Umidade (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de voláteis (%)	Carbono fixo (%)		
Eucalipto	190°C	0,17	2,34	83,10	14,39		
	230°C	0,06	2,39	80,75	16,80		
	270°C	0,04	2,43	73,20	24,34		
	310°C	0,03	2,55	61,40	36,02		
Algaroba	190°C	0,01	3,13	83,86	13,00		
	230°C	0,01	3,25	74,92	21,82		
	270°C	0,00	3,97	72,65	23,38		
	310°C	0,00	4,41	62,94	32,65		
		Análise elementar (% base seca)					
		C	H	N	O	H/C	O/C
Eucalipto	190°C	48,84	6,18	0,18	44,81	0,13	0,92
	230°C	49,65	5,89	0,08	44,39	0,12	0,89
	270°C	54,49	5,68	0,06	39,79	0,10	0,73
	310°C	56,90	4,78	0,20	38,13	0,08	0,67
Algaroba	190°C	47,28	6,10	0,20	46,43	0,13	0,98
	230°C	49,73	5,95	0,24	44,08	0,12	0,89
	270°C	61,16	5,64	0,02	33,19	0,09	0,54
	310°C	66,62	4,95	0,00	28,44	0,07	0,43

Fonte: elaboração própria.

A Gráfico 4 apresenta o comportamento do teor de voláteis e carbono fixo de eucalipto e algaroba, respectivamente. Como o teor de voláteis diminui gradativamente e o teor de cinzas é comparativamente baixo, o carbono fixo residual tende a aumentar no produto torreficado em comparação com a madeira *in natura*. Em ambas as biomassas, o teor de voláteis é caracterizado por uma maior redução a temperaturas acima de 270 °C, conforme esperado. Quanto ao carbono fixo, obtido do teor de cinzas e voláteis, sofre um incremento positivo com o aumento da temperatura.

Gráfico 3

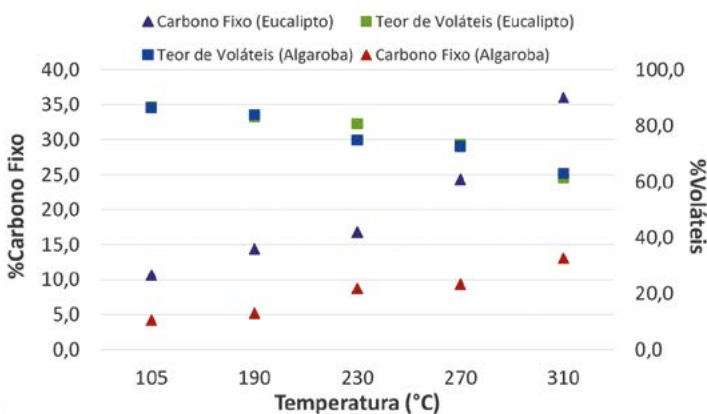
Relação entre as frações H/C e O/C de eucalipto e algaroba



Fonte: elaboração própria.

Gráfico 4

Influência da torrefação no comportamento do teor de voláteis e carbono fixo do eucalipto e da algaroba



Fonte: elaboração própria.

Os resultados do poder calorífico superior das amostras após a torrefação estão apresentados na Tabela 4, variando entre 19,05 e 25,48 MJ.kg⁻¹ para o eucalipto e entre 18,74 e 26,85 MJ.kg⁻¹ para a algaroba. Além do carbono fixo, nota-se que o aumento da temperatura de torrefação tem influência no aumento direto do PCS e, conseqüentemente, do PCI. No entanto, o aumento da temperatura de torrefação, acima de 250 °C, causa a redução exponencial no rendimento de sólidos (BERGMAN et al., 2005).

A utilização da biomassa para fins energéticos depende de diversos aspectos, como sua natureza, origem, tecnologia de conversão e produtos energéticos derivados

Tabela 4

Poder calorífico superior e inferior das biomassas torrefeitas de eucalipto e algaroba

		Poder calorífico superior (MJ.Kg ⁻¹)	Umidade (%)	Poder calorífico inferior (MJ.Kg ⁻¹)
Eucalipto	190°C	19,05	0,17	19,01
	230°C	19,90	0,06	19,88
	270°C	21,57	0,04	21,56
	310°C	25,48	0,03	25,47
Algaroba	190°C	18,74	0,01	18,74
	230°C	20,02	0,01	20,02
	270°C	23,14	0,00	23,14
	310°C	26,85	0,00	26,85

Fonte: elaboração própria.

Quando utilizada em fornos industriais, a biomassa com excesso de umidade prejudica o rendimento e pode causar danos físicos aos equipamentos. Por sua vez, quanto menor o teor de umidade da biomassa menor será o seu consumo por volume de energia desejado. O baixo teor de umidade e o caráter hidrófobo são características desejáveis, pois favorecem o transporte da biomassa, já que o custo do transporte é menor porque a quantidade de energia potencial por volume transportado é muito maior (FELFLI, 1999).

Dessa forma, a torrefação mostrou-se como um processo de melhoria das propriedades energéticas das biomassas, já que, considerando-se as biomassas cruas (base seca) em relação às biomassas após a torrefação, observa-se um incremento de, pelo menos, 70% e 60% no PCS para o eucalipto e a algaroba, respectivamente.

Quanto ao poder calorífico inferior, o seu valor final sofre influência direta do teor de umidade. Na prática, o PCI apresenta um valor mais exato do calor liberado pelo combustível.

PERSPECTIVAS E APLICAÇÕES DA TORREFAÇÃO

A utilização da biomassa para fins energéticos depende de diversos aspectos, como sua natureza, origem, tecnologia de conversão e produtos energéticos derivados. A relevância da biomassa para utilização na matriz energética deriva não só da qualidade da sua origem natural, mas, sobretudo, das tecnologias convencionais utilizadas.

Segundo Tumuluru e outros (2011), a utilização da biomassa para geração de energia pode trazer uma série de benefícios ambientais. No entanto, as restrições ao uso de biomassa podem incluir elevados investimentos em logística e incerteza na segurança do fornecimento de matéria-prima, devido às variações sazonais e, na maioria dos países, à limitada infraestrutura de abastecimento de biomassa.

Os países desenvolvidos têm visto o pré-tratamento da biomassa por torrefação como uma excelente alternativa na transição do carvão mineral para uso de *pellets* torrefeitos de madeira em usinas de energia, já que não necessita de cuidados especiais, de reconstrução dispendiosa de instalações de armazenamento e manuseio específico.

Além do mercado interno brasileiro, atualmente, cerca de cinco milhões de toneladas de *pellets* de madeira são transportadas a longas distâncias por via marítima internacional, segundo a World Energy Council (2016). A Europa vem sendo o centro das atenções, com Suécia, Holanda, Dinamarca, Reino Unido e Itália destacando-se como intensos consumidores de *pellets*. Canadá, EUA e Rússia são grandes exportadores de *pellets* de madeira, enquanto novos produtores estão emergindo em países como Brasil, África do Sul, Austrália e Nova Zelândia. O Japão e a Coreia do Sul estão surgindo como consumidores, com expectativas crescentes ao longo dos próximos anos. E o mercado, por sua vez, não apresenta sinais de diminuição no transporte de *pellets* intercontinentais.

A densificação da biomassa torrefeita, visando aumentar a densidade de energia, é outra importante operação unitária levada em consideração para uso final deste material. A densificação por peletização ou briquetagem aumentará também significativamente a densidade energética da biomassa em base volumétrica. A densificação da biomassa auxiliaria no transporte em navios devido ao fato de que o transporte de combustíveis sólidos em navios é limitado em volume e não em massa, agregando valor à economia da cadeia de suprimentos e exportação no Brasil.

Conforme apresentado, as características da biomassa são alteradas pela torrefação. O pré-tratamento termoquímico da biomassa através da torrefação altera positivamente algumas importantes características físico-químicas nas matérias-primas, conforme visto neste trabalho. Estas melhorias na composição da biomassa estão diretamente relacionadas com o aumento da temperatura e maior tempo de residência utilizados na torrefação. Assim como pelo tamanho de partícula, tipo de aquecimento e tipo de biomassa utilizados. Obtém-se, assim, um material de fácil moagem e hidrofóbico o suficiente para ser armazenado ao ar livre, e de alta densidade energética, reduzindo custos efetivos com transporte e manuseio.

Segundo Batidzirai e outros (2013), a maioria das atuais tecnologias de torrefação em desenvolvimento é baseada em conceitos de reatores já existentes destinados para outros fins, como a secagem ou pirólise e que, portanto, exigem melhoramentos técnicos para aplicações de torrefação. Assim, não se tem uma tecnologia superior a outra, exigindo-se

O pré-tratamento termoquímico da biomassa através da torrefação altera positivamente algumas importantes características físico-químicas nas matérias-primas, conforme visto neste trabalho

Ao longo dos últimos anos, a porcentagem de geração de eletricidade derivada de biomassa aumentou e, à medida que o interesse global por esta nova tecnologia aumenta, a busca por combustíveis torrefeitos tende a ser valorizada

apenas que sejam observadas as vantagens e desvantagens de cada uma, de acordo com a biomassa a ser utilizada. A seleção adequada do reator é importante, pois cada sistema possui características únicas, devendo ser observados os tipos específicos de biomassa a serem utilizadas e suas aplicações.

Aliado a isso, o processo de torrefação tem o potencial de melhorar o caráter de sustentabilidade da indústria de energia (gerador/usuário) e minimizar a poluição ambiental gerada na cadeia de suprimentos. Ao longo dos últimos anos, a porcentagem de geração de eletricidade derivada de biomassa aumentou e, à medida que o interesse global por esta nova tecnologia aumenta, a busca por combustíveis torrefeitos tende a ser valorizada. A biomassa torrefeita apresenta uma gama de propriedades melhoradas em comparação com os combustíveis de biomassa sólida usuais, além de um combustível mais homogêneo com propriedades menos dispersas. No entanto, as propriedades do material torrefeito dependerão do tipo de biomassa e, mais ainda, do tipo de torrefação feita em escala industrial e do processo de densificação aplicado para produzir o produto final.

Assim, é necessário o direcionamento de pesquisas sobre a combinação desses fatores de influência para a obtenção do espectro completo das propriedades potenciais da biomassa torrefeita por região no Brasil.

CONCLUSÃO

As matérias-primas utilizadas neste trabalho mostram-se potenciais no desenvolvimento de tecnologias de conversão da biomassa em energia. O uso da algaroba (*Prosopis juliflora*) é bastante promissor e inovador, já sendo comumente utilizada no semiárido nordestino como fonte energética para curtumes, cerâmicas, padarias, pizzarias e fornos, dentre outras aplicações. Devido também à grande utilização do eucalipto (*Eucalyptus grandis*) em trabalhos científicos, seu papel foi fundamental na comparação e validação dos dados e informações obtidos na torrefação. Além de que esta biomassa representa cerca de 1% do território baiano, com 617 mil hectares de florestas plantadas, equivalentes a, aproximadamente, 10% do total brasileiro.

O processo de torrefação como tecnologia de pré-tratamento de biomassas mostrou-se uma excelente alternativa para a melhoria das propriedades físico-químicas e energéticas do eucalipto e da algaroba, realizada no reator e no sistema desenvolvido. Dessa forma, o reator de torrefação atendeu ao objetivo deste trabalho e encontra-se pronto para utilização em estudos mais detalhados acerca do tratamento ter-

moquímico de biomassas. No entanto, deve ser verificada a sua associação com processos sequenciais de compactação ou densificação da biomassa para, assim, se obter melhor aproveitamento energético final. Devem-se, ainda, realizar estudos para melhorar a eficiência energética global do processo, por exemplo, através da reutilização dos produtos e coprodutos gerados.

Faz-se necessária a realização de estudos aprofundados sobre a torrefação com diferentes biomassas regionais, a densificação de biomassas torrefeitas, a modelagem matemática e computacional do sistema de torrefação, a caracterização e proposição para reutilização da fase líquida gerada, a aplicação do *looping* químico ao sistema e a interseção com outras áreas do conhecimento, tais como: eficiência energética, dendroenergia, química verde, *waste to energy*, *biomass to liquid*, associativismo e cooperativismo, dentre outros.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Brasília: ANEEL, 2012.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

ARIAS, B. et al. Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass. *Fuel Processing Technology*, [S.l.], v. 89, p. 169-75, 2008. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.853.2880&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO BAIANA DAS EMPRESAS DE BASE FLORESTAL. *Relatório ABAF 2015*: ano base 2014. Salvador: ABAF, 2015. Disponível em: <<http://www.abaf.org.br/wp-content/uploads/2015/12/Bahia-Florestal-2015.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2017.

ASTM INTERNATIONAL. *ASTM E 871-82*: standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels. Onshohocken, PA: ASTM International, 1998. Disponível em: <<ftp://185.72.26.245/Astm/2/01/Section%2011/ASTM1106/PDF/E871.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2016.

_____. *ASTM E1756-08*: standard test method for determination of total solids in biomass. Onshohocken, PA: ASTM International, 2008. Disponível em: <<ftp://185.72.26.245/Astm/1/03/E/ASTM%20E%201756-08.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2016.

Devem-se, ainda, realizar estudos para melhorar a eficiência energética global do processo, por exemplo, através da reutilização dos produtos e coprodutos gerados

ASTM INTERNATIONAL. *ASTM E1755-01*: standard test method for ash in biomass. Onshohocken, PA: ASTM International, 2007. Disponível em: <ftp://185.72.26.245/Astm/1/03/E/ASTM%20E%201755-01(2007).pdf>. Acesso em: 10 maio 2016.

_____. *ASTM D 5832-98*: standard test method for volatile matter content of activated carbon samples. Onshohocken, PA: ASTM International, 2008.

_____. *ASTM D 5291-02*: standard test methods for instrumental determination of carbon, hydrogen and nitrogen in petroleum products and lubricants. Onshohocken, PA: ASTM International, 2010. Disponível em: <ftp://185.72.26.245/Astm/1/Section%2005/ASTM0502/PDF/D5291.pdf>. Acesso em: 10 maio 2016.

_____. *ASTM D-2015-00*: standard test method for gross calorific value of coal and coke by the adiabatic bomb calorimeter. Onshohocken, PA: ASTM International, 2000.

AYDEMIR, D; GUNDUZ, G; OZDEN, S. The influence of thermal treatment on color response of wood Materials. *Color Research and Application*, [S.l.], v. 34, n. 02, p. 148-153, Apr. 2010.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2016: ano base 2015. Brasília: MME, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioInicial.aspx?anoColeta=2017&anoFimColeta=2016>. Acesso em: 15 jun. 2017.

BATIDZIRAI, B. et al. Biomass torrefaction technology: techno-economic status and future prospects. *Energy*, [S.l.], v. 62, p. 196-214, Dec. 2013.

BERGMAN, P. C. A. et al. Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations. July 2005. Disponível em: <Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations. Energy Research Centre of the Netherlands>. Acesso em: 12 mar. 2017

EMPRESA DE PESQUISA E ENERGÉTICA. *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília: MME: EPE, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano%20Nacional%20de%20Energia%20E%80%93%20PNE/Estudos_12.aspx>. Acesso em: 15 jun. 2017.

FELFLI, F. E. F. *Melhoramento das características energéticas de resíduos de biomassa através da torrefação*. 1999. 115 f. Dissertação (Pós-Graduação)-Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

INTERNATIONAL AGENCY ENERGY. *The international energy outlook 2016*. Washington, DC: EIA, 2016. Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf>. Acesso em: 15 jun. 2017.

KEIPI, T. et al. The effect of torrefaction on the chlorine content and heating value of eight woody biomass samples. *Biomass and Bioenergy*, [S.l.], v. 66, 2014. Disponível em: <[https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/the-effect-of-torrefaction-on-the-chlorine-content-and-heating-value-of-eight-woody-biomass-samples\(8e2a8c04-535e-45c8-9c53-a4099b6caf4c\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/the-effect-of-torrefaction-on-the-chlorine-content-and-heating-value-of-eight-woody-biomass-samples(8e2a8c04-535e-45c8-9c53-a4099b6caf4c).html)>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MACEDO, L. A. de. *Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação*. 2014. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.80.747>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

MEDIC, D. et al. Effects of torrefaction process parameters on biomass feedstock upgrading. *Fuel*, [S.l.], v. 91, n. 1, p. 147-154, Jan. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.07.019>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

NASCIMENTO, C. E. S. *Comportamento invasor da algarobeira Prosopis juliflora (Sw) DC. nas planícies aluviais da caatinga*. 2008. 116. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Recife, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/517>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

NHUCHHEN, D. R.; BASU, P.; ACHARYA, B. A. Comprehensive review on biomass torrefaction. *International Journal of Renewable Energy & Biofuels*, [S.l.], v. 2014, Apr. 2014. Disponível em: <<http://ibimapublishing.com/articles/IJREB/2014/506376/506376.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2016.

OLIVEIRA, M. L. R. de. *Mensuração e modelagem do crescimento e da produção de povoamentos não-desbastados de clones de eucalipto*. 2007. 103f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

PIMCHUAI, A.; DUTTA, A.; BASU, A. Torrefaction of agriculture residue to enhance combustible properties. *Energy Fuels*, [S.l.], v. 24, p. 4638-4645, 2010.

REZENDE, Marco Antônio de. *Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama*. 1997. Tese (Livre-docência)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 1997.

RIBASKI, J. et al. *Algaroba (prosopis juliflora): árvore de uso múltiplo para a região semiárida brasileira*, Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2009. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 240). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/661908/1/CT240Prosopis.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2016.

SARVARAMINI, A.; LARACHI, F. Integrated biomass torrefaction: chemical looping combustion as a method to recover torrefaction volatiles energy. *Fuel*, v. 116 , p. 158-167, 2014. Disponível em: <https://www.tib.eu/en/search/id/ceaba%3ACEAB20131107536/Integrated-biomass-torrefaction-Chemical-looping/?tx_tibsearch_search%5Bsearchspace%5D=tn>. Acesso em: 15 jun. 2017.

SATPATHY, S. K. et al. Torrefaction of wheat and barley straw after microwave heating. *Fuel*, [S.l.], v. 124, p. 269-278, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277450753_Torrefaction_of_wheat_and_barley_straw_after_microwave_heating>. Acesso em: 15 jun. 2017.

SCHORR, C.; MUINONEN, M.; NURMINEN, F. *Torrefaction of biomass*. Mikkeli, FI: Miktech Ltd, 2012. p. 55. Disponível em: <http://biosaimaa.fi/wp-content/uploads/2012/11/Torrefacion_of_biomass__Julkaisu_1_2012__06032012.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2017.

TRAN, K. Q. et al. Stump torrefaction for bioenergy application. *Applied Energy*, v. 112, n. C, p. 539-546, 2013. Disponível em: <https://econpapers.repec.org/article/eeeappene/v_3a112_3ay_3a2013_3ai_3ac_3ap_3a539-546.htm>. Acesso em: 13 abr. 2017.

TORRES, S. S. et al. Causes of color changes in wood during drying. *Forestry Studies in China*, [S.l.], v. 12, n. 04, p. 167-175, 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11632-010-0404-8>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

TUMULURU, J. S. et al. A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications. *Industrial Biotechnology*, [S.l.], v. 07, n. 5, p. 384-401, Oct. 2011. Disponível em: <<http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ind.2011.7.384>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

WORLD ENERGY COUNCIL. Report World Energy Resources 2016. Oct. 2016. Disponível em: <<https://www.worldenergy.org/publications/2016/world-energy-resources-2016/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

Resumo

Esse trabalho é fruto de um projeto de pesquisa em andamento na Universidade Federal da Bahia e objetiva analisar o Programa Nacional de Produção e Uso de Biocombustíveis (PNPB), assim como a cadeia produtiva de biodiesel no estado da Bahia. Para tanto, procura-se abordar as seguintes questões: de que forma o PNPB está sendo desenvolvido? Quais matérias-primas estão sendo utilizadas na produção de biodiesel? Como ocorrem as relações socioprodutivas entre agricultores familiares e agentes do capital agroquímico-financeiro? Busca-se, assim, compreender de forma mais profunda os meandros da produção de biodiesel na área em questão. Os procedimentos metodológicos foram fundamentados no levantamento bibliográfico em livros, teses e revistas especializadas, na análise de dados e nas entrevistas. Os resultados preliminares demonstraram que há um processo de apropriação do agronegócio sobre o PNPB e que, ante essa lógica, a participação da agricultura familiar torna-se incerta e subalterna. Outra questão é que, no contexto nacional, a Bahia está muito distante de ter uma participação mais efetiva e autônoma no programa, pois existe uma forte concentração de capital nas regiões do eixo Centro-Sul do país em detrimento das regiões Norte e Nordeste.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Capital agroquímico-financeiro. Energia renovável.

Abstract

This work is the result of an ongoing research project at the Federal University of Bahia. The article aims to analyze the National Program for the Production and Use of Biofuels (PNPB) and the biodiesel production chain in the state of Bahia. In order to do so, we sought to discuss the following questions: How is the PNPB being developed? What raw materials are being used in biodiesel production? How are socio-productive relationships between family farmers and agents of the agrochemical-financial capital? From these questions we seek to understand in a deeper way the intricacies of biodiesel production in the area in question. The methodological procedures were based on bibliographical research in books, theses and specialized journals, data analysis and interviews. The preliminary results showed that there is a process of appropriation of agribusiness on the Program and that in this logic the participation of family agriculture is uncertain and subordinate. Another issue is that in the national context, Bahia is very far from having a more effective and autonomous participation in the PNPB, because there is a strong concentration of capital in the regions of the Center-South axis of the country to the detriment of the North and Northeast regions.

Keywords: Family farming. Agrochemical and financial capital. Renewable energy.

Energias renováveis: potencialidades e desafios da produção de biodiesel na Bahia

JOSÉ ANTONIO LOBO DOS SANTOS

Doutor em Geografia Humana, pela Universidade de São Paulo (USP); mestre em Geografia, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e licenciado em Geografia, pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Professor adjunto da UFBA com dedicação exclusiva; pesquisador no grupo Agricultura e Urbanização da USP; coordenador de Meio Ambiente da UFBA e coordenador do Núcleo de Pesquisas Regionais e Agrárias (Nera) da UFBA. professorloboo@gmail.com

CLEIDE DAIANE SOUSA DA CRUZ

Graduada em Geografia, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Pesquisadora do Núcleo de Pesquisas Regionais e Agrárias (Nera) da UFBA. daianesousacruz@gmail.com

O MUNDO CONTINUA sendo movido pela força avassaladora dos combustíveis fósseis. Infelizmente, apesar de muitos esforços particulares de alguns países e de setores da comunidade internacional, grande parte da produção global de energia continua lastreada em matrizes poluentes, principalmente na exploração e na utilização de petróleo.

Essa situação revela algumas questões fundamentais, a exemplo da dependência em relação aos combustíveis fósseis, especialmente o petróleo; dos graves impactos ambientais, e da urdidura de poder que cerca o concentrado e excludente mercado dos combustíveis fósseis. As crises energéticas mundiais e a imperativa necessidade de mudança por conta dos processos que estão levando ao aquecimento do planeta estão, cada vez mais, motivando vários países a adotarem procedimentos voltados à utilização de fontes energéticas alternativas, tais como os biocombustíveis.

A pauta científica e política sobre as mudanças climáticas e o consequente aquecimento global têm motivado e

A perspectiva de redução no consumo de combustíveis fósseis abre um imenso horizonte para a utilização de fontes renováveis e menos poluentes, aproveitando cada vez mais a energia do Sol, dos ventos, da biomassa e de outras nas atividades humanas

mobilizado investimentos na geração de energias limpas. Destaque também ao processo de estruturação de políticas governamentais na direção do desenvolvimento de projetos que abarcam uma perspectiva crescente de utilização de fontes renováveis na geração de energia. Diante desse contexto, a produção energética a partir de fontes eólica, solar e de biomassa tem crescido significativamente nos últimos anos.

Segundo estudo recente e publicado na Revista National Geographic (2017), em 2016 as temperaturas elevadas superaram o recorde histórico de 2015, atingindo 0,94^o C a mais que a média do século XX. O mesmo estudo aponta que a extensão do gelo no Ártico, medida em 7,2 milhões de quilômetros quadrados em 1979, foi reduzida para 4,71 milhões em 2016. A redução da banquisa de gelo implica uma relação dialética de intensificação do aquecimento, pois os raios solares deixam de ser refletidos e passam a ser mais absorvidos pelos oceanos mais escuros.

As mudanças climáticas, comprovadas por meio de diversos estudos que vão-se consolidando cada vez mais no cenário mundial, estão mobilizando um conjunto de ações globais que tem favorecido investimentos e o desenvolvimento de projetos voltados à geração de energia com utilização de fontes renováveis e menos poluentes. O debate sobre a necessidade de redução do uso dos combustíveis fósseis vem-se impondo de forma significativa na agenda dos países que compõem o G20 e nos grandes acordos internacionais, a exemplo do recente Acordo de Paris ratificado por 195 países. A perspectiva de redução no consumo de combustíveis fósseis abre um imenso horizonte para a utilização de fontes renováveis e menos poluentes, aproveitando cada vez mais a energia do Sol, dos ventos, da biomassa e de outras nas atividades humanas.

O Brasil vem-se consolidando com forte participação de fontes renováveis em sua matriz energética, chegando a 43,8% em 2017. A participação dessas fontes na oferta interna de energia elétrica será de 83,3% até o final de 2017, enquanto que, no mundo, este indicador é de 24,1%. Segundo dados do Ministério das Minas e Energia (BRASIL, 2017a), a geração de energia eólica no Brasil deverá passar de uma proporção de 5,3% para 6,5%, e a biomassa de 8,8% para 9,0% até o final de 2017. Destaque também para a produção de biocombustíveis, que vem ganhando expressividade no cenário global com o biodiesel produzido a partir de oleaginosas e gordura animal, e o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar.

Ao longo dos anos, o Brasil vem buscando desenvolver experiências na utilização de biocombustíveis com outros programas e iniciativas, a exemplo do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), lançado em 1975,

que intensificou a produção de etanol visando substituir os combustíveis veiculares derivados de petróleo. No rastro dessas iniciativas surge o atual Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) visando à produção e ao uso de biodiesel no país, porém, sob a perspectiva institucional da inclusão social e da redução de disparidades regionais.

Com base nas premissas apresentadas, esse artigo tem como objetivo principal analisar a produção de biodiesel e a estruturação do PNPB no estado da Bahia. Para tanto procura-se debater as seguintes questões: de que forma o PNPB está sendo desenvolvido? Que tipo de matéria-prima está sendo utilizada na produção de biodiesel? Quais são as principais empresas envolvidas na produção e comercialização de biodiesel? De que forma ocorrem as relações socioprodutivas entre agricultores familiares e agentes do capital agroquímico-financeiro? A partir dessas questões orientadoras para a escolha do tema e do aprofundamento da pesquisa é que se busca entender, de forma mais aprofundada, os meandros da produção de biodiesel no estado da Bahia.

Os procedimentos metodológicos foram fundamentados no levantamento bibliográfico – em livros, teses e revistas especializadas –, na análise de dados secundários em fontes específicas de coleta e processamento de dados e na aplicação de questionários aos agentes envolvidos diretamente no processamento e na produção de biodiesel. Este artigo está estruturado da seguinte forma: um texto introdutório, dois capítulos e as considerações finais.

PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL (PNPB)

Para a maioria dos estudiosos da área, as emissões de carbono respondem pela causa principal do aquecimento global. No ano de 2016, o teor médio anual de CO₂ ultrapassou o limiar de 400 partes por milhão, situação bem diferente do ano de 1832, quando o CO₂ medido totalizou 284 partes por milhão, o que mostra um forte processo de aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2017). Essa intensa quantidade de CO₂ vem acelerando a elevação da temperatura média do planeta, o que tem aumentado a instabilidade climática e as catástrofes diversas, a exemplo de ciclones tropicais, inundações, deslizamentos de terra, incêndios florestais, secas severas, crises hídricas, dentre outras.

Foi no bojo dessas constatações e transformações, além da existência de uma gama de outros interesses políticos e econômicos, que o PNPB foi oficialmente instituído por meio da Lei nº 11.097 (BRASIL, 2005a), tendo o objetivo de diversificar a matriz energética nacional, atendendo,

**As emissões
de carbono
respondem
pela causa
principal do
aquecimento
global**

O PNPB vem demonstrando uma forte contradição no âmbito econômico, pois, no discurso institucional, visava fortalecer a agricultura familiar brasileira e integrar parte desta ao processo de produção de biodiesel, gerando emprego e renda, porém, não é o que está sendo verificado na prática

de certa forma, às políticas internacionais que visam à diminuição dos Gases do Efeito Estufa (GEE). Inicialmente, para formar um mercado de biodiesel, foram definidas, pelo governo federal, algumas metas para mistura de biodiesel no óleo diesel proveniente do petróleo.

O estabelecimento de percentuais de mistura do biodiesel ao diesel fóssil iniciou-se, de forma ainda experimental, a partir de 2004, sendo a comercialização voluntária iniciada entre 2005 e 2007. Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2017), foi somente a partir de 2008 que entrou em vigor legalmente a mistura de 2% (B2), percentual que foi sendo gradualmente ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) ao longo dos anos, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1

Percentual (%) de adição de biodiesel ao diesel fóssil - Brasil

Mês/ano	Percentual (%) de adição de biodiesel ao diesel fóssil
Dez./2004 (facultativo)	2%
Jan./2008 (obrigatório)	2%
Jul./2008	3%
Jul./2009	4%
Jan./2010	5%
Ago./2014	6%
Nov./2014	7%
Mar./2017	8%
Mar./2018 (previsto)	9%
Mar./2019 (previsto)	10%

Fonte: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2016).

Conforme o MME (BRASIL, 2017a), as principais diretrizes do PNPB são: implantar um programa sustentável que possa promover a inclusão social, garantir preços competitivos e produzir biodiesel a partir de diferentes fontes de oleaginosas em diversas regiões do Brasil. Além disso, conta-se também com benefícios na seara ambiental e econômica. O PNPB vem demonstrando uma forte contradição no âmbito econômico, pois, no discurso institucional, visava fortalecer a agricultura familiar brasileira e integrar parte desta ao processo de produção de biodiesel, gerando emprego e renda, porém, não é o que está sendo verificado na prática.

Visando construir uma relação econômica entre o capital agroquímico-financeiro, materializado nos grupos financeiros e nas usinas produtoras de biodiesel, e os agricultores familiares, foi desenvolvida uma estrutura regulatória de mediação, o Selo Combustível Social (SCS). Esse instrumento definiu percentuais mínimos de aquisição de matérias-primas (oleaginosas) produzidas no âmbito da agricultura familiar e estabeleceu condições para que os produtores industriais de biodiesel

possam ter acesso a financiamentos específicos e benefícios tributários (BRASIL, 2005b). Esse selo representou “um projeto de produção de biodiesel, contemplando os critérios mínimos de inclusão social da agricultura familiar referentes às aquisições mínimas da agricultura familiar [...]” (BRASIL, 2005b, art. 2º). Cada região do Brasil possui uma porcentagem mínima de aquisição, conforme descrito abaixo:

O percentual mínimo de aquisições de matéria-prima do agricultor familiar, feitas pelo produtor de biodiesel para fins de concessão, manutenção e uso do Selo Combustível Social, fica estabelecido em: I - 15% (quinze por cento) para as aquisições provenientes das regiões Norte e Centro-Oeste; II - 30% (trinta por cento) para as aquisições provenientes das regiões Sudeste, Nordeste e Semiárido; III - 35% (trinta e cinco por cento) na safra 2012/2013, e 40% (quarenta por cento) a partir da safra 2013/2014, para as aquisições provenientes da região Sul. (BRASIL, 2012).

Respeitando os percentuais de aquisições das matérias-primas junto aos agricultores familiares, conforme estabelecido no SCS, as usinas de biodiesel ganham o direito de participar dos leilões semestrais da ANP para comercializar o biodiesel produzido e passam a ter acesso direto a melhores condições de financiamento junto aos bancos e instituições que operam no programa, e direito a diferenciação ou até isenção nos tributos do Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/Pasep) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (Cofins). De acordo com Santos (2013, p. 114), pode-se dizer que:

Em seu formato legal, o Selo Combustível Social se configura numa exigência institucional, presente no marco regulatório que visa criar garantias à participação da agricultura camponesa na produção de matérias-primas para a produção de biodiesel. O Selo vincula benefícios de financiamentos, tributários e de compra da matéria-prima, com preços preestabelecidos, de modo a tentar oferecer alguma segurança comercial aos camponeses e permitir certa organização ao setor de comercialização das matérias-primas. O Selo Combustível Social surgiu com o objetivo de estabelecer regras e determinados mecanismos para viabilizar um conjunto de relações entre empresas processadoras de biodiesel e os camponeses produtores de matérias-primas.

Para cada região do Brasil foi escolhida uma matéria-prima preferencialmente, levando-se em consideração as especificidades e o vínculo com a agricultura familiar. No Nordeste, a mamona foi posta como um dos principais insumos, pois a sua produção está concentrada no âmbito da agricultura familiar.

**No Nordeste,
a mamona foi
posta como um
dos principais
insumos,
pois a sua
produção está
concentrada
no âmbito da
agricultura
familiar**

A produção de biodiesel através de cooperativas de agricultores seria importante no desenvolvimento de economias rurais baseadas em recursos renováveis locais

De acordo com Abramovay e Magalhães (2007), é a primeira vez que o Estado organiza uma política que cria condições para que uma matéria-prima de determinada indústria venha de unidades produtivas da agricultura familiar. De outra forma, dificilmente existiria participação expressiva. Cabe destacar também que o SCS limita a participação dos agricultores familiares apenas como fornecedores de matéria-prima e, legalmente, não prevê uma possível autonomia com a produção de biodiesel por meio do fomento a organização de cooperativas de agricultores familiares ou agregação de valor à matéria-prima, dessa forma esses agricultores ficam a margem dos resultados de sua produção, o que os prejudica e limita a participação no PNPB de forma mais efetiva. Segundo Bender (1999 apud GARCEZ, 2008, p. 107),

A produção de biodiesel através de cooperativas de agricultores seria importante no desenvolvimento de economias rurais baseadas em recursos renováveis locais. A maioria do atual dinheiro, tanto público quanto privado, gasto em Pesquisa e Desenvolvimento em agricultura é destinada ao desenvolvimento de alimentos com alto valor agregado [...] para que este valor adicional vá aos agricultores e às economias rurais, ao invés de ir às empresas nacionais, são necessárias cooperativas de agricultores e pequenas companhias que usem matérias-primas locais [...]. Por exemplo, agricultores de uma cooperativa de biodiesel poderiam usar a torta da oleaginosa como ração animal e com isso aumentar os seus lucros.

O que se pode inferir é que o PNPB, e seus instrumentos de implantação, a exemplo do SCS, visam definir e estruturar uma política institucional de produção de biodiesel no Brasil. Definir percentuais de adição de biodiesel ao diesel fóssil, estruturar a organização dos leilões para que as empresas produtoras possam comercializar o biodiesel, estabelecer uma política específica de isenção de determinados impostos, orientar financiamentos ao processo produtivo e estabelecer ações de mediação e regras específicas nas relações entre empresas produtoras de biodiesel e agricultores familiares produtores de matérias primas. Santos (2012, p. 65) argumenta que:

Espera-se que o PNPB não seja somente mais um Programa voltado para garantir a existência de novos fluxos de capital no espaço, de forma excludente e concentrada, sob rígido controle de grupos hegemônicos. O PNPB, como fruto de políticas públicas orquestradas pelo Estado, deve se pautar por prioridades que levem em consideração a busca pela soberania energética do país, a democratização do acesso aos biocombustíveis, a inclusão participativa das mais diversas camadas sociais na gestão do Programa, a integração com outros programas de cunho social e a plena sintonia com uma política estrutural de redução das desigualdades no país.

Mesmo com todo esse arcabouço normativo, o que se verifica ao longo da pesquisa é que o PNPB, até o momento, não foi capaz de sanar questões fundamentais da produção de biodiesel no Brasil. A participação do capital agroquímico-financeiro cresce de forma acelerada por dentro da estrutura do Programa, os instrumentos do SCS estão surtindo pouco efeito, pois, de acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2017) mais de 80% da produção de biodiesel é fabricada a partir de matérias-primas oriundas do agronegócio e não da agricultura familiar, a produção está ocorrendo de forma muito concentrada, principalmente no eixo Centro-Sul do país, e controlada por poucas empresas de capital nacional e internacional, o que configura uma oligopolização do mercado e reforça desigualdades no processo produtivo e no acesso às riquezas oriundas do biodiesel.

O PNPB, até o momento, não foi capaz de sanar questões fundamentais da produção de biodiesel no Brasil

PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO ESTADO DA BAHIA

De acordo com o Censo Agropecuário de 2006, publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o estado da Bahia conta com 564.732 km² de extensão de área, possuindo o maior número de estabelecimentos de agricultores familiares do Brasil (665.831), além de contar com uma população rural de 3.914.430 habitantes (CENSO DEMOGRÁFICO, 2010). Dentre os agricultores baianos, mais de 80% são familiares, possuindo um perfil atraente para atender ao pilar social existente na proposta original do PNPB.

Até o ano de 2013, o estado da Bahia possuía quatro usinas de produção de biodiesel autorizadas pela ANP: a Biobrax, a Brasil Ecodiesel, a Comanche e a Petrobras Biocombustível (PBIO), com uma capacidade produtiva de 1.396,42 m³/dia. Parte dessas usinas deixou de operar no estado nos últimos anos, pois, dentre outros fatores, podem ter contribuído as “dificuldades de manutenção em sua produção, a conjuntura dos agricultores familiares envolvidos no PNPB e a forma como as políticas públicas do estado da Bahia, para o setor agroenergético, estão sendo direcionadas” (SILVA, 2015, p. 19). Deste modo, “a Comanche entrou em decadência e a Biobrax nunca conseguiu produzir biodiesel, apesar de ter arrematado lotes de leilões realizados pela ANP” (SILVA, 2015, p. 20).

A Região Nordeste tem baixíssima capacidade instalada de produção de biodiesel quando comparada a outras regiões do Brasil, pois a maioria das usinas está concentrada nos principais estados onde o agronegócio se ‘territorializou’ mais intensamente com ações políticas, econômicas e infraestrutura técnica, baseado na monocultura altamente mecanizada e na pecuária, tendo a grande propriedade como instrumento de poder.

Infelizmente os dados apontam que o PNPB, que foi criado como instrumento de inclusão da agricultura familiar e de combate às desigualdades regionais, não tem tido êxito na árdua tarefa de incentivar e mobilizar uma distribuição mais equilibrada dos investimentos produtivos na escala regional

Para se ter um parâmetro do tamanho das diferenças regionais, basta dizer que a Região Centro-Oeste tem uma capacidade produtiva de biodiesel instalada e autorizada pela ANP de 8.638,25 m³/dia, enquanto que o Nordeste conta com uma capacidade produtiva de apenas 1.405,13 m³/dia, seis vezes menor. A comparação não fica muito diferente com relação à Região Sul, que conta com uma capacidade produtiva de 8.106,33 m³/dia, 5,7 vezes maior que a do Nordeste (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2017).

Infelizmente os dados apontam que o PNPB, que foi criado como instrumento de inclusão da agricultura familiar e de combate às desigualdades regionais, não tem tido êxito na árdua tarefa de incentivar e mobilizar uma distribuição mais equilibrada dos investimentos produtivos na escala regional. O que se constata é que a única escala que vem sendo considerada nesse processo é a das ações territoriais do grande agronegócio, que expande suas relações de domínio por dentro do programa e cada vez mais concentra espacialmente a estrutura produtiva dos biocombustíveis no Brasil.

No momento atual, a Bahia dispõe de duas usinas de biodiesel, correspondendo a apenas 4% das 50 unidades de produção desse combustível existentes atualmente no Brasil, porém abriga duas dessas usinas, mais da metade das existentes na Região Nordeste, que detém um total de apenas três, sendo a terceira localizada no estado do Ceará.

Tabela 1

Quantidade de usinas de produção de biodiesel e capacidade de produção autorizada pela ANP em m³/dia por unidade territorial - Brasil/Nordeste/Bahia - Maio 2017

Unidade Territorial	Unidade de produção	Capacidade de produção autorizada (m ³ /dia)
Brasil	50	21.581,81
Nordeste	3	1.405,13
Bahia	2	1.103,42

Fonte: Boletim Mensal do Biodiesel (2017).

Entre as unidades de produção existentes no estado Bahia está a primeira usina, a Petrobras Biocombustíveis (Pbio), que foi instalada em Candeias, na Região Metropolitana de Salvador (RMS), sendo inaugurada em 2008 com capacidade de produzir 57 milhões de litros de biodiesel por ano. De acordo com Santos (2012), a planta foi ampliada em 2009, aumentando sua capacidade de produção em 90%, passando a ter condições de produzir até 108,6 milhões de litros de biodiesel por ano. Mais investimentos foram realizados, o que provocou novas obras de ampliação da usina que, a partir de 2010, passou a ter uma capacidade produtiva da ordem de 217 milhões de litros por ano.

Atualmente a Pbio-BA tem capacidade de produzir 603,42 m³/dia de biodiesel, as demais usinas da Petrobras estão localizadas em Quixadá (CE) e Montes Claros (MG), sendo que a produção acumulada da usina da Bahia é sempre superior às demais unidades de produção. Em função das atuais mudanças que estão ocorrendo na estrutura organizacional da Petrobras, a tendência é de diminuição contínua dos investimentos nas usinas de produção de biodiesel da empresa, inclusive a Pbio-BA, que já vive sob constante ameaça de redução drástica de suas atividades e até mesmo de fechamento. Tal situação é extremamente negativa, pois coloca em xeque e sob suspeita as atuais intenções da Petrobras no que compete à produção de energias renováveis. É importante que essas questões fiquem transparentes no plano estratégico de negócios da empresa.

A segunda usina de biodiesel, atualmente em atividade na Bahia, é a Óleos Vegetais Planalto (Oleoplan) Nordeste, antiga Brasil Ecodiesel e Vanguarda Agro (V-Biodiesel). De acordo com o Biodieselbr (2012), a V-Biodiesel anunciou, em 2012, que concluiu a venda das usinas localizadas em Iraquara (BA) e Porto Nacional (TO) para a Oleoplan, por R\$ 100 milhões. A Oleoplan é uma empresa fundada em 1980 para atuar no esmagamento de soja no Rio Grande do Sul, e apenas em 2005 deslocou investimentos para o setor de produção de biodiesel devido às oportunidades produtivas e fiscais do PNPB. A Oleoplan Nordeste está localizada em Iraquara, distante 470 km de Salvador e, segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2017b), tem capacidade produtiva de 360 m³/dia, tendo sua capacidade ampliada para 500 m³/dia. Segundo a própria usina, a proximidade com mercados que possuíam deficiência de suprimento foi o principal atrativo para o estado e a região.

Processo produtivo e matérias-primas

Apesar dos percentuais estabelecidos no SCS de utilização de determinadas matérias-primas para a Região Nordeste, é possível constatar que a produção de biodiesel encontra-se sustentada na soja e na gordura bovina. Situação extremamente contraditória, pois as regras estabelecidas pelo SCS definem um percentual mínimo de 30% de matérias-primas oriundas da agricultura familiar, no entanto, verifica-se que a mamona, o pinhão manso e o girassol não estão sendo utilizados na produção, já o dendê aparece de forma reduzida e intermitente. Essas matérias-primas são consideradas oleaginosas com grande potencial produtivo pela agricultura familiar na citada região, porém estão sendo totalmente excluídas do processo de produção de biodiesel em função de interesses oligopolistas de mercado.

Apesar dos percentuais estabelecidos no SCS de utilização de determinadas matérias-primas para a Região Nordeste, é possível constatar que a produção de biodiesel encontra-se sustentada na soja e na gordura bovina

A Bahia sempre foi muito visada pelos gestores do PNPB e pelo setor agroquímico-financeiro como um estado com grande potencial para a implantação de projetos focados na produção de matérias-primas e do próprio biodiesel

Com base nos dados da Tabela 2, pode-se afirmar que a soja e a gordura bovina respondem por, aproximadamente, 80% do produto básico utilizado na produção de biodiesel. Essa realidade, que é ainda mais expressiva no âmbito da produção nacional (chega a 90%), revela o forte predomínio da estrutura do agronegócio no PNPB. Esse amplo controle do capital agroquímico-financeiro sobre a estrutura da produção também se manifesta em terras baianas com grande participação, sobretudo, da soja e do algodão produzidos na região oeste do estado da Bahia.

Tabela 2

Percentual das matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel - Nordeste - Jan.-maio 2017

(%)

Descrição da matéria-prima	Jan. 2017	Fev. 2017	Mar. 2017	Abr. 2017	Mai 2017
Óleo de soja	47,02%	37,25%	60,50%	65,52%	48,16%
Gordura bovina	20,61%	34,16%	26,23%	32,23%	33,38%
Óleo de algodão	5,77%	0,00%	3,51%	0,00%	0,00%
Outros materiais graxos	7,08%	0,00%	6,76%	2,25%	18,32%
Óleo de fritura usado	0,03%	0,31%	0,18%	0,00%	0,00%
Gordura de porco	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Gordura de frango	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de palma/dendê	19,49%	28,29%	2,82%	0,00%	0,14%
Óleo de girassol	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de mamona	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de nabo-forrageiro	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de pinhão-manso	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de milho	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de colza/canola	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Boletim Mensal do Biodiesel (2017).

A Bahia sempre foi muito visada pelos gestores do PNPB e pelo setor agroquímico-financeiro como um estado com grande potencial para a implantação de projetos focados na produção de matérias-primas e do próprio biodiesel. A presença de um consolidado polo industrial na RMS, as facilidades logísticas de acesso a grandes rodovias e a portos, a forte presença de estrutura produtiva do agronegócio e o potencial da agricultura familiar com importantes oleaginosas, a exemplo da tradicional produção de mamona no a Região de Irecê, serviram como elementos de estímulo ao capital que atua diretamente no campo da produção de *commodities* e biodiesel.

As potencialidades do estado da Bahia para a produção de biodiesel são retratadas também por Krohling e outros (2009, p. 665):

O estado merece destaque especial por apresentar condições adequadas para produzir diversas oleaginosas que são matérias-primas para a produção do biodiesel, principalmente a mamona, a soja, o dendê, o algodão, o girassol, que recentemente vem sendo introduzido em algumas áreas do estado, e o pinhão manso, que se apresenta como uma excelente alternativa para o semiárido [...].

Esse potencial atraiu investimentos que se materializaram em quatro usinas de biodiesel no estado até o ano de 2013. A concentração de usinas de biodiesel na Bahia, em relação ao Nordeste, pode ser destacada, dentre outros fatores, devido a sua produção no âmbito dessas matérias-primas, sendo que o oeste baiano configura-se como o maior produtor de grãos do Nordeste, com a presença de agrofúndios, aliado a um processo produtivo altamente tecnificado e fundamentado em um modelo concentrador que visa prioritariamente atender ao mercado externo.

Essa associação entre o grande agronegócio e as expectativas e possibilidades abertas pelo PNPB por meio de financiamentos e benefícios fiscais colocou a Bahia na rota dos investimentos do setor de energias renováveis. Na prática, o que vem acontecendo ao longo dos anos é que a já montada estrutura produtiva do setor agroquímico-financeiro vai anulando qualquer tipo de participação real da agricultura familiar na produção de biodiesel. Essas constatações colocam o PNPB diante de grandes contradições, pois a prioridade deveria ser a inclusão da agricultura familiar na ciranda produtiva, principalmente no semiárido.

A produção de soja no oeste baiano, sobretudo nos municípios de Formosa do Rio Preto, São Desidério, Luís Eduardo Magalhães, Correntina e Barreiras, apresentou um crescimento de aproximadamente 2.000% entre os anos de 1990 e 2015 (Tabela 3). Na produção correspondente ao ano de 2015, o estado da Bahia ocupou a colocação de sexto maior produtor de soja do Brasil.

Tabela 3

Evolução da produção de soja - Oeste da Bahia/estado da Bahia/Nordeste/Brasil - 1990-2015

	Soja 1990 (t)	Soja 2000 (t)	Soja 2015 (t)
Oeste da Bahia	220.402	1.508.115	4.503.833
Bahia	220.416	1.508.115	4.513.633
Nordeste	225.502	2.063.859	8.386.412
Brasil	19.897.804	32.820.826	97.464.936

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal (2016).

O forte crescimento da produção de soja no oeste da Bahia segue o ritmo das demandas do mercado global, principalmente por farelo de soja para alimentação animal e produção de alimentos pela indústria do setor.

Na prática,
o que vem
acontecendo
ao longo dos
anos é que a
já montada
estrutura
produtiva
do setor
agroquímico-
financeiro
vai anulando
qualquer tipo
de participação
real da
agricultura
familiar na
produção de
biodiesel

No oeste baiano existe uma série de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento agrário, destacando-se projetos voltados para a irrigação, em grande parte para impulsionar o agronegócio, mas não para beneficiar a população rural de baixo poder aquisitivo

Ao analisar a produção das oleaginosas na Bahia, a partir de dados fornecidos pela Produção Agrícola Municipal do IBGE (2016), dispostos na tabela 4, percebe-se que também a produção de algodão está bastante consolidada, levando o estado a ser o segundo maior produtor dessa lavoura do país, perdendo apenas para o estado de Mato Grosso. Importantes municípios baianos têm destaque na produção de algodão, a exemplo de São Desidério, que está entre os maiores produtores do grão no país. Nos dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) de 2015 (2016), de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento “em termos municipais, São Desidério (BA) continua liderando o *ranking* nacional, com crescimento de 23,2% no valor da produção, que chegou a R\$ 2,8 bilhões, sendo o algodão a principal cultura [...]”.

Tabela 4

Evolução da produção de algodão - Oeste da Bahia/estado da Bahia/Nordeste/Brasil - 1990-2015

	Algodão 1990 (t)	Algodão 2000 (t)	Algodão 2015 (t)
Oeste da Bahia	1.164	121.835	1.189.702
Bahia	109.361	132.675	1.196.663
Nordeste	151.324	244.201	1.338.017
Brasil	1.783.175	2.007.102	4.066.791

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal (2016).

Assim como a produção da soja, o algodão no oeste baiano apresentou um expressivo crescimento entre as décadas de 1990 e 2015. Segundo Barreto (2008), até os anos 1970, o oeste baiano tinha pouca expressão econômica, porém as políticas de integração nacional praticadas desde os anos 1950 contribuíram para a inclusão da área no processo de expansão das fronteiras agrícolas, introduzindo a cultura de grãos e tendo a soja como principal lavoura.

A forte territorialização da cultura de grãos na região oeste da Bahia registra um intenso processo de ocupação e utilização massiva dos recursos naturais do cerrado brasileiro. As supressões da vegetação conjugada com a utilização intensiva dos solos e dos recursos hídricos dão o ritmo da marcha ditada pelo capital, avalizada pelo Estado, incorporada pela elite agrária nacional e violentamente absorvida pelos posseiros, ribeirinhos e comunidades tradicionais que historicamente sempre viveram no cerrado. Essa territorialização destacou o oeste baiano como importante área de expansão da fronteira agrícola e de produção de grãos, a exemplo da soja, do milho e do algodão, cujos preços são definidos nos mercados internacionais.

De acordo com as ideias de Fernandes, Lobão e Vale (2009), no oeste baiano existe uma série de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento agrário, destacando-se projetos voltados para a irrigação, em

grande parte para impulsionar o agronegócio, mas não para beneficiar a população rural de baixo poder aquisitivo.

O abandono das matérias-primas propostas no cerne do PNPB para a produção de biodiesel acentua a situação de exclusão da agricultura familiar e de suas culturas tradicionais. O Nordeste, que teria a mamona como principal oleaginosa, está em descompasso com o programa, pois essa matéria-prima nem aparece nos dados de produção. O que, na prática, tem-se revelado é que produzir biodiesel no estado da Bahia utilizando como insumos a soja, o algodão e a gordura bovina tem sido muito vantajoso do ponto de vista da logística e dos ganhos econômicos, pois a cadeia de produção já está estruturada e com capacidade de fornecer os produtos em quantidades significativas. Vale salientar que o investimento voltado para a promoção da agricultura familiar está sendo aplicado para beneficiar o agronegócio, atendendo às demandas capitalistas dos grandes latifúndios existentes e do capital agroquímico-financeiro.

O abandono das matérias-primas propostas no cerne do PNPB para a produção de biodiesel acentua a situação de exclusão da agricultura familiar e de suas culturas tradicionais

AGRICULTURA FAMILIAR: LIMITES E POSSIBILIDADES NO PNPB

As regras do PNPB têm sido sistematicamente burladas, pois o percentual de 30% de utilização de matérias-primas oriundas da agricultura familiar não está sendo devidamente respeitado. Os dados evidenciam que a produção de biodiesel no Nordeste e na Bahia está sustentada basicamente em matérias-primas oriundas do grande agronegócio. Empresas produtoras de biodiesel no estado firmam contratos com agricultores familiares, compram pequenas quantidades de mamona produzida por esses agricultores e, na reta final do processo, utilizam basicamente a soja e a gordura bovina para produzir o biodiesel. O óleo da mamona, que é bastante valioso e cobiçado no mercado, em vez de se transformar em biodiesel acaba sendo desviado para atender às demandas do setor da ricinoquímica.

A soja, que praticamente responde por 70% da produção de biodiesel no Brasil, é uma cultura de elevada mecanização, demandando poucos empregos. Segundo Netto e Braz (2009), o desemprego em massa não resulta do desenvolvimento das forças produtivas, e sim desse desenvolvimento desigual pautado em relações sociais de produção capitalista. Teodoro e outros (2005, p. 5) afirmam que:

[...] a população rural deixa de migrar para cidade e tenta se manter no campo. Porém, essa população não consegue emprego na agricultura do tipo patronal, pois esta absorve muito pouco da mão de obra existente. Nessa direção, a agricultura familiar torna-se importante como fator de geração de renda e empregos [...].

A concentração em apenas uma oleaginosa (a soja) é um grande entrave à inclusão dos agricultores familiares do Nordeste

À medida que as políticas públicas favorecem o agronegócio, estimulam-se a expulsão do homem e da mulher do campo e o aumento na concentração de terras. A migração campo-cidade de forma desequilibrada leva a uma apropriação excludente, pelo capital, do trabalhador livre, que só tem para vender o que lhe resta, no caso, a força de trabalho. A própria expansão do capitalismo ocorre na apropriação da força de trabalho que é a única capaz de criar valor e riquezas, conforme aponta Martins (1981, p. 152):

[...] os trabalhadores se transformam em trabalhadores livres, libertos de toda propriedade de que não seja a propriedade da sua força de trabalho, da sua capacidade familiar. Como já não são proprietários nem dos instrumentos de trabalho, nem dos objetos, das matérias-primas empregadas no trabalho, não têm outra alternativa senão a venda de sua força de trabalho ao capitalismo, ao patrão.

O capital garante a sua reprodução através das contradições existentes entre a proposta do programa e o que efetivamente acontece. A concentração em apenas uma oleaginosa (a soja) é um grande entrave à inclusão dos agricultores familiares do Nordeste. Essa situação não se limita apenas à Região Nordeste, mas ocorre em todo o Brasil, pois o predomínio da soja (70,87%) e da gordura bovina (12,12%) existe em escala nacional. Desse modo, fica explicado o porquê de as grandes usinas produtoras estarem concentradas nas regiões que possuem tradição no cultivo de soja, contribuindo com a concentração de renda e terra nas mãos de poucos que controlam a economia e a política nessas áreas.

Tabela 5

Usinas de biodiesel autorizadas por região - Brasil - Maio de 2017

Região	Nº de usinas	Capacidade total autorizada (m³/d)
Norte	3	671
Nordeste	3	1.405,13
Centro-Oeste	23	8.638,25
Sudeste	8	2.761,10
Sul	13	8.106,33
Brasil	50	21.581,81

Fonte: Boletim Mensal do Biodiesel (2017).

Diante desta situação, pode-se inferir que o fracasso na inclusão social dos agricultores familiares nordestinos, por meio da mamona, é evidente, pois os dados, na Tabela 5, apontam que o objetivo de priorizar as oleaginosas oriundas da agricultura familiar nas regiões Norte e Nordeste do Brasil não ocorreu, ante a produção vinculada ao agronegócio. De acordo com Buainain, Romeiro e Guanziroli (2003), a promoção da agricultura familiar não pode ocorrer com políticas e instrumentos isolados como vem acontecendo no Brasil, pois o desempenho é in-

fluenciado por um conjunto de condicionantes, tais como a disponibilidade de recursos, água, mão de obra, capital, instituições e inserção socioeconômica.

A mamona é largamente produzida no estado da Bahia, sendo que o cultivo desta lavoura respondeu por 96,6% do total nacional no ano de 2015. No estado, a produção está concentrada na Região de Irecê, principalmente nos municípios Cafarnaum, América Dourada, João Dourado, Lapão, dentre outros. Mesmo com tanto potencial produtivo e certa tradição, a mamona não é utilizada para produzir biodiesel na Bahia e nem no Brasil. O que acontece é que as empresas processadoras firmaram contratos com agricultores familiares da citada região produtiva, a Petrobras Biodiesel estabeleceu uma política de preço mínimo e assegurou parte da compra do produto. Nesta área existe um concorrido campo de disputa com os grandes atravessadores que, há muitas décadas, atuam na compra da mamona para comercializá-la com a indústria paulista da ricinoquímica.

De acordo com Ponchio (2004), existem muitos estudos sobre a produção da mamona, mas a sua cadeia produtiva não se encontra organizada, devido à oscilação de sua produção e preço ao longo dos anos, às flutuações da demanda externa e aos incentivos públicos inconstantes.

Tabela 6

Área, produção e produtividade da mamona - Brasil - Regiões do Brasil - 2015

Região	Área plantada (Hectares)	Produção (Toneladas)	Produtividade (Kg/Hectares)
Brasil	84.421	46.735	567
Norte	-	-	-
Nordeste	83.404	46.180	565
Sudeste	667	170	556
Sul	-	-	-
Centro-Oeste	350	385	1.100

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal (2016).

No que compete à produtividade da mamona no estado da Bahia, que está, segundo o IBGE (PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL, 2015), em 616 kg/ha, Santos (2012) argumenta que a orientação técnica disponibilizada pelas empresas produtoras de biodiesel na Região de Irecê tem sido realizada por técnicos contratados pelas cooperativas, com recursos das usinas produtoras, e ainda estão muito limitadas, não oferecendo capacitação, treinamentos, novos maquinários ou novas formas de cultivo para contribuir com o conhecimento do agricultor e, conse-

Existem
muitos
estudos sobre
a produção da
mamona, mas
a sua cadeia
produtiva não
se encontra
organizada,
devido à
oscilação de
sua produção
e preço ao
longo dos anos,
às flutuações
da demanda
externa e aos
incentivos
públicos
inconstantes

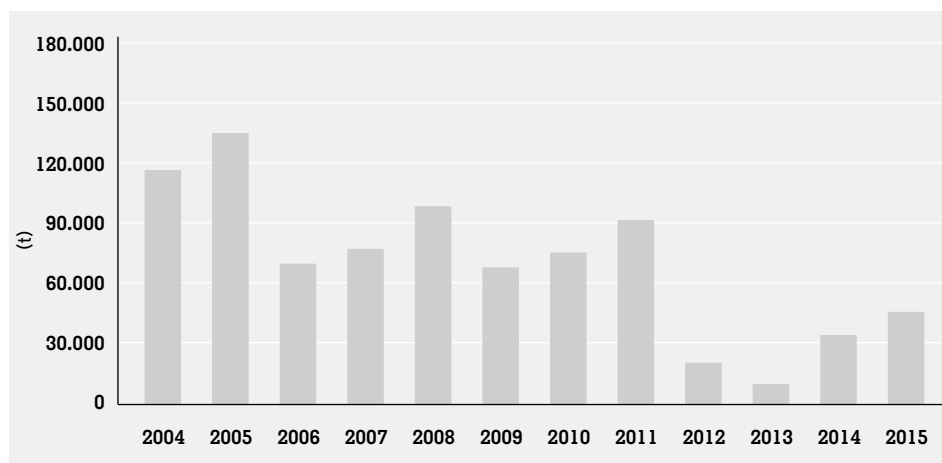
Aliada à conjuntura apresentada, a seca nos últimos anos tem contribuído para agravar a situação do agricultor familiar nordestino

quentemente, aumentar a sua produtividade. A situação exposta entra em contradição com o que é estabelecido no inciso II do artigo 11 da Instrução Normativa nº 01 (BRASIL, 2009, art. 11):

No planejamento e na implementação da assistência técnica e da capacitação, recomenda-se a observância dos seguintes princípios orientadores: [...] II - sustentabilidade dos sistemas de produção: processos de produção que respeitem a cultura, os conhecimentos dos agricultores familiares e os recursos naturais existentes, facilitando a adoção de práticas de integração dos fatores de produção convencionais e agroecológicos (adubação química e orgânica, uso de agentes biológicos e naturais), o uso e manejo adequado do solo e da água, práticas de rotação de culturas, regimes de safra e safrinha, consórcio de culturas, dentre outras, visando estruturar um processo de produção sustentável; [...].

Aliada à conjuntura apresentada, a seca nos últimos anos tem contribuído para agravar a situação do agricultor familiar nordestino, pois a mamona é uma tradicional fonte de renda, sobretudo nos momentos de seca mais severa, que acaba sobrepondo-se às demais culturas. Conforme dados apresentados na Figura 1, observa-se que na Região de Irecê, principalmente entre os anos de 2012 e 2013, houve uma queda muito acentuada na produção de mamona, e certamente a seca que o estado tem enfrentado nos últimos anos, com chuvas irregulares e baixos índices pluviométricos, contribuiu para este processo. Atualmente, observa-se uma lenta recuperação da produção de mamona na citada região.

Figura 1
Produção de mamona - Bahia - 2004-2015



Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal (2016).

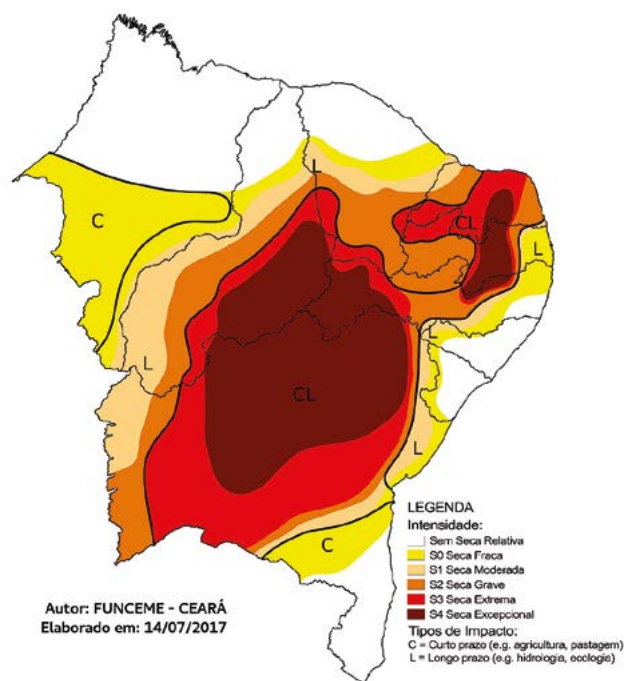
Mesmo com potencial produtivo, o semiárido sofre com diversos obstáculos, a exemplo da falta de assistência técnica e também de acesso à água, o que reduz a produtividade, dificulta a tomada de financiamentos para investir na produção, prejudica a organização dos agricultores e a estruturação de uma rede de cooperativas. Toda essa situação tem sido agravada nos últimos anos devido a uma das maiores secas que já atingiram a Bahia. De acordo com o site Biodieselbr (2016):

A cultura da mamona não foi a única que sofreu esse impacto de forma direta. A Organização Meteorológica Mundial (OMM), agência das Nações Unidas especializada em monitorar eventos climáticos, avaliou que 2011, 2012 e 2013 foram os piores anos de seca dos últimos 50 anos, e estimou em R\$ 20 bilhões os prejuízos com as diversas atividades agropecuárias da região atingida.

É importante destacar que, mesmo com a redução na produção, a mamona foi a cultura que mais resistiu a esse longo período de seca, levando alguma esperança ao agricultor familiar. Os cenários de seca extrema e excepcional estão presentes no Nordeste, como apresentado na Figura 2.

Figura 2

Monitor de secas - Nordeste - Jun. 2017



Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2017).

Mesmo com a redução na produção, a mamona foi a cultura que mais resistiu a esse longo período de seca, levando alguma esperança ao agricultor familiar

Interessante destacar que existe a reprodução do discurso de que a seca é responsável pelo subdesenvolvimento regional, porém esse fenômeno está vinculado a situações que vão além da estiagem

De acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2017), “Na Bahia, as chuvas que ocorreram no mês de junho, assim como em maio, se concentraram na faixa leste do estado, ou seja, na área da zona da mata e agreste, e não foram suficientes para minimizar a severidade da seca na maior parte do estado”. Devido a esses fatores, é possível identificar parte das causas da redução da produção de mamona ao longo dos anos. Interessante destacar que existe a reprodução do discurso de que a seca é responsável pelo subdesenvolvimento regional, porém esse fenômeno está vinculado a situações que vão além da estiagem, conforme aponta Carvalho (1988, p. 140):

Assim, a estrutura agrária constitui uma das fontes básicas do atraso no Nordeste Semiárido, em virtude de sua forte concentração nas mãos de um pequeno grupo de proprietários de terra, impedindo sua utilização econômica e social por quem queira e necessite fazer uso produtivo – os inúmeros pequenos produtores rurais.

Cabe destacar que a atual seca é a pior dos últimos 100 anos. Segundo Dourado (2013, p. 6), “a seca é um fenômeno limitante para o camponês, frequentemente desassistido pelas políticas públicas, já que a sua produção é destinada a atender aos mercados em escala local e regional”.

A Tabela 7 demonstra os valores referentes aos contratos firmados entre as usinas produtoras de biodiesel e os agricultores familiares entre os anos de 2008 e 2015. Os dados apresentados refletem a fraca participação do Nordeste com os gastos aplicados em contratos no âmbito do que determina as prerrogativas do SCS. Na distribuição regional fica claro que o Nordeste tem participação pouco expressiva diante das demais regiões, e a Região Norte, que também é foco do programa, nunca tinha alcançado dois dígitos até o ano de 2015. O que fica evidente é a existência de uma forte concentração dos contratos nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil.

Tabela 7

Valores referentes a contratos entre empresas e agricultores familiares – Regiões do Brasil – 2008-2015 (milhões R\$)

Região	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Norte	2,45	2,46	3,57	5,63	7,36	8,28	7,81	10,88
Nordeste	4,66	26,68	46,61	7,35	0,55	1,18	4,34	13,58
Centro-Oeste	121,27	202,71	243,2	294,99	434,02	526,36	527,51	521,07
Sudeste	3,98	21,08	42,07	54,08	92,6	129,8	97,84	136,84
Sul	144,16	423,70	723,24	1.157,12	1.575,97	2.189,58	2.615,33	3.259,83
Brasil	276,52	677,35	1.058,69	1.519,17	2.110,50	2.855,20	3.252,82	3.942,20

Fonte: Brasil (2017b).

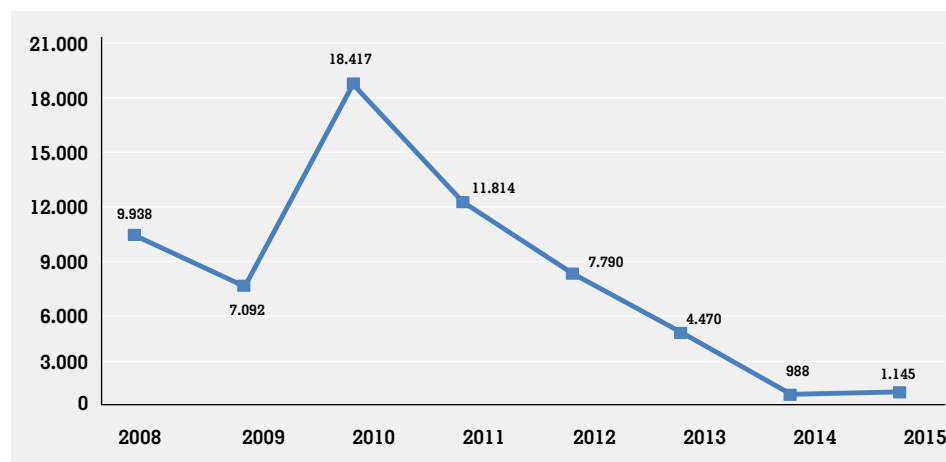
De um total de R\$ 3,9 bilhões movimentados por meio de contratos entre agricultores familiares e empresas processadoras de biodiesel no

ano de 2015, o Nordeste participou com apenas com R\$ 13,5 milhões, e o estado da Bahia com apenas R\$ 12,77 milhões. Os dados evidenciam uma participação ínfima dessas áreas no fluxo de capital envolvido nos contratos firmados no âmbito do PNPB.

A fragilidade da inclusão social dos agricultores familiares da Bahia no PNPB também é ilustrada na Figura 3, que expõe a forte redução na quantidade de agricultores inseridos nos contratos de fornecimento de matéria-prima para a produção de biodiesel que, no seu auge, em 2010, representou uma pequena porção dos estabelecimentos familiares da Bahia que, no total, era de 665.831 unidades (CENSO AGROPECUÁRIO, 2006).

Figura 3

Número de famílias fornecedoras de matéria-prima no âmbito do Selo Combustível Social - Bahia - 2008-2015



Fonte: Brasil (2017b).

A redução dos valores referentes aos citados contratos ocorre justamente pela diminuição da quantidade de famílias que fornecem a matéria-prima para as usinas dentro do SCS, pela seca associada ao crescimento da soja e pelo sebo bovino utilizado na produção de biodiesel em escala regional e nacional. Tal conjuntura vem deixando um espaço cada vez menor para a inserção do agricultor familiar no PNPB. Cabe destacar que a situação mostra-se mais acentuada no Nordeste, pois, no estado do Rio Grande do Sul, no ano de 2015, existiam 45.221 agricultores familiares e no Paraná, 11.166, fornecendo matéria-prima para o programa, devido à presença de agricultores familiares de médio porte e forte integração ao mercado, dedicados à produção de soja.

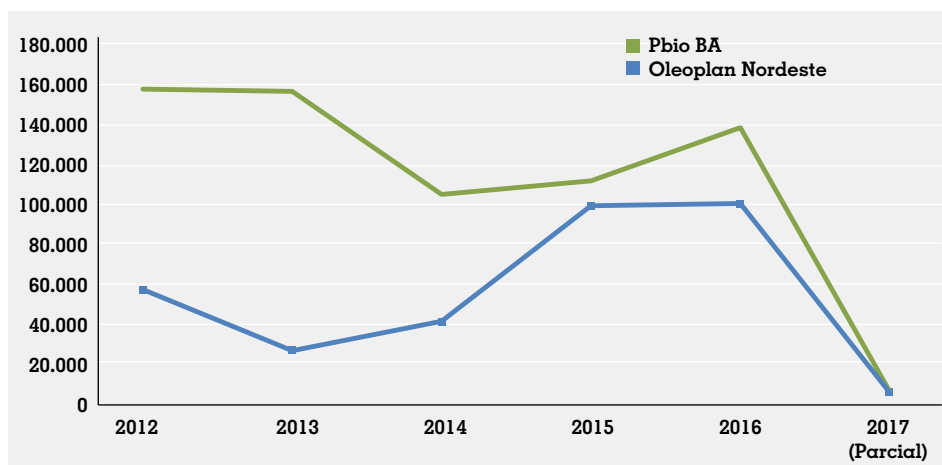
Para tentar solucionar o problema da inclusão social dos agricultores familiares do Nordeste no PNPB, o governo apostou na PBio, pois, teoricamente, esta sofre menos pressão por lucros rápidos e possui estrutura para organizar a cadeia produtiva dos agricultores familiares. As duas

Para tentar solucionar o problema da inclusão social dos agricultores familiares do Nordeste no PNPB, o governo apostou na PBio, pois, teoricamente, esta sofre menos pressão por lucros rápidos e possui estrutura para organizar a cadeia produtiva dos agricultores familiares

usinas de produção de biodiesel existentes no estado da Bahia possuem o SCS, mesmo tendo quase a totalidade do biodiesel produzido a partir da soja e da gordura bovina. Quanto à produção das usinas, verifica-se que, ao longo dos anos, a entrega de biodiesel da usina PBio-BA para os leilões da ANP foi reduzida (Figura 4).

Figura 4

Entrega de biodiesel referente aos leilões da ANP (m³) - 2012-2017



Fonte: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2017b).

Essa situação atribuída à estatal PBio-BA pode ser associada à atual conjuntura, assim como ao preço do petróleo no mundo, ao excesso de oferta no mercado, às denúncias de corrupção e a outros negócios mais rentáveis, como o pré-sal. No que tange ao novo Plano de Negócios e Gestão de 2017-2021 da Petrobras, nota-se a indicação da saída da estatal da produção de biocombustíveis, de fertilizantes, da distribuição de gás de cozinha e das participações na petroquímica. Ao contrário do que foi previsto, a PBio encontra-se em situação de venda das usinas de biodiesel. Tal informação é confirmada pela própria empresa:

A Petrobras Biocombustível comunicou na última quinta-feira (6/10) que irá encerrar as atividades produtivas da Usina de Biodiesel de Quixadá, no Ceará, a partir de 1º de novembro. Esta iniciativa está alinhada ao processo de saída da produção de biocombustíveis, conforme indicação do PNG 2017-2021. (PETROBRAS, 2016a)

O processo de encerramento das atividades da usina de produção de biodiesel em Quixadá (CE) começou em novembro de 2016, com previsão para durar seis meses, iniciando assim a saída da Petrobras do setor. Segundo a própria empresa, a decisão foi tomada para concentrar as atividades onde atua melhor. As demais usinas, no entanto, continuarão funcionando, pois a estatal estuda alternativas para estas unidades de

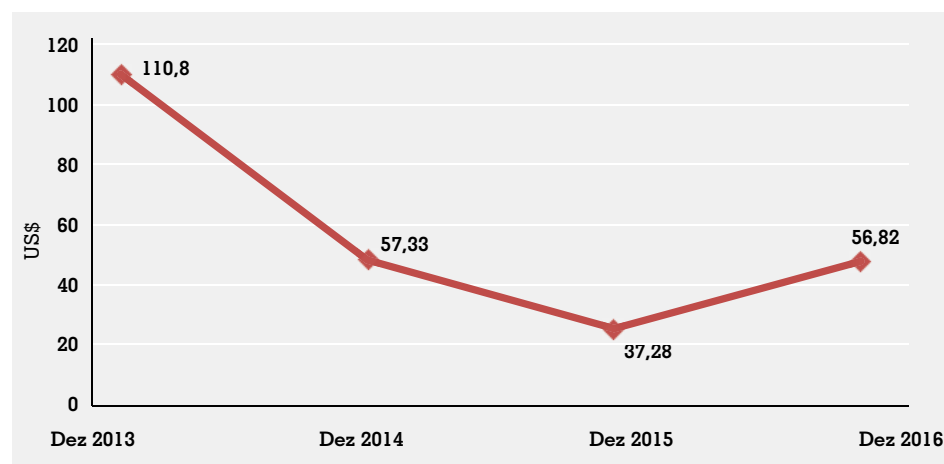
acordo com o Plano de Negócios (PETROBRAS, 2016b), que sinaliza uma concentração maior do capital da empresa na tradicional produção de petróleo em detrimento de novos investimentos na produção de energias limpas e renováveis. Essa situação coloca a Petrobras na contramão – e não como suporte – da política nacional de produção de biodiesel.

O interesse do grande capital na continuidade da exploração crescente de petróleo continua latente, e a Petrobras, sobretudo a partir de uma nova diretriz de gestão, não foge a essa regra. De acordo com informações da página oficial da empresa (PETROBRAS, 2017), “a produção diária de petróleo no pré-sal passou da média de aproximadamente 41 mil barris por dia em 2010, para o patamar de 1 milhão de barris por dia em meados de 2016. Um crescimento de quase 24 vezes”. Outros fatores importantes que contribuíram para o agravamento da situação da estatal foram as fortes quedas no preço do barril de petróleo no mundo, como apresentado na Figura 5.

**A Petrobras
é de suma
importância
para a
produção
de energia
renovável no
Brasil**

Figura 5

Evolução do preço do petróleo Brent no mundo – Dez. 2013-2016



Fonte: Investing.Com (2017).

Não só a Petrobras, mas outras empresas produtoras de petróleo estão à mercê de questões externas, visto que o petróleo é uma *commodity* e, por conta disso, tem seu preço definido no âmbito das bolsas internacionais. No mesmo período em que ocorreram os fatos citados anteriormente é possível identificar que houve redução da entrega de biodiesel, evidenciando que esses fatores estiveram possivelmente associados e influenciando na atenuação dos resultados da Pbio. A Petrobras é de suma importância para a produção de energia renovável no Brasil, e, em um país com grande potencial para a produção de biodiesel, qualquer decisão de deixar o mercado de biocombustíveis, sobretudo o biodiesel, deve ser analisada cuidadosamente.

O domínio da soja implicou dificuldades para o alcance da meta de inclusão social proposta inicialmente

Diante da situação, a Pbio-BA apresentou uma queda na produção de biodiesel no estado da Bahia, ao passo que a Oleoplan aumentou a produção, tendo recebido autorização da ANP e já ampliado a capacidade produtiva de 360m³/dia para 500m³/dia em sua usina localizada no município de Iraquara (BA), visando ao aumento da mistura obrigatória do biodiesel ao diesel fóssil nos próximos anos.

De acordo com Ferraro (2016)¹ a Oleoplan Nordeste, a usina produz biodiesel com óleo de soja, dendê e algodão, o que representa 95% da produção total. Tais oleaginosas são adquiridas nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, sendo que, no âmbito dos fornecedores de matérias-primas, existem 200 agricultores familiares cadastrados, além das cooperativas que estão concentradas espacialmente na região de Iraquara e Barreiras. No que condiz à produção, os principais destinos do biodiesel são os municípios de Ipojuca (PE), São Francisco do Conde (BA), Guamaré (RN) e Cabedelo (PB), que correspondem a 85% das vendas da usina.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A falta de políticas públicas consistentes, assistência técnica e financiamento adequado dificulta a obtenção de mamona e outras oleaginosas produzidas pela agricultura familiar para abastecer o mercado de biodiesel na Bahia. Apesar de a mamona ser indicada inicialmente como base do PNPB no Nordeste, a não utilização dessa oleaginosa não trouxe implicações para o andamento do programa, pois a própria organização das usinas favoreceu a soja como a principal oleaginosa destinada à produção de biodiesel, vindo, em seguida, o sebo bovino, ou seja, com predomínio de duas matérias-primas oriundas do agronegócio.

O domínio da soja implicou dificuldades para o alcance da meta de inclusão social proposta inicialmente, sobretudo quando é levada em consideração a baixa quantidade de mão de obra necessária no cultivo dessa oleaginosa. A produção de biodiesel de mamona não existe, as regiões onde predomina o cultivo desta oleaginosa não dispõem de usinas com alta capacidade produtiva. As regiões Centro-Oeste e Sul, por sua vez, são as que mais produzem soja no país e, conseqüentemente, são também as maiores produtoras de biodiesel. O fato de já existir nessas áreas toda uma logística de produção e de transporte atrelada ao capital agroquímico-financeiro contribui significativamente para o processo de concentração da produção de biodiesel nessas regiões que, assim, absorvem parte dos recursos do programa, de forma prioritária e excludente no que compete à participação das regiões Norte e Nordeste.

1 Entrevista concedida por Francine Ferraro a Cleide Daiane Sousa da Cruz, em Salvador, em 18 de julho de 2016.

Desta forma, o SCS, que deveria ser concedido às usinas que trabalham com as matérias-primas provenientes da agricultura familiar, é utilizado de modo equivocado, dando acesso apenas aos benefícios para as unidades industriais que dispõem do selo, ao passo que o biodiesel produzido é oriundo de matérias-primas de grandes propriedades. As políticas públicas devem ser revistas, pois, em síntese, estão servindo aos agentes hegemônicos. Até o momento, o PNPB tem reforçado os setores ligados ao agronegócio, fortalecendo o latifúndio, as monoculturas e a criação de grandes rebanhos.

Sem encerrar o debate, conclui-se que, após mais de uma década de existência do programa, ainda existem muitos desafios a serem superados no âmbito social do PNPB, tanto no estado da Bahia quanto no país como um todo. É de suma importância que o programa não seja apenas um auxílio para as grandes cadeias produtivas, devendo ser repensado à luz dos seus princípios fundadores. Um programa de tamanha importância socioambiental, que sinaliza para o futuro das energias renováveis, não pode ficar à mercê de interesses do capital agroquímico-financeiro, do latifúndio e de um mercado extremamente oligopolizado por um punhado de grandes empresas. É preciso que a agricultura familiar tenha protagonismo e que o PNPB atue também como uma ferramenta de desenvolvimento regional no Norte e do Nordeste do Brasil.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, Ricardo; MAGALHÃES, Reginaldo. *O acesso dos agricultores familiares aos mercados de biodiesel: parcerias entre grandes empresas e movimentos sociais*. São Paulo: Fipe, 2007. (Texto para discussão n. 6). Disponível em: <http://downloads.fipe.org.br/content/downloads/publicacoes/textos/texto_06_2007.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. (Brasil). *Informações de mercado*. 25 abr. 2017a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado>>. Acesso em: 1 jul. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). *Leilões de biodiesel*. Rio de Janeiro: ANP, 2017b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/distribuicao-e-revenda/leiloes-de-biodiesel/dados-de-entregas-e-de-aquisicoes-de-biodiesel/dados-de-entregas-por-produtores>>. Acesso em: 4 jun. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). *Biodiesel*. Rio de Janeiro: ANP, 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 4 jun. 2017.

É de suma importância que o programa não seja apenas um auxílio para as grandes cadeias produtivas, devendo ser repensado à luz dos seus princípios fundadores

BARRETO, Patrícia Santos. *A expansão da cotonicultura no oeste baiano e o Programa de Incentivo à Cultura do Algodão (PROALBA)*. 2008. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Economia)–Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

BIODIESELBR. *Vanguarda conclui venda de usinas de biodiesel*. 9 abr. 2012. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/usinas/info/vanguarda-conclui-venda-usinas-biodiesel-090412.htm>>. Acesso em: 8 mar. 2017.

BOLETIM MENSAL DO BIODIESEL. Rio de Janeiro: ANP, maio 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, nº 9.847, de 26 de outubro de 1999 e nº 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 14 jan. 2005a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11097.htm>. Acesso em: 20 jun. 2017.

BRASIL. Ministério de Desenvolvimento Agrário. Portaria nº 60, de 6 de setembro de 2012. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos a concessão, manutenção e uso do Selo Combustível Social. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 07 set. 2012. p. 63.

_____. Instrução Normativa nº 1, de 19 de fevereiro de 2009. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos a concessão, manutenção e uso do selo combustível social. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 25 fev. 2009. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=78149>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

_____. Instrução Normativa nº 2, de 30 de setembro de 2005. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos a concessão, manutenção e uso do Selo Combustível Social. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 3 de out. 2005b. Seção 1. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_627/IN%2002%20-%202005%20MDA.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)*. Brasília: MME, 2017a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/programa/objetivos_diretrizes.html>. Acesso em: 10 mar. 2017.

BRASIL. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário. *Balanço do Selo Combustível Social*. Brasília: SEAFDA, 2017b. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-biodiesel/o-selo-combust%C3%ADvel-social>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

BUAINAIN, Antônio Márcio; ROMEIRO, Ademar R.; GUANZIROLI, Carlos. Agricultura familiar e o novo mundo rural. *Sociologias*, Porto Alegre, v. 5, n. 10, p. 312-347, jul./dez. 2003.

CARVALHO, Otamar. *A economia política do Nordeste: seca, irrigação e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Campus, 1988.

CENSO AGROPECUÁRIO DO BRASIL: 2006. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

CENSO DEMOGRÁFICO. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/genero/9662-censo-demografico-2010.html?&t=downloads>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

DOURADO, José Aparecido Lima. Agrohidronegócio e disputas territoriais no semiárido baiano: notas introdutórias. *Revista GeoAmazônia*, Belém, v. 2, n. 2, p. 122-133, jul./dez. 2013.

FERNANDES, Raony Chaves; LOBÃO, Jocimara Souza Brito; VALE, Raquel de Matos Cardoso. Oeste baiano: da agricultura familiar à agroindústria. In: ENCONTROS DOS GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 12., 2009. Montevidéo. *Anais...* Montevidéo: [s.n], 2009.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. *Narrativa do monitor de secas do mês de junho de 2017*. 2017. Disponível em: <http://msne.funceme.br/uploads/mapas/NARRATIVA_FINAL_MONITOR_DE_SECAS_JUNHO_2017.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

GARCEZ, Catherine Aliana. *Uma análise da política pública do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)*. 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável)-Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2008.

INVESTING. COM. *Petróleo Brent futuros*. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/brent-oil>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

KROHLING, Vitor Bufon et al. O biodiesel na Bahia: uma análise da potencialidade baiana na produção de oleaginosas. *Bahia Análise & Dados*, Salvador, v.18, n.4, p. 659-669, jan./mar. 2009.

MARTINS, José de Souza de. *Os camponeses e a política no Brasil: as lutas sociais no campo e seu lugar no processo político*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Vozes, 1981.

NATIONAL GEOGRAPHIC. São Paulo: Abril, v. 17, n. 205, 2017. Especial água e clima.

NETTO, José Paulo; BRAZ, Marcelo. *Economia política: uma introdução crítica*. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2009.

PAVARINO, Marco Aurélio. *Selo social, biodiesel e diversificação de matéria-prima: um desafio*. 12 ago. 2016. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/agricultura/selo/selo-social-biodiesel-diversificacao-materia-prima-desafio-120816.htm>>. Acesso em: 3 mar. 2017.

PETROBRAS. *Petrobras biocombustível inicia processo de desmobilização da Usina de Quixadá*. 07 de out. 2016a. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/petrobras-biocombustivel-inicia-processo-de-desmobilizacao-da-usina-de-biodiesel-de-quixada.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

PETROBRAS. *Plano Estratégico, Plano de Negócios e Gestão 2017-2021*. 2016b. Disponível em: <<http://www.investidorpetrobras.com.br/download/4449>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

PETROBRAS. *Pré-sal*. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

PONCHIO, João Adolfo de Rezende. *Relatório final: cadeia produtiva da mamona para biodiesel*. Brasília: FAO, 2004.

PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL: PAM 2015. Brasília: MAPA, 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/soja-e-milho-ancoras-da-agricultura-brasileira/PAM_2015.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2017.

PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL: 2016. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL: 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

SANTOS, José Antônio Lobo dos. Agrodieselespaço: Selo Combustível Social e agricultura camponesa no Brasil. *Revista Geotextos*, Salvador, n. 2, v. 9, p. 103-122, dez. 2013.

SANTOS, José Antônio Lobo dos. *Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel: sujeição de renda da terra camponesa ao capital no Território de Identidade de Irecê - BA*. 2012. 262 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SILVA, Marcelo Santana. *Biodiesel, inclusão social e competitividade: diagnóstico, estratégias e proposições para a cadeia produtiva no estado da Bahia*. 2015. 339 f. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente)-Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

TEODORO, Paulo Alberto et al. Agricultura familiar: uma alternativa para o desenvolvimento sustentável. In: SEMINÁRIO NACIONAL ESTADO E POLÍTICAS SOCIAIS NO BRASIL, 2., 2005, Cascavel, PR, *Anais...* Cascavel, PR: Unioeste, 2005. Disponível em: <<http://cacphp.unioeste.br/projetos/gpps/midia/seminario2/trabalhos/economia/meco05.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2017.

Resumo

O objetivo deste artigo é apresentar os desafios atuais da gestão dos usos múltiplos da água da bacia do Rio São Francisco, que por si só é um problema de grande envergadura, e que se tornou ainda mais relevante diante da atual crise hídrica que o atinge desde 2010. O artigo inicia com uma descrição detalhada da bacia hidrográfica do Rio São Francisco e dos seus diversos usos e prossegue com uma análise do atendimento energético do Nordeste no período de 2010 a 2017, uma vez que a principal oferta de energia elétrica para esta região é de origem hidráulica e depende principalmente do Rio São Francisco. A parte final do artigo apresenta uma proposta para uma matriz de energia elétrica para o Nordeste, a fim de que esta região possa diminuir sua dependência em relação ao potencial do Rio São Francisco para fins de geração de eletricidade, direcionando este potencial para os demais usos.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Usos múltiplos da água. Crise hídrica. Atendimento energético. Matriz energética.

Abstract

The objective of this article is to present the current challenges regarding the multiple uses of water of the São Francisco River, which is a big problem that became worse in face of the water shortage in this river beginning in 2010 and continuing nowadays, because of the big impacts on the management of the multiple uses of water. Initially the article presents a detailed description of the São Francisco River basins, continuing with an analysis of the electric energy supply of the Northeast region, from 2010 to 2017, because the hydro generation installed in the São Francisco River is the most important source for this supply. The final part of the article presents a proposal for the electric energy matrix, with the objective of reducing the Northeast region's dependence on this hydro generation, to address its water to other uses.

Keywords: *Hydro basins. Multiple uses of water. Water shortage. Electric energy supply. Electric energy matrix.*

Desafios da gestão dos usos múltiplos da água para atendimento energético ante a crise hídrica da bacia hidrográfica do Rio São Francisco

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

ALESSANDRA M. L. BARROS

Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, doutoranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos e graduada em Engenharia Civil, pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Engenheira de Sistema de Potência no Núcleo Norte/Nordeste do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). alessandram@ons.org.br

LUANA F. G. PAIVA

Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, doutoranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, graduada em Engenharia Civil, pela Universidade de Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Engenheira de Recursos Hídricos no Núcleo Norte/Nordeste do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). luanag@ons.org.br

SAULO J. N. CISNEIROS

Mestre em Engenharia de Sistemas de Potência, pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e graduado em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Gerente Executivo do Núcleo Regional Norte/Nordeste do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) em Recife e Diretor Técnico do Cigré-Brasil. saulo@ons.org.br

A GESTÃO dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação da sociedade civil, do poder público, das organizações de classes e dos usuários, conforme estabelecido pela Política Nacional de Recursos Hídricos. Este fato é ressaltado pela crise hídrica por que passa o rio São Francisco a partir de 2010, culminando com reduções gradativas das vazões defluentes mínimas dos principais reservatórios da bacia. A crise hídrica fez com que o cenário de atendimento energético do Subsistema Nordeste fosse alterado, sendo necessário buscar geração de outras fontes de energia, que não a hidráulica.

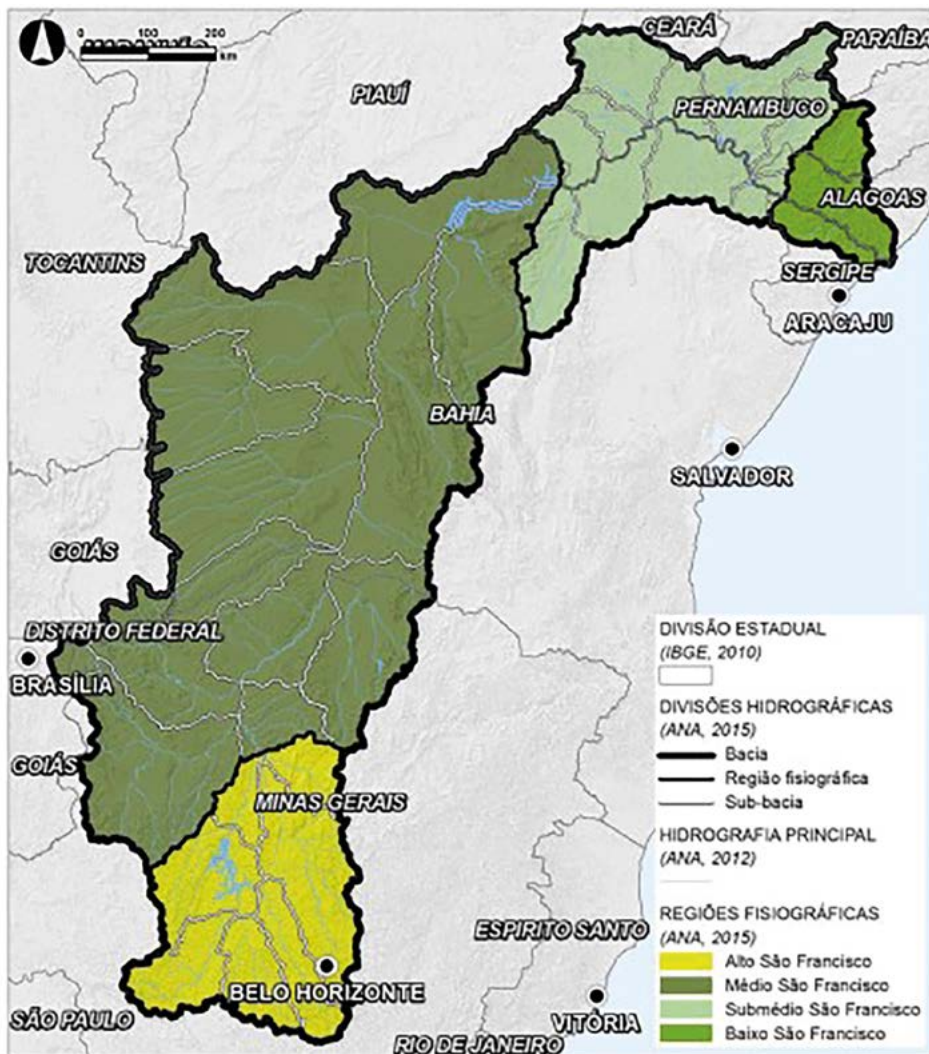
Tendo em vista a atual crise hídrica da bacia do Rio São Francisco, faz-se necessário definir usos prioritários para a água através do estabelecimento de diretrizes de utilização Rio São Francisco através de uma gestão compartilhada sob a coordenação da Agência Nacional de Águas (ANA) com a participação de todos os órgãos de coordenação e de todos os usuários da bacia hidrográfica desse rio.

A bacia hidrográfica do Rio São Francisco corresponde a 8% do território nacional, com uma extensão 2.863 km e uma área de drenagem de mais de 639.219 km²

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO E OS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

A bacia hidrográfica do Rio São Francisco corresponde a 8% do território nacional, com uma extensão 2.863 km e uma área de drenagem de mais de 639.219 km², e estende-se desde Minas Gerais, onde o rio nasce, na Serra da Canastra, até o Oceano Atlântico, onde deságua, na divisa dos estados de Alagoas e Sergipe, integrando as regiões Nordeste e Sudeste do país, percorrendo 507 municípios, em seis estados (Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe), além do Distrito Federal. A bacia foi dividida, para fins de planejamento, em quatro regiões: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco (Figura 1) (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, 2015).

Figura 1
Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2015).

Entre os principais reservatórios existentes no Rio São Francisco, para controle de sua vazão e/ou geração de energia hidroelétrica, estão: Três Marias, em Minas Gerais, Sobradinho, Paulo Afonso e Itaparica, na Bahia, e Xingó, localizado entre os estados de Alagoas e Sergipe.

A importância energética da bacia do Rio São Francisco para o Nordeste pode ser caracterizada pelo fato de que 94% da geração hidráulica desta região – que correspondeu a 43,7% de sua capacidade instalada ao final de 2016 – está concentrada nesse rio (Tabela 1).

Tabela 1

Evolução da matriz de energia elétrica do Nordeste por fonte de geração

Tipo	2016		2021		Δ 2016-2021	
	MW	%	MW	%	MW	%
Hidráulica	11.001	43,7	11,022	32,1	21	0,2
Gás/GNL	2.127	8,5	3.665	10,7	1.538	72,3
Carvão	1.085	4,3	1.085	3,2	0	0,0
Biomassa	567	2,3	567	1,7	1	0,2
Óleo Combustível/Diesel	2.577	10,2	2.577	7,5	0	0,0
Eólica	7.797	31,0	13.862	40,4	6.065	77,8
Solar	11	0,0	1.507	4,4	1.497	13609,1
Total	25.164	100,0	34.286	100,0	9.121	36,2

Fonte: Adaptada do Operador Nacional do Sistema Elétrico, (2017b).

De acordo com informações constantes em Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2015), dentre os diversos usos da água da bacia hidrográfica, destacam-se: 1) geração de energia; 2) abastecimento humano efetuado pelas companhias de abastecimento d'água dos estados de Alagoas (Casal), Bahia (Embasa), Minas Gerais (Copasa), Pernambuco (Compesa), Sergipe (Deso), Goiás (Saneago) e Distrito Federal (Caesb); e 3) irrigação, em que se destacam os projetos Jaíba e Nilo Coelho, cujas características são descritas a seguir:

- Jaíba, situado no Médio São Francisco, nos municípios de Jaíba, Matias Cardoso e Verdelândia, no estado de Minas Gerais, na margem direita do Rio São Francisco. A área total do projeto é de 107,6 mil ha, com área irrigável estimada em 68,5 mil ha. A vazão atual de captação é de 65 m³/s (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, 2015). A Codevasf e o Governo do Estado de Minas Gerais são responsáveis pela sua implantação e operação.

A importância energética da bacia do Rio São Francisco para o Nordeste pode ser caracterizada pelo fato de que 94% da geração hidráulica desta região – que correspondeu a 43,7% de sua capacidade instalada ao final de 2016 – está concentrada nesse rio

Deve ser dado um destaque especial à transposição do Rio São Francisco – nomeado como Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional

- Nilo Coelho, o perímetro Irrigado Nilo Coelho (DINC) estende-se desde o município de Casa Nova (norte do estado da Bahia) até o município de Petrolina (sudoeste do estado de Pernambuco), sendo que, em termos de área, 20% estão no estado da Bahia e 80%, em Pernambuco. A fonte hídrica são as águas do reservatório da barragem de Sobradinho (BA), onde a captação é feita mediante uma tomada d'água, na margem esquerda do lago. Seu funcionamento teve início no ano de 1984, com a conclusão das obras da área Nilo Coelho, surgindo posteriormente a segunda fase que compreende a área Maria Tereza. A área irrigável total é de 23.486,20 ha (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, 2015).

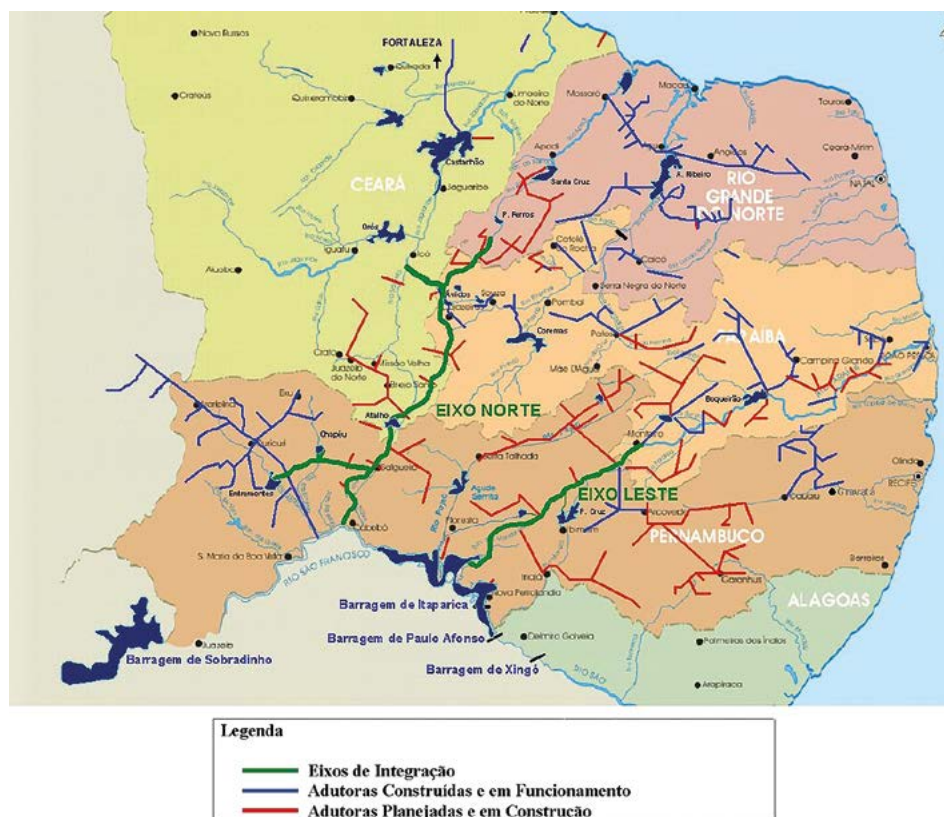
Além desses projetos, existem várias captações menores ao longo do rio, com destaque para as existentes no lago de Sobradinho e no trecho entre as barragens de Sobradinho e Itaparica, onde existe a maior produção de frutas nobres de alta qualidade no Brasil, de tal forma que esta região é a maior exportadora dessas produções nacionais para mercados do exterior. Além disso, a qualidade das uvas, com duas colheitas ao ano, propiciou, na mesma região, a implantação de indústrias produtoras de vinho de reconhecimento internacional.

Além desses principais usos, existem outras atividades propiciadas pelo Rio São Francisco, quais sejam: navegação, procissões e festas comemorativas das comunidades ribeirinhas, piscicultura e lazer. Os principais trajetos de navegação estão nos trechos Três Marias/Pirapora, Sobradinho/Itaparica e Xingó/Foz.

Dentro deste contexto, deve ser dado um destaque especial à transposição do Rio São Francisco – nomeado como Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional –, que é uma iniciativa do governo federal de deslocamento de parte das águas desse rio. A obra prevê a construção de mais de 700 quilômetros de canais de concreto em dois grandes eixos (norte e leste) ao longo do território de quatro estados (Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte) para o abastecimento dessas regiões, sendo que, ao longo do caminho, o projeto prevê a construção de nove estações de bombeamento de água. Posteriormente, é aventada a possibilidade de construção do chamado eixo oeste, envolvendo o Piauí. O mapa da Figura 2 mostra os canais deste grande projeto. Deve-se destacar que os valores para a retirada d'água do Rio São Francisco são inferiores aos valores dos usos consuntivos atualmente verificados no trecho submédio do rio.

Figura 2

Mapa da transposição do Rio São Francisco



Fonte: Ministério da Integração Nacional (2017).

Apresenta-se, em seguida, uma breve descrição dos eixos leste e norte, obtidas no site do Ministério da Integração Nacional (2017).

Eixo leste: as águas deste eixo percorrerão a distância de 220 km, a partir da barragem de Itaparica, no município de Floresta (PE), alcançarão o Rio Paraíba (PB), e deverão atingir os reservatórios existentes nas bacias receptoras: Poço da Cruz (PE) e Epitácio Pessoa (Boqueirão), na Paraíba.

Ramificações serão construídas para transferir parte da vazão para as bacias do Rio Pajeú e do Rio Moxotó e para a região agreste de Pernambuco, através da construção de um ramal de 70 km que interligará o eixo leste à bacia do Rio Ipojuca. A vazão máxima prevista é de 28 m³/s, mas a vazão média operacional será de 10 m³/s.

A atual
limitação de
oferta hídrica
da bacia do Rio
São Francisco
implica perdas
econômicas
e sociais
significativas
para as
atividades
industriais,
agrícolas, de
geração de
energia, de
abastecimento
humano,
dentre outras

Eixo norte: constitui-se em um percurso de aproximadamente 400 km, com ponto de captação de águas próximo à cidade de Cabrobó (PE). As águas serão transpostas aos rios Salgado e Jaguaribe até os reservatórios de Atalho e Castanhão, no Ceará; ao Rio Apodi, no Rio Grande do Norte; e ao Rio Piranhas-Açu, na Paraíba e no Rio Grande do Norte, chegando aos reservatórios de Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, ambos na Paraíba, e Armando Ribeiro Gonçalves, Santa Cruz e Pau dos Ferros, no Rio Grande do Norte.

Em Pernambuco, prevê-se a disponibilização de água para atender à demanda dos municípios banhados pelas bacias dos rios Brígida, Terra Nova e Pajeú, que compartilham a bacia do São Francisco. Na região de Brígida, uma ramificação do canal de transposição, com cerca de 200 km de extensão, está prevista para conduzir parte das águas até os açudes de Entre Montes e Chapéu. O projeto prevê uma vazão máxima de 99 m³/s e uma vazão de operação de 16,4 m³/s.

GESTÃO DOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

De acordo com o saber histórico, técnico e científico da humanidade, a gestão dos recursos hídricos surgiu da necessidade de resolver os conflitos, que exigiam água em abundância e de melhor qualidade. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi instituída pela Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997) e estabeleceu que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas e, em situações de escassez, o uso prioritário destas para o consumo humano e a dessedentação de animais.

De acordo com a PNRH, a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação da sociedade civil, do poder público, das organizações de classes e dos usuários. A bacia hidrográfica é a unidade territorial do planejamento e gestão dos recursos hídricos. Em 2000, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

A atual limitação de oferta hídrica da bacia do Rio São Francisco implica perdas econômicas e sociais significativas para as atividades industriais, agrícolas, de geração de energia, de abastecimento humano, dentre outras, que dependem diretamente dessa água. Dessa forma, faz-se necessário definir usos prioritários para este recurso.

A fim de definir as diretrizes de utilização da água do Rio São Francisco, através da gestão compartilhada são realizadas reuniões semanais coordenadas pela ANA com a participação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), da Companhia Hidroelétrica do São Francisco, do Ministério Público Federal, das companhias de abastecimento de água dos estados de Sergipe e Alagoas, do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, do Instituto Nacional de Meio Ambiente, da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, representantes do setor de Navegação, dos representantes dos projetos de irrigação de Nilo Coelho e Jaíba, entre outros. Nessas reuniões, todos os usuários têm condições de acompanhar a real situação hidrometeorológica da bacia, através das apresentações das entidades envolvidas, com destaque para o Cemaden e o ONS, bem como relatar a situação dos usos sob sua responsabilidade.

CRISE HÍDRICA DO SÃO FRANCISCO DE 2010 A 2017

Desde o ano de 2010, o Rio São Francisco passa por um período de extrema escassez hídrica, que se agravou a partir de 2013. A vazão mínima defluente da UHE de Sobradinho foi reduzida de 1.300 m³/s, em 2013, para 550 m³/s, em 2017. No período de 2014 a 2015, o reservatório de Sobradinho atingiu os menores níveis de armazenamento do histórico, registrando apenas 1,04% no início de dezembro/2015. O reservatório da UHE de Três Marias atingiu pouco mais de 2% no início de novembro/2014 (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2017a).

Desde o ano de 2010, as vazões naturais de Sobradinho, vem-se quebrando recordes, ano a ano, de escassez hídrica. Mais uma vez isso aconteceu no ano de 2017 que foi o pior do histórico disponível (1931 a 2017). A Tabela 2 apresenta as vazões incrementais e naturais verificadas nos piores septênios (sete anos seguidos) do histórico, e a Tabela 3 detalha as vazões incrementais e naturais verificadas no período de 2013 a 2017, considerando os dados do histórico conhecido de 1931 a 2016. Uma vazão ser considerada a primeira pior significa que é a menor vazão no histórico de 87 anos.

Desde o ano de 2010, as vazões naturais de Sobradinho, vem-se quebrando recordes, ano a ano, de escassez hídrica. Mais uma vez isso aconteceu no ano de 2017 que foi o pior do histórico disponível (1931 a 2017)

Como consequência das reduzidas vazões, o armazenamento equivalente do Subsistema Nordeste vem apresentando, ano a ano, valores mais baixos

Tabela 2

Vazões incrementais e naturais verificadas nos piores sete anos

Septênio	Incremental		Septênio	Natural	
	Vazão média (m³/s)	Posição Histórico		Vazão média (m³/s)	Posição Histórico
2011-2017	996	1°	2011-2017	1444	1°
2010-2016	1091	2°	2010-2016	1602	2°
2009-2015	1214	3°	2009-2015	1789	3°
2008-2014	1288	4°	2008-2014	1929	4°
1996-2002	1297	5°	1998-2004	1930	5°

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2017a). Elaboração própria.

Tabela 3

Vazões naturais e incrementais verificadas - 2013-2017

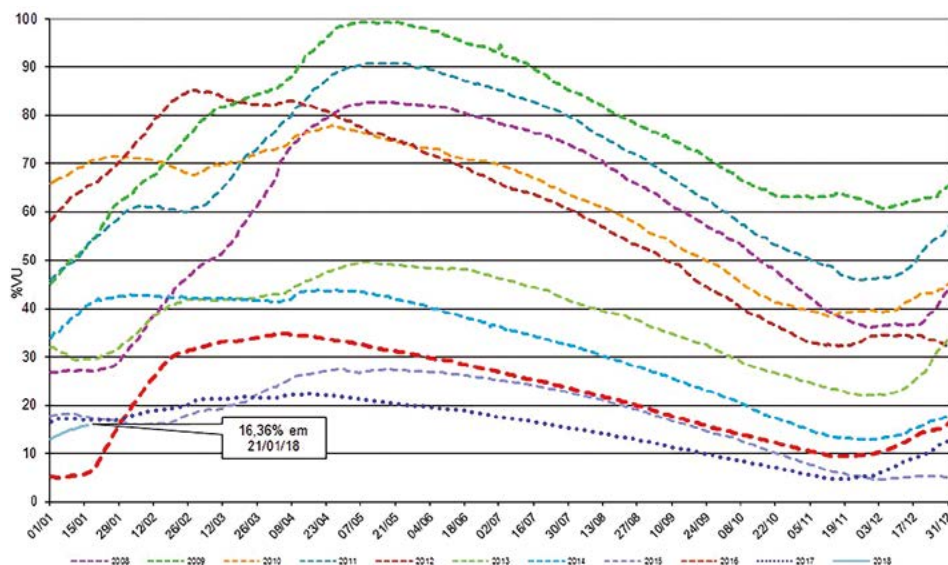
Vazões	Jan. -dez.			Jan. -ago.	
	2013	2014	2015	2016	2017
Três Marias (natural)	67%	26%	40%	55%	25%
	17°	1°	3°	7°	3°
	pior	pior	pior	pior	pior
Sobradinho (incremental)	60%	54%	38%	42%	26%
	6°	4°	1°	2°	1°
	pior	pior	pior	pior	pior
Sobradinho (natural)	61%	48%	39%	45%	27%
	5°	3°	1°	2°	1°
	pior	pior	pior	pior	pior

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2017a). Elaboração própria.

Como consequência das reduzidas vazões, o armazenamento equivalente do Subsistema Nordeste vem apresentando, ano a ano, valores mais baixos. A Figura 3 apresenta o armazenamento equivalente para o período de 2008 a 2017. A última vez que o reservatório equivalente do Nordeste atingiu o armazenamento máximo de 100% foi no ano de 2009. Em 2010, atingiu níveis abaixo de 80%, e, em 2011, pouco mais de 90%, iniciando, assim, uma sucessão de níveis reduzidos de armazenamentos, até atingir o valor máximo de 22,3% em 2017.

Figura 3

Evolução da energia armazenada no Subsistema Nordeste - 2008-2017



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2017a). Elaboração própria.

A atual crise hídrica da bacia do Rio São Francisco culminou na necessidade de aprimoramento do processo de gestão dos usos múltiplos da água e, como consequência, trouxe desafios para o atendimento energético do Subsistema Nordeste

A atual crise hídrica da bacia do Rio São Francisco culminou na necessidade de aprimoramento do processo de gestão dos usos múltiplos da água e, como consequência, trouxe desafios para o atendimento energético do Subsistema Nordeste.

Por último, é vital entender que a operação atual da cascata do rio São Francisco é hídrica e não mais energética, ou seja, o objetivo é minimizar a defluência nessa cascata, independentemente da otimização energética, com o objetivo de evitar a operação a fio d'água a partir de Sobradinho, quando não se teria mais controle algum sobre o fluxo de água.

ATENDIMENTO ENERGÉTICO SISTÊMICO

A base predominantemente hidráulica do Sistema Integrado Nacional (SIN), com usinas localizadas em diversas bacias de diferentes regiões geográficas, interligadas por um extenso sistema de transmissão, conduz ao planejamento e à operação do SIN integrados, considerando-se a otimização dos recursos energéticos nacionais. Esta otimização tem como princípio básico a distribuição, entre todas as regiões e agentes, do ônus e do bônus decorrentes da operação interligada, mantendo o princípio da cooperação no ambiente competitivo.

As
interligações
inter-regionais
têm sido
operadas
visando
otimizar o uso
dos recursos
energéticos de
cada região,
observando
o ótimo
sistêmico

Desta forma, as interligações inter-regionais têm sido operadas visando otimizar o uso dos recursos energéticos de cada região, observando o ótimo sistêmico. Isto significa que os intercâmbios inter-regionais serão definidos com o objetivo de procurar igualar a segurança energética entre as regiões, até os limites elétricos de capacidade destas interligações. Para que este princípio seja praticado de forma equitativa em todo o SIN, faz-se necessário que os recursos energéticos excedentes em uma região sejam transferidos, via sistema de transmissão, para outras regiões que estejam mais carentes.

O ideal seria que as transferências de energia entre regiões não fossem limitadas pelas restrições de transmissão existentes, assegurando, assim, a aplicação do princípio da equidade da segurança energética em toda a sua plenitude para todo o SIN. Considerando-se que existem restrições de transmissão, mecanismos devem ser adotados para nivelar ou compensar desigualdades entre as regiões, provocadas por estas restrições.

Para ilustrar precisamente este conceito, observa-se o caso de uma região com disponibilidade sazonal que tem de exportar o máximo de energia para atender às demais regiões que se encontram carentes. Caso esta disponibilidade não seja suficiente para o atendimento total das necessidades, devem ser seguidos os seguintes passos:

- estabelecer prioridade entre as regiões carentes, em termos de criticidade;
- priorizar as transferências de energia para as regiões mais carentes;
- utilizar recursos de geração térmica, por ordem de mérito de custo, para compensar o que não pode ser recebido plenamente pelas regiões deficitárias até os limites de transmissão existentes.

Os custos com a utilização destes recursos locais de geração térmica e/ou importação por cada região são considerados de uso sistêmico e rateados por todos os agentes de consumo do SIN, através do Encargo de Serviços Sistêmicos (ESS), por razões de segurança energética, aplicado a situações específicas para bancar custos adicionais decorrentes da busca pela garantia da segurança do atendimento energético do SIN.

Em situações hidrológicas críticas, a preservação dos estoques armazenados nos reservatórios localizados nas cabeceiras dos rios Grande (Furnas e Mascarenhas), Paranaíba (Emborcação e Itumbiara), Tocantins (Serra da Mesa) e São Francisco (Três Marias e Sobradinho) passa a ter um papel fundamental no alcance de dois grandes objetivos:

- garantir o atendimento aos requisitos energéticos e de potência do SIN ao longo do período crítico;
- permitir o controle da gestão hídrica dos reservatórios de cabeceira para fins de uso múltiplo das águas por todos os usuários.

Neste sentido, há necessidade de flexibilizar os requisitos de uso múltiplo da água e de condicionantes ambientais com o objetivo de reduzir as inflexibilidades hidráulicas dos reservatórios do SIN, utilizando para isto recursos térmicos e energéticos existentes em todas as regiões.

As principais restrições nos aproveitamentos das bacias hidrográficas do SIN são decorrentes de razões ambientais e de uso múltiplo dos recursos hídricos, e, para cada caso, estão identificadas as flexibilizações requeridas para a maximização do uso dos recursos disponíveis ao atendimento energético do SIN. Dentro deste contexto é importante salientar que os requisitos locais não podem se contrapor ao objetivo maior, que é o atendimento energético nacional. Cabe, portanto, identificar as ações necessárias para mitigar os impactos locais provenientes da flexibilização das restrições existentes.

ATENDIMENTO ENERGÉTICO DO NORDESTE NO PERÍODO DE 2010 A 2017

A principal oferta de energia elétrica da Região Nordeste é de origem hidráulica e depende principalmente do Rio São Francisco. A capacidade máxima de armazenamento desta região é de 51.860 MWmed.mês, representando 20% da capacidade de armazenamento do SIN. O Rio São Francisco concentra 97% da capacidade de armazenamento dessa região, distribuídos pelos reservatórios de Três Marias (31%), Sobradinho (59%) e Itaparica (7%) (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2017a).

A crise hídrica fez com que o cenário de atendimento energético do Subsistema Nordeste fosse alterado, sendo necessário buscar outras fontes de energia, que não a hidráulica. A geração energética passou a não ser prioritária enquanto recurso do Rio São Francisco, sendo uma consequência da defluência mínima estabelecida para permitir os usos múltiplos da água, quais sejam: irrigação, abastecimento humano, des-sedentação de animal, pesca, navegação e lazer. Nessa situação de baixas afluições no São Francisco, o atendimento energético à Região Nordeste tem sido feito atendendo à seguinte sequência de prioridades: 1) geração hidráulica das usinas do Rio São Francisco para a vazão mínima estabelecida; 2) geração eólica disponível; 3) geração fotovoltaica disponível; 4) geração térmica despachada por ordem de mérito até o

A crise hídrica fez com que o cenário de atendimento energético do Subsistema Nordeste fosse alterado, sendo necessário buscar outras fontes de energia, que não a hidráulica

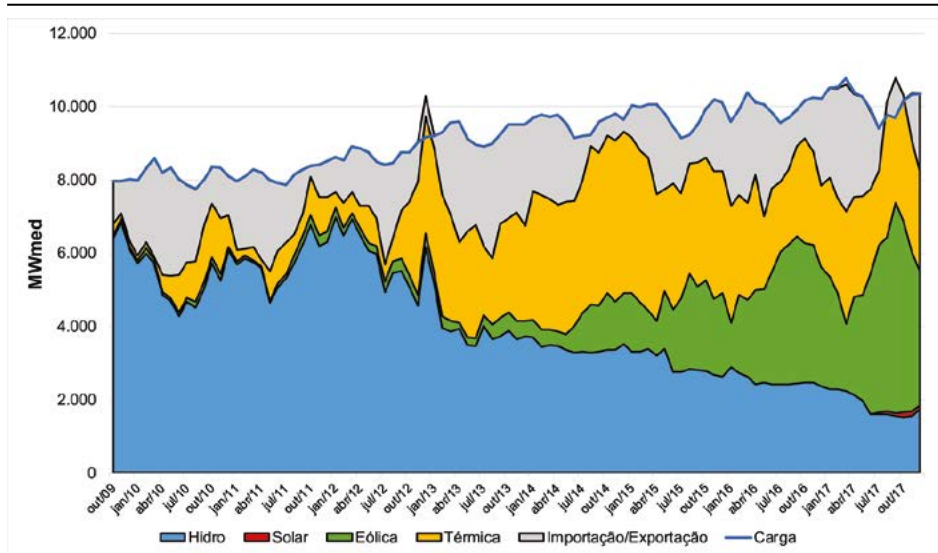
Devido às
reduzidas
afluências
do Rio São
Francisco,
a geração
térmica
na Região
Nordeste tem
sido usada em
larga escala
desde 2013

custo marginal de operação semanal; 5) recebimento de energia das demais regiões; 6) complementação com geração térmica local por razões de segurança elétrica, para respeitar os limites de transmissão.

Em qualquer situação, as gerações eólica e fotovoltaica entram prioritariamente como gerações de base. O recebimento de energia das demais regiões é feito através das interligações Norte/Nordeste, Sudeste/Nordeste e Norte/Sudeste. Nestas situações, o recebimento de energia é maximizado até o esgotamento dos limites elétricos das interligações inter-regionais, desde que haja excedentes disponíveis nessas regiões. Caso não haja energia disponível em outras regiões, são despachadas usinas térmicas da Região Nordeste, por razões de garantia energética, além daquela que já é normalmente feita por ordem de mérito econômico nos programas mensais de operação e suas revisões semanais. Devido às reduzidas afluências do Rio São Francisco, a geração térmica na Região Nordeste tem sido usada em larga escala desde 2013. A Figura 4 ilustra o balanço energético e a participação por fonte de geração no período de outubro/2009 a 04 de dezembro/2017.

Figura 4

Balanço energético do Subsistema Nordeste - out. 2009-dez. 2017



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2017a). Elaboração própria.

Em maio de 2013 foi iniciado o processo de redução da vazão mínima do São Francisco que passou de 1.300 m³/s para 1200 m³/s. Com isso, foi necessário o aumento do despacho das usinas térmicas para atendimento do Subsistema Nordeste (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2017a).

A Região Nordeste do Brasil apresenta forte dependência energética em relação às regiões Norte e Sudeste, uma vez que parte da energia consumida no Nordeste é importada. Porém, em meio à crise hídrica, uma fonte de geração emergiu na matriz energética brasileira através da força dos ventos. Essa crescente inserção de geração de energia eólica vem reduzindo a dependência externa.

Até julho/2014, a geração hidráulica preponderava no atendimento à carga do Subsistema Nordeste. No período de agosto/2014 a abril/2015, a geração térmica atendeu à maior parte da carga. Porém, em 2016, a geração eólica foi a fonte de geração preponderante no atendimento à carga do Subsistema Nordeste, suprimindo, em média, 30% da carga, valor que tende a aumentar ao longo dos anos, contribuindo para a redução da dependência externa. Devido à crise hídrica dos últimos anos, que culminou com a redução da vazão mínima no São Francisco desde abril/2013, a geração hidráulica ficou em segundo lugar, atendendo a 25% da carga. A geração térmica também atendeu, em média, a 25% da carga, e o intercâmbio, a 20%.

Assim, muitas lições foram aprendidas e muitas mudanças foram necessárias no que tange à operação para atendimento energético do Subsistema Nordeste. Destaca-se aqui o importante papel das outras fontes de geração no atendimento desse subsistema, destacando-se as energias eólica e térmica e o intercâmbio de energia entre as regiões.

DESAFIOS NA GESTÃO DOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

Visando a uma melhor gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio São Francisco, a ANA estabeleceu a realização de videoconferências quinzenais e, posteriormente, semanais. Nessas reuniões, o ONS faz uma apresentação do acompanhamento hidrológico e energético, abordando questões operacionais, enquanto os diversos usuários têm a oportunidade de acompanhar a real situação do Rio São Francisco e se posicionar, bem como relatar problemas que estejam ocorrendo em sua área de interesse.

A seguir são apresentadas algumas ações gerenciais e operacionais para uma melhor utilização dos recursos hídricos da bacia:

- ajuste das vazões defluentes dos reservatórios de Três Marias, Sobradinho e Xingó;
- gerenciamento da demanda: foi criado o Dia do Rio, e neste dia não é permitida a utilização dos recursos hídricos para os diversos fins, excluindo o abastecimento humano;

Destaca-se aqui o importante papel das outras fontes de geração no atendimento desse subsistema, destacando-se as energias eólica e térmica e o intercâmbio de energia entre as regiões

Visando à garantia dos usos múltiplos dos recursos hídricos da bacia, várias ações foram efetuadas, com destaque para a redução da vazão mínima defluente dos reservatórios das usinas hidroelétricas de Sobradinho e Xingó

- adequação das captações na cidade de Propriá para atendimento à cidade de Aracaju;
- solicitação de recursos, pela Cia. de Abastecimento de Água de Alagoas (Casal), ao Ministério da Integração Nacional para deslocar a captação em 5 km (na cidade de Penedinho) para atendimento à cidade de Piaçabuçu, que se encontra salinizada, em função da maré no momento da captação;
- atendimento a várias cidades de Sergipe e Alagoas através de caminhão-pipa;
- elevação de defluência em Sobradinho e Xingó para viabilizar a procissão de Bom Jesus dos Navegantes;
- desassoreamento do canal de captação do Projeto de Irrigação Jaíba.

Em termos de gerenciamento da demanda, destacam-se as seguintes ações operacionais:

- adequação das captações às condições da operação dos reservatórios;
- adoção de medidas de restrição de usos na bacia abrangendo o rio principal e seus afluentes perenes e as águas subterrâneas do aquífero Urucuia;
- fiscalização das medidas de restrição de uso pelo órgão gestor dos recursos hídricos, de acordo com a dominialidade do corpo d'água;
- divulgação ampla das medidas de restrição dos usos da água.

Visando à garantia dos usos múltiplos dos recursos hídricos da bacia, várias ações foram efetuadas, com destaque para a redução da vazão mínima defluente dos reservatórios das usinas hidroelétricas de Sobradinho e Xingó cujo histórico é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4

Redução das vazões mínimas defluentes das UHE Sobradinho e Xingó

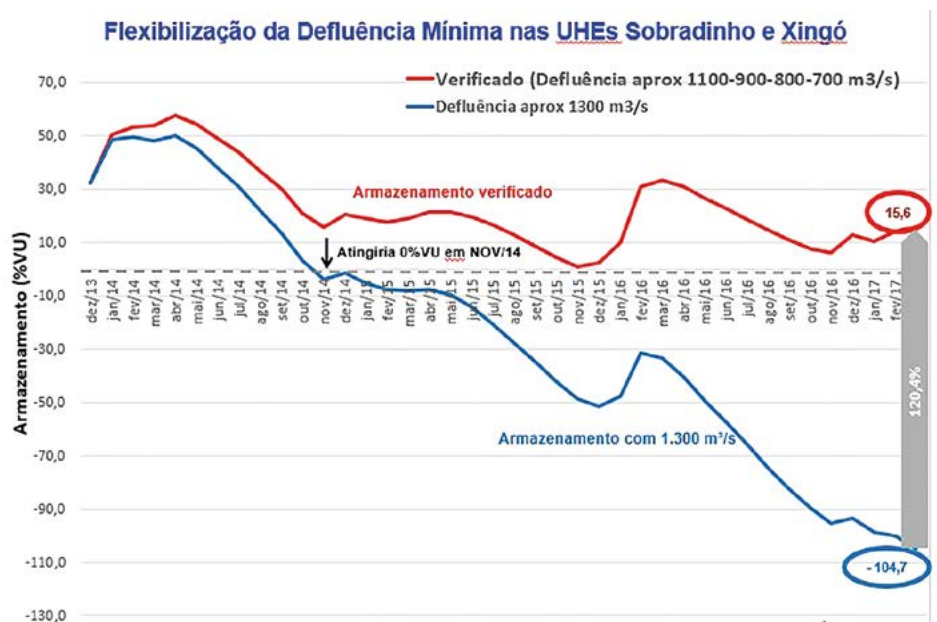
Mês	Redução
Maio 2013	1300 m ³ /s para 1200 m ³ /s
Dez. 2013	1200 m ³ /s para 1100 m ³ /s
Abr. 2015	1100 m ³ /s para 1000 m ³ /s
Jun. 2015	1000 m ³ /s para 900 m ³ /s
Jan. 2016	900 m ³ /s para 800 m ³ /s
Nov. 2016	800 m ³ /s para 750 m ³ /s
Jan. 2017	750 m ³ /s para 700 m ³ /s
Maio 2017	700 m ³ /s para 650 m ³ /s
Maio 2017	650 m ³ /s para 600 m ³ /s
Ago. 2017	600 m ³ /s para 580 m ³ /s
Set. 2017	580 m ³ /s para 550 m ³ /s

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2017a).

Caso essas reduções de vazão defluente não tivessem sido efetivadas, o reservatório de Sobradinho já teria entrado no volume morto desde o mês de novembro de 2014, atingindo o colapso total, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5

Armazenamento real e fictício do reservatório de Sobradinho - 2013-2017



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2017a).

É necessário estabelecer critérios e regras de convivência entre os diferentes organismos de uma mesma bacia, diante da indefinição legal quanto à relação entre eles

Conforme ressalta Silva (2006), é fundamental a articulação entre os gestores de recursos hídricos – em níveis federal e estadual – e entre os comitês de uma mesma bacia – comitê do rio principal e de rios afluentes – a fim de superar as divergências que poderão surgir em função dos diversos interesses envolvidos numa bacia hidrográfica e efetuar uma gestão participativa, descentralizada e compartilhada dos recursos hídricos. Para alcançar este objetivo é necessário estabelecer critérios e regras de convivência entre os diferentes organismos de uma mesma bacia, diante da indefinição legal quanto à relação entre eles.

CONCLUSÕES

Para a efetivação de uma proposta de matriz de energia elétrica, especialmente para a Região Nordeste, cabem, de início, as seguintes considerações:

- a geração hidráulica é um recurso variável, cuja disponibilidade depende da ocorrência de chuvas nas bacias onde estão os reservatórios de acumulação, e as novas usinas hidráulicas estão distantes dos centros de carga, o que requer a implantação de extensos sistemas de transmissão;
- a geração térmica é um recurso fixo, cuja disponibilidade depende apenas da existência de combustível. A implantação de térmicas próximas aos centros de carga pode aumentar a segurança, a confiabilidade e a qualidade do atendimento a esses centros;
- as fontes renováveis não convencionais, como a eólica e a solar, são variáveis e não despacháveis, seu volume depende da magnitude de vento e sol. As usinas hidráulicas com reservatório são o melhor meio para armazenar a geração das fontes variáveis, reduzindo a necessidade de instalação massiva de outros meios de armazenamento, tal como grandes baterias;
- as fontes renováveis variáveis, como a eólica e a solar, são muito importantes para suprir a demanda de energia elétrica. Porém, devem ser consideradas como complementares e não como básicas, porque podem variar de forma abrupta e significativa em certos momentos e por períodos de tempo;
- a associação das hidráulicas com reservatório à geração renovável variável maximiza os benefícios técnicos e econômicos que podem ser obtidos, considerando-se as características de todas as fontes disponíveis;

- com as restrições à implantação de reservatórios, há necessidade de implantação de usinas térmicas, especialmente, as modernas térmicas aeroderivadas com acoplamento de baterias, de partida e variação rápida de geração.

Diante das considerações apresentadas acima, conclui-se que a demanda de energia elétrica não pode ser suprida apenas por fontes renováveis variáveis.

A matriz de energia elétrica deve ter um mix adequado de fontes com o objetivo de maximizar os benefícios técnicos, econômicos e ambientais, considerando-se as características de todas as fontes disponíveis.

A definição dessa proposta deve considerar, em princípio, as seguintes fontes disponíveis:

- hidráulicas com e sem reservatório;
- térmicas (gás + carvão + nuclear);
- renováveis (eólica + solar + biomassa).

Nessa proposta de matriz energética devem ser destacados os seguintes pontos:

- as hidráulicas com reservatório mais as fontes renováveis constituem uma vantagem estratégica do sistema eletroenergético brasileiro que não pode ser perdida;
- não haveria mais espaço para novas térmicas a combustível líquido.

Para o caso particular da Região Nordeste, elencam-se as seguintes propostas adicionais:

1. realização de Leilões Híbridos para implantação de parques de energia eólica e solar de forma integrada em um mesmo site, visando aproveitar a oferta de vento e sol da Região Nordeste do Brasil, agregando recursos de storage, como baterias, de pelo menos 20% do montante da potência total do parque, para obter os seguintes benefícios:
 - compartilhamento da rede de conexão e de transmissão e de infraestrutura e recursos para operação dos parques;

A matriz de energia elétrica deve ter um mix adequado de fontes com o objetivo de maximizar os benefícios técnicos, econômicos e ambientais, considerando-se as características de todas as fontes disponíveis

A crise hídrica dos últimos anos mudou a forma de gestão do Rio São Francisco. Os diversos usuários da água tiveram a oportunidade de se aproximar para fazer uma gestão participativa dos recursos hídricos

- aproveitamento da complementariedade existente entre a geração eólica e a solar na região do interior;
- Obtenção de ganhos de eficiência do parque gerador, tornando estes projetos mais competitivos;
- redução do uso da rede elétrica e de seus investimentos;
- diminuição das perdas de energia não gerada;
- Redução da variabilidade da geração, que é intrínseca às fontes solar e eólica;
- Controle da potência disponibilizada pelo parque gerador.

A crise hídrica dos últimos anos mudou a forma de gestão do Rio São Francisco. Os diversos usuários da água tiveram a oportunidade de se aproximar para fazer uma gestão participativa dos recursos hídricos. O papel institucional da ANA, com a implantação das teleconferências semanais, foi fundamental para o aprimoramento desse processo.

Devido à conjuntura, perdeu-se a capacidade de regularização plurianual dos reservatórios, ou seja, não há mais a vantagem estratégica para que as usinas hidráulicas com reservatório operem associadas à geração eólica localizada na Região Nordeste. Portanto, para restabelecer a capacidade de as usinas hidráulicas com reservatório operarem associadas à geração eólica, sugere-se:

2. implantar geração térmica de base a gás natural, através de leilões específicos, de forma a permitir preços competitivos em relação às demais fontes. Esta geração seria despachada na base, deslocando a geração hidráulica e permitindo a recuperação e o controle do nível dos reservatórios, o que possibilitaria a operação associada das hidráulicas com a geração renovável variável existente na região. O combustível dessas térmicas seria GNL importado, devendo, consequentemente, ser instaladas próximas ao litoral.

REFLEXÕES

É importante destacar que houve muito aprendizado para toda a sociedade com interesse na bacia do Rio São Francisco com destaque para as seguintes lições, nesses últimos anos: necessidade de racionalizar o uso da água; importância dos órgãos gestores e a sua função institucional; identificação de interesses divergentes entre os usuários localizados a montante e a jusante dos reservatórios. De nada adianta aumentar a

defluência de um reservatório, para atender, por exemplo, apenas às captações de jusante. Os usuários aprenderam a pensar também nas captações a montante dos reservatórios.

A sociedade aprendeu a pensar na gestão integrada da bacia, pois todos os usuários serão afetados através da política de operação dos reservatórios. Neste sentido, o Comitê da Bacia do Rio São Francisco, a ONS, a ANA, a CHESF, a Codevasf, os órgãos setoriais, as entidades de classe e todos os usuários da bacia têm um papel fundamental da gestão integrada dos múltiplos usos da água do Rio São Francisco.

O crescimento da população mundial e o conseqüente aumento da produção de alimentos e bens de consumo implicam o aumento do consumo de energia, contribuindo para as mudanças climáticas, cujas conseqüências já são evidentes para toda humanidade. Dessa forma, o planeta precisa de medidas concretas para reduzir a emissão de CO², incentivar a reciclagem de materiais e de água, visando à minimização dos impactos diretos sobre o meio ambiente e ao uso sustentável dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. *Marco histórico para o setor fotovoltaico brasileiro*. nov. 2014. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/marco-historico-para-o-setor-fotovoltaico-brasileiro.html>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. *Dados mensais*: junho 2017. Disponível em: <<http://www.abeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/06/Dados-Mensais-ABEEolica-06.2017.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

BOLETIM MENSAL DE GERAÇÃO EÓLICA. abr. 2017. Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/resultados_operacao/boletim_mensal_geracao_eolica/Boletim_Eolica_abr_2017.pdf>. Acesso em: 26 maio 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 15 jun. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Energia eólica no Brasil e no mundo*: ano de referência 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/docu->

A sociedade aprendeu a pensar na gestão integrada da bacia, pois todos os usuários serão afetados através da política de operação dos reservatórios

ments/10584/3894319/Energia+E%C3%B3lica+-+ano+ref++2015+(3).pdf/f5ca897d-bc63-400c-9389-582cd4f00ea2>. Acesso em: 25 maio 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Estudos de planejamento da expansão da geração: avaliação da geração de usinas híbridas eólico-fotovoltaicas: proposta metodológica e estudos de caso*. Brasília: EPE, 2017. 32 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/EPE-DEE-NT-025_2017-rO_Usinas%20h%C3%ADbridas%20EOL%20e%20UFV.pdf>. Acesso em: 25 maio 2017.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: 2016-2025*. 2015. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/planoderecursosohidricos/wp-content/uploads/2015/04/2015_06_RP1A_Geral_ANA_GAT.pdf>. Acesso em: 20 maio 2017.

COUTO, A. P. et al. Impact of weather regimes on the wind power ramp forecast in Portugal. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 934-942, 2015.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global wind statistics: 2016*. Bruxelas: GWEC, 2017. Disponível em: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2016_EN_WEB.pdf>. Acesso em: 20 maio 2016.

Ministério da Integração Nacional (2017). <http://www.integracao.gov.br>.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Base de Dados Técnica do ONS. 2017a.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Plano da Operação Energética 2017/2021*: PEN 2017. Rio de Janeiro: ONS, 2017b. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/RE-3-0108-2017_PEN2017_SumarioExecutivo.pdf>. Acesso em: 20 maio 2017.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Resultados da operação: histórico da operação*. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/pt/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>>. Acesso em: 20 maio 2017c.

SILVA, S. R. *A integração entre os níveis de planejamento de recursos hídricos estudo de caso: a bacia hidrográfica do rio São Francisco*. 2006. 301 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

WALTON, R. A.; GALLUS, W. A.; TAKLE, E. S. Wind ramp events at turbine height-spatial consistency and causes at two Iowa Wind Farms. In: CONFERENCE ON WEATHER, CLIMATE, AND THE NEW ENERGY ECONOMY, 4., 2013, Austin, USA. *Proceedings...* Austin, USA: Iowa State University, 2013.

Resumo

Este artigo sumariza um estudo que avaliou as condições de viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água em comunidades rurais, sob o ponto de vista técnico, financeiro e, sobretudo, da gestão pós-instalação, considerando-se os arranjos institucionais existentes e alternativos, visando ao funcionamento efetivo dos projetos, sejam de iniciativa do governo federal, dos governos estaduais, de instituições de pesquisa e organizações não governamentais. Fez-se uma revisão da experiência brasileira na implantação de tais tipos de sistemas, inclusive com visitas de campo no Ceará e em Pernambuco, seguiu-se com uma análise dos resultados e desafios institucionais e a proposição de mecanismos e arranjos para assegurar a sustentabilidade desses sistemas.

Palavras-chave: Bombeamento de água. Sistemas fotovoltaicos. Viabilidade. O&M.

Abstract

This article summarizes a study that evaluated the feasibility of the use of photovoltaic systems for water pumping in rural communities, from a technical, financial and, above all, post-installation management point of view. It considers the existing institutional arrangements and alternatives, for the effective operation of the projects, whether from the initiative of the federal government, state governments, research institutions and non-governmental organizations. A review of the Brazilian experience in the implementation of these types of systems, including field visits in Ceará and Pernambuco, was followed by an analysis of the results, institutional challenges and proposition of mechanisms and arrangements to ensure the sustainability of these systems.

Keywords: Water pumping. Photovoltaic systems. Viability. O&M.

Estudo de viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos (FV) para bombeamento de água, com base nas experiências dos estados do Ceará, de Pernambuco e da Bahia¹

OSVALDO SOLIANO PEREIRA

Especialista em Energia Elétrica, pela Universidade de École Supérieure d'Électricité (Supelec); doutor em Política Energética, pela Universidade de Londres e graduado em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor adjunto do Instituto de Humanidades, Artes e Ciências Professor Milton Santos da Universidade Federal da Bahia (IHAC/UFBA); pesquisador líder no grupo de pesquisa Grupo Energias Renováveis para Eletricidade (G-ERE) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e do Grupo de Pesquisa Gestão Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e sócio fundador do Centro Brasileiro de Energia e Mudanças Climáticas (CBEM). osvaldo.soliano@ufba.br

MARIA CRISTINA FEDRIZZI

Doutora e mestre em Energia, pela Universidade de São Paulo (USP); especialista em Novo Ambiente Regulatório Cenários, pela USP; especialista em Riego y Drenaje, pelo Centro Nacional de Tecnologia de Regadios (CENTER); especialista em Ingeniería de Regadios, pelo Centro de Estudios Y Experimentacion de Obras Públicas (CEDEX) e graduada em Agronomia, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Especialista em laboratório na USP. fedrizzi@iee.usp.br

TEREZA MOUSINHO REIS

Doutora em Engenharia Elétrica, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP); mestre em Regulação da Indústria de Energia, pela Universidade Salvador (Unifacs); pós-graduada e graduada em Ciências Econômicas, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Sócia-administradora do Centro Brasileiro de Energia e Mudanças Climáticas (CBEM). terezamousinhoreis@gmail.com

COMO PARTE do saneamento ambiental, o acesso à água tratada é indispensável para a melhoria das condições de higiene e saúde da população e, uma vez associado a outros dados ambientais e socioeconômicos – a exemplo de serviços de saneamento (esgoto, coleta e descarte de lixo), educação, níveis de renda –, constitui indicador universal de desenvolvimento sustentável. O acesso à água no meio rural do Nordeste brasileiro é o foco deste artigo que analisa a experiência brasileira na implantação de sistemas de bombeamento de água com tecnologia fotovoltaica e avalia a viabilidade de utilização dessa tecnologia, técnica e financeiramente. Consideram-se, sobretudo, os arranjos institucionais dos projetos e seu funcionamento efetivo, incluindo

¹ Este artigo é o sumário do *Estudo de viabilidade técnica, institucional e financeira para a identificação de possíveis áreas-piloto para testar a utilização de painéis fotovoltaicos no fornecimento de energia para os sistemas de bombeamento em comunidades rurais do Ceará e de Pernambuco*, realizado a pedido do Banco Mundial. As opiniões, interpretações e conclusões aqui apresentadas são dos autores e não devem ser atribuídas, de modo algum, ao Banco Mundial, às suas instituições afiliadas, ao seu conselho diretor, ou aos países por eles representados. O Banco Mundial não garante a precisão da informação incluída nesta publicação e não aceita responsabilidade alguma por qualquer consequência de seu uso.

Seu objetivo é responder às questões que surgem do parágrafo anterior: a tecnologia solar é viável para a comunidade e seu custo é aceitável? Pode ser mantida e operada com um mínimo apoio técnico-operacional?

projetos de iniciativa do governo federal, dos governos estaduais, de instituições de pesquisa e organizações não governamentais.

O estudo apresenta um diagnóstico atual da situação dos projetos que utilizam ou utilizaram a tecnologia de bombeamento fotovoltaico baseando-se em dados secundários, extraídos da literatura já existente e que foram complementados/atualizados mediante contatos com as instituições identificadas no levantamento. Foram ainda avaliadas as práticas encontradas em campo referentes à gestão dos sistemas de bombeamento rural convencional e alguns projetos que utilizam a energia solar, sobretudo a partir de programas implantados pelos governos federal e estaduais.

Foi também revisado o arcabouço vigente referente ao saneamento rural, em particular no que diz respeito ao abastecimento de água, e feito um paralelo com a regulamentação do fornecimento de energia elétrica para o meio rural.

De antemão ficou evidente que nenhum modelo ofereceu mais probabilidade de ser replicado para os sistemas solares que o adotado pelo Sistema Integrado de Saneamento Rural (Sisar), no Ceará, e isto será evidenciado ao longo do artigo.

OBJETIVOS E HIPÓTESES

O estudo teve como objetivo determinar a viabilidade da implantação de painéis fotovoltaicos para geração de energia em sistemas de bombeamento de água para abastecer comunidades rurais, que fazem parte de projetos de desenvolvimento rural nos estados do Ceará e de Pernambuco, financiados conjuntamente pelo Banco Mundial e os governos dos respectivos estados.

Apesar de a análise de viabilidade abranger os múltiplos aspectos técnicos, institucionais e financeiros na definição de locais-piloto para a implantação dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento, o foco principal deste estudo é a gestão dos sistemas pós-instalação – operação, manutenção e eventual reposição de peças –, considerando-se que a análise da experiência brasileira no uso de sistemas fotovoltaicos (FV) de bombeamento mostra que o país já acolheu uma infinidade de projetos-piloto, e até programas de grande envergadura, os quais não foram ou não têm sido bem-sucedidos, devido, particularmente, a modelos de gestão inadequados à realidade do meio rural. Esta é a hipótese que este estudo deve enfrentar. Em última instância, seu objetivo é responder às questões que surgem do parágrafo anterior: a tecnologia solar é viável para a comunidade e seu custo é aceitável? Pode ser mantida e operada com um mínimo apoio técnico-operacional?

Assim, busca-se entender como a parceria com sociedades civis (associações locais) pode contribuir na execução de políticas e programas bem-sucedidos, levando-se em conta que a colaboração entre governo e sociedade pode conferir maior efetividade nas políticas públicas para abastecimento de água em áreas rurais.

Para responder a essas mesmas questões, o Banco Mundial identificou a necessidade de avaliação não só de alternativas de modelos de gestão, como do uso de bombeamento com energia fotovoltaica, observando que, ainda que o investimento inicial seja alto, sistemas FV eliminariam o custo de energia para os usuários.

Além de uma avaliação dos resultados dos projetos anteriormente implantados no Brasil, foi feita uma análise tanto dos desafios regulatórios para a sustentabilidade desses sistemas, quanto da viabilidade do uso da energia solar para bombeamento, a partir da identificação de locais com potencialidade de acolher alguns projetos-piloto, levando em conta a factibilidade de uma posterior operação, apoiada por entidade que possa fazê-la. Avaliaram-se as condições necessárias e suficientes para a operação contínua e regular do sistema, sendo considerados aspectos como a participação da comunidade e sua capacidade de gestão, as demandas de assistência técnica, a capacidade institucional local, a infraestrutura, a segurança e a limpeza do equipamento existente, os custos de manutenção, a existência de uma instância de recurso etc.

Estimaram-se alguns desses custos para a construção de um fluxo de caixa que garantisse a operação e a manutenção do sistema, sendo calculados os indicadores de viabilidade financeira. Para simular os impactos potenciais de mudanças nos preços da energia, realizou-se uma análise de sensibilidade considerando-se as flutuações de preços e taxas atraentes. O estudo, em função dos prazos de execução e recursos limitados, não permitiu o levantamento *in loco* de amostra significativa do trabalho de associações e Organizações de Produtores Familiares (OPF), pois previa apenas visitas pontuais e análise qualitativa dos problemas enfrentados e lições aprendidas nos projetos já implementados.

CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SUA INTER-RELAÇÃO COM O SUPRIMENTO DE ENERGIA

Segundo o relatório conjunto do World Health Organization (WHO) e Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef), existem no mundo cerca de 640 milhões de habitantes em áreas rurais que não dispõem desses serviços, número cinco vezes maior do que o encontrado em áreas urbanas, de aproximadamente 130 milhões de pessoas (WOR-

Busca-se
entender como
a parceria com
sociedades
civis
(associações
locais) pode
contribuir
na execução
de políticas
e programas
bem-sucedidos,
levando-se
em conta que
a colaboração
entre governo
e sociedade

É importante assinalar que sistemas de abastecimento de água e de suprimento de energia estão fortemente relacionados, uma vez que, para acionar sistemas de bombeamento, é necessária alguma forma de energia

LD HEALTH ORGANIZATION; UNICEF, 2013). Esses dados mostram o quanto ainda tem de ser realizado em termos de políticas de saneamento público, particularmente nas zonas rurais, onde historicamente a implementação de políticas/programas são mais difíceis, não só pela escala dos investimentos necessários, como pela sua sustentabilidade, o que representa enorme desafio para os formuladores/executores de políticas nessa área.

É para contornar essas dificuldades que vêm-se desenvolvendo em todo o mundo o conceito e os modelos de gestão comunitária para viabilizar a universalização desses serviços de forma sustentável, cuja aplicação em áreas rurais de países em desenvolvimento da África, da Ásia e da América Latina é uma realidade.

A disseminação de modelos de gestão comunitária vem ao encontro do interesse das comunidades em inserir suas necessidades na agenda de políticas públicas, bem como do Estado em delegar para a sociedade organizada parte de suas funções, convertendo a sociedade civil em um ator ativo na formulação e na gestão de políticas públicas. Essa disseminação tem demandado a instituição de marcos regulatórios para disciplinar essa participação, ao lado de programas/políticas que incluam sua participação.

É importante assinalar que sistemas de abastecimento de água e de suprimento de energia estão fortemente relacionados, uma vez que, para acionar sistemas de bombeamento, é necessária alguma forma de energia. Historicamente, os sistemas de bombeamento existentes no Brasil – que respondem pelas atividades de captação, tratamento, transporte e distribuição, o que requer a construção de elevatórias de água e estações de tratamento de água – foram projetados e construídos sem preocupação com o custo da energia elétrica, que era fortemente subsidiada e não onerava muito o custo operacional das estações de bombeamento. Desse modo, os esforços para conservar água e energia podem ser vistos como complementares e sinérgicos – especialmente quando se analisam os sistemas públicos de abastecimento de água – e, por consequência, devem ser planejados conjuntamente.

Conforme dados da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (BRASIL, 2016), o custo de energia elétrica representa 11,2% das despesas de exploração do setor de saneamento, é o terceiro maior custo das companhias, perdendo apenas para os gastos com pessoal – recursos humanos e serviços de terceiros –, sendo que o consumo setorial representa cerca de 2,3% do consumo total de energia do país.

Na Região Nordeste, os governos estaduais têm elegido como programa prioritário a universalização do abastecimento de água para as co-

munidades rurais. Como muitas estão localizadas em áreas remotas e distantes das redes de energia elétrica, os sistemas de bombeamento de água, seja de poços ou de águas superficiais, acionados com energia solar afiguram-se como alternativa a ser utilizada, considerando-se que, na ausência de rede elétrica, teriam que ser usadas bombas movidas a diesel que têm custos operacionais elevados e complexa logística de aquisição, transporte, armazenamento e abastecimento do combustível. Adicionalmente, mesmo quando da existência da rede, o custo da energia elétrica pode ser elevado para a comunidade e, em muitos casos, assumido pelas prefeituras. Em decorrência, a energia solar pode representar um investimento inicial mais elevado, mas com custos de operação e manutenção (O&M) significativamente menores, tornando as comunidades mais independentes do orçamento do poder municipal.

O sistema de bombeamento que realiza o transporte de água para o ponto de consumo pode ser classificado de acordo com sua fonte de energia

TECNOLOGIAS DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA E FONTES DE ENERGIA

O sistema de bombeamento que realiza o transporte de água para o ponto de consumo pode ser classificado de acordo com sua fonte de energia. Os primeiros sistemas desenvolvidos pelo homem utilizavam o esforço humano ou animal, sendo ainda empregado nos dias de hoje. As bombas mais utilizadas na ausência de rede elétrica são acionadas tendo como fontes primárias o diesel e as energias fotovoltaica e eólica.

Em muitas situações, os sistemas de bombeamento de água pela rede elétrica apresentam um custo elevado em razão de muitas comunidades rurais no Brasil, principalmente nas regiões Norte e Nordeste e em localidades insulares, não estarem interligadas, uma vez que estão localizadas a distâncias consideráveis da rede elétrica existente. Mesmo quando as vilas estão conectadas, eventualmente o ponto de captação pode estar a uma distância significativa da rede, representando custos elevados de investimento².

Nos casos em que a alternativa da rede elétrica é inviável, tradicionalmente têm sido usados os sistemas de bombeamento acionados com motor diesel. As motobombas com motores de combustão são amplamente empregadas em virtude de apresentar tecnologia já consolidada no mercado. Por conta disso apresentam diversas vantagens, como custo inicial baixo, disponibilidade de peças e mão de obra qualificada para instalação e assistência, mas têm custos operacionais elevados – pois estão atreladas ao preço de fornecimento e transporte do diesel – e muitos problemas de manutenção. Emissão de poluentes na atmosfera,

2 No caso do projeto-piloto analisado neste relatório, na localidade Braúna-Ferrada, o custo de conexão do poço, orçado pela Companhia Energética do Ceará (Coelce), foi de R\$ 91.690,00. Obras acima de R\$ 100.000,00 não são sequer consideradas.

Os sistemas solares e eólicos geralmente necessitam de armazenamento de água em reservatórios devido à intermitência do regime de ventos e à variação da radiação solar

derramamento de óleo (muito comum nas manobras de abastecimento do gerador) e geração de ruído são outros pontos negativos.

Numa revisão recente do estado da arte das bombas solares, Chandel, Naik e Chandel (2015) concluem que as bombas solares disponíveis no mercado podem elevar água de cinco a mais de 200 m com vazões de até 250 m³/dia. Os autores verificam ainda que controladores para sistemas solares fotovoltaicos de grande porte já se aproximam da faixa de 100 kW. Assim, a opção entre rede e sistemas solares pode ser comparada, tendo em vista os custos em investimentos da rede, pois tem relação direta com a extensão da rede e o preço cobrado pela energia. Neste estudo, contudo, o foco será apenas em sistemas para pequenas comunidades, o que foge da faixa de sistemas individuais (com possibilidade de atendimento por bombas manuais), assim como de sistemas de grande porte (típicos de grandes vilas e cidades, que normalmente já estão conectados a redes existentes ou são atendidos por grandes sistemas a diesel).

Os sistemas solares e eólicos geralmente necessitam de armazenamento de água em reservatórios devido à intermitência do regime de ventos e à variação da radiação solar. É uma tecnologia moderadamente difundida de operação autônoma e longa vida útil. O sistema de armazenamento é, portanto, uma tecnologia totalmente consolidada. Existe a possibilidade de acoplamento a baterias, sobretudo quando se quer fornecer eletricidade também, mas este recurso onera substancialmente os custos de instalação e manutenção, e, por isso, não foi considerado neste estudo.

Ao contrário do bombeamento com motores a diesel, o sistema solar fotovoltaico é muito mais econômico em termos de custos operacionais e de manutenção, uma vez que dispensa o transporte e o consumo de combustível e apresenta menos defeitos, embora o investimento inicial seja maior. Assim, uma das formas de garantir o suprimento de energia aos sistemas de bombeamento de poços, necessário ao suprimento de água de comunidades rurais isoladas, é a implantação de sistemas energéticos baseados na energia solar.

O Quadro 1 fornece um comparativo entre as tecnologias de sistemas de bombeamento mais empregados, suas vantagens e desvantagens apontadas na literatura pertinente.

Quadro 1

Sistemas de bombeamento de água, vantagens e desvantagens

Variáveis	Rede elétrica	Diesel	Fotovoltaico	Eólico	Manual
Custo inicial	Baixo se estiver disponível	Baixo	Elevado	Elevado	Baixo
Custo de operação	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Baixo, restrito a limpeza
Custo de manutenção	Baixo	Alto	Baixo	Moderado	Baixo
Tecnologia	Simple	Larga experiência de utilização e fácil instalação	Sistema modular, durabilidade e confiabilidade	Importante a localização na topografia	Simple
Disponibilidade equipamentos	Ampla	Ampla	Baixo	Baixo	Ampla
Impactos ambientais mais relevantes	Na construção da rede e na geração a depender da fonte	Emissão de gases e particulados poluentes, risco de vazamentos, produção de ruído	Maior impacto na fabricação dos componentes	Na fabricação dos componentes, na avifauna local	Ruído
Outras vantagens	Alta disponibilidade de energia quando existe a rede	Modular e de fácil aquisição	Geração sem emissões de poluentes nem ruído, operação autônoma	Operação autônoma	Tecnologia simples
Outros problemas	Extensão da rede a depender do local	Abastecimento do combustível	Intermitência/ sazonalidade; necessidade de reservatório; não há familiaridade da maioria dos usuários com o sistema; necessidade de recurso solar adequado no local		É necessário reservatório; há grande desgaste físico do 'operador'; vazão e altura manométrica limitadas

Fonte: Centro Brasileiro de Energia e Mudanças Climáticas (2014).

ARCABOUÇO INSTITUCIONAL VIGENTE

O ponto de partida é a Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. A regulamentação dessa lei aconteceu em 2010, através do Decreto nº 7.217/2010 que, no seu Art. 5º, estabelece que o “Ministério da Saúde definirá os parâmetros e padrões de potabilidade da água, bem como estabelecerá os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2010). No ano seguinte, o Ministério da Saúde editou a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, pensada para o ambiente urbano (BRASIL, 2011b).

Em julho de 2011, através do Decreto nº 7.535/2011, foi instituído pelo governo federal o Programa de Universalização do Acesso e Uso da Água - Programa Água para Todos, o qual, à semelhança do Programa Luz para Todos, de universalização do acesso à energia elétrica, tem por objetivo universalizar o acesso à água em áreas rurais não atendidas por este serviço público essencial ou atendidas por sistemas deficitários (BRASIL, 2011a).

O ponto de partida é a Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico

O programa definiu, dentre outras diretrizes, o fomento à implementação de infraestrutura e equipamentos de captação, reservação, tratamento e distribuição de água, oriunda de corpos d'água, poços ou nascentes e otimização de seu uso

O programa definiu, dentre outras diretrizes, o fomento à implementação de infraestrutura e equipamentos de captação, reservação, tratamento e distribuição de água, oriunda de corpos d'água, poços ou nascentes e otimização de seu uso. Apesar de mais vocacionado para a coleta de águas pluviais, o uso do bombeamento fotovoltaico certamente constitui-se uma de suas possibilidades.

Como um dos instrumentos de apoio ao programa, a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (Codevasf) produziu o Manual para Implantação de Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água (SSAA), que inclui, dentre as alternativas de abastecimento, o Projeto Catavento, que se constitui numa forma de suprimento de energia (BRASIL, [201-]). Entretanto, outras formas de energia, como a solar, não foram contempladas.

Através do Decreto nº 8.141, de 20 de novembro de 2013, foi instituído o Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB) que passou a denominar-se Plansab. A operacionalização do Plansab foi concebida em três programas: o saneamento básico integrado, o saneamento rural e o saneamento estruturante. O plano definiu os horizontes das metas para 2014 a 2033, sendo 2018 o horizonte de curto prazo, 2023 o de médio prazo e 2033 o de longo prazo, um período, portanto, de 20 anos.

O Plansab reconhece que o “saneamento rural requer uma abordagem própria e distinta da convencionalmente adotada nas áreas urbanas, tanto na dimensão tecnológica, quanto na da gestão e da relação com as comunidades” (BRASIL, 2013, p. 157), conectando-se diretamente com a ideia de utilizar a energia solar para o bombeamento e adotando modelos alternativos de gestão.

O programa tem entre seus eixos estratégicos:

- tecnologia: tecnologias de saneamento apropriadas às peculiaridades regionais e locais – tecnologias sociais;
- saneamento rural ecológico atento aos impactos ambientais;
- gestão, operação e manutenção dos serviços: Sustentabilidade dos serviços implantados – modelos de gestão.

Entre as medidas estruturais das linhas de ação do programa estão investimentos em obras para a conformação das infraestruturas físicas de abastecimento de água potável, enquanto entre as medidas estruturantes estão o suporte político e gerencial para a sustentabilidade da prestação de serviços, incluindo ações de educação e mobilização social, cooperação técnica aos municípios no apoio à gestão e, inclusive,

na elaboração de projetos. A questão da cooperação técnica aos municípios é muito bem contornada no caso do Ceará, através da assistência técnica prestada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) ao Sisar que recebe, a partir de delegação dos municípios, a gestão dos sistemas rurais de abastecimento de água.

O desafio que se coloca para o país é de universalizar o acesso aos serviços de saneamento básico, sendo que, para 2023, a meta é que 100% do território nacional seja abastecido por água potável, e, em horizontes maiores, os demais componentes do saneamento básico também sejam atingidos.

Em nível de estados, quando do desenvolvimento dos estudos, a Bahia dispunha da Lei Estadual nº 11.172, de dezembro de 2008, que instituiu os princípios e as diretrizes da Política Estadual de Saneamento Básico; Pernambuco ainda não tinha instituído seu arcabouço nesse período, e o Ceará aprovava, em junho de 2016, a Política Estadual de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, contemplando o saneamento rural.

ENERGIA SOLAR PARA BOMBEAMENTO

O Brasil já tem uma experiência significativa no uso de sistemas fotovoltaicos para suprimento de energia em áreas rurais como opção mais barata em comparação à extensão das redes de distribuição. As aplicações dos sistemas fotovoltaicos incluem cercas eletrificadas para criação de animais, irrigação, bombeamento de água, refrigeração de medicamentos e vacinas em postos de saúde, iluminação pública etc.

Iniciado ainda no início da década de 1990, o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (Prodeem) implantou centenas de sistemas de bombeamento solar pelo Brasil. O programa foi expandido em vários estados com apoio do Banco Mundial para ações de convivência com a seca. A Tabela 1 apresenta os números do Prodeem, que registram quase 2.500 sistemas de bombeamento instalados em seis fases do programa, sendo que na fase chamada de emergencial foram instalados 800 sistemas de bombeamento, somando 1.147 kWp, a um custo médio de US\$ 4 mil por sistema e a um custo de US\$ 8,8 por Wp instalado.

A empresa responsável pela gestão do Prodeem no Nordeste foi a Chesf. Resgatando informações colhidas na referida empresa, em entrevista com o gerente do Prodeem na época, José Bione, tem-se que os sistemas instalados nas primeiras fases do Prodeem não apresentaram grandes problemas. Ali eram usados sistemas com as bombas Grundfos, que são consideradas extremamente robustas, embora mais caras, e bombas Solarjack. Já na fase emergencial, dois fornecedores diferentes participaram desta fase: Total e Solarjack.

O Brasil já tem uma experiência significativa no uso de sistemas fotovoltaicos para suprimento de energia em áreas rurais como opção mais barata em comparação à extensão das redes de distribuição

Tabela 1

Projetos fotovoltaicos coordenados pelo Prodeem/MME

Fases	Energéticos			Iluminação Pública			Bombeamento			Totalização		
	Qtd. (A)	Potência KWP (B)	Total US\$ 1 mil (C)	Qtd. (D)	Potência KWP (E)	Total US\$ 1 mil (F)	Qtd. (G)	Potência (KWP) (H)	Total US\$ 1 mil (I)	Qtd. (J) = A+D+G	Potência KWP (L) = B+E+H	Total US\$ 1 mil (M) = C+F+I
Fase I	190	87	526	137	7	76	54	78	480	381	172	1.081
Fase II	387	195	1.621	242	17	197	179	213	1.635	808	425	3.453
Fase III	843	526	3.495	0	0	0	224	165	1.173	1.067	691	4.668
Emerg.	0	0	0	0	0	0	800	235	2.221	800	235	2.221
Fase IV	1.660	972	5.456	0	0	0	1.240	457	4.569	2.900	1.429	10.026
Fase V	3.000	2160	15.801	0	0	0	0	0	0	3.000	2.160	15.801
Total	3.080	3.940	3.940	379	24	272	[2497	1.147	10078]	8.956	5.112	37.250

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2005).

A questão da qualidade da água não fora considerada, uma vez que, quando esta era de boa qualidade, a bomba não tinha problemas, mas, no Nordeste, muitos sistemas tinham um alto nível de salinidade

Ainda segundo o Bione, os primeiros sistemas da Total apresentaram problemas em função da qualidade da água, que continha grande quantidade de resíduos sólidos em suspensão, o que era incompatível com as bombas helicoidais, que findavam acumulando os resíduos e travando, o que aumentava o seu já elevado torque de partida, com o conseqüente rompimento do eixo. Por serem motobombas de deslocamento positivo do tipo helicoidal, mais eficientes do que as centrífugas, requeriam menos módulos fotovoltaicos, e assim os sistemas tornavam-se mais competitivos nos processos licitatórios, a despeito de não serem os mais adequados para a água da região, o que só foi constatado *a posteriori*. O problema fez o Ministério de Minas e Energia cancelar o pagamento do fornecimento da Total. Os sistemas foram então abandonados, e uma parte dos equipamentos adquiridos sequer foi instalada.

A questão da qualidade da água não fora considerada, uma vez que, quando esta era de boa qualidade, a bomba não tinha problemas, mas, no Nordeste, muitos sistemas tinham um alto nível de salinidade. Assim, o grande gargalo do programa acabou sendo a manutenção (as bombas, em função da qualidade da água, deveriam ser retiradas e limpas periodicamente para a remoção dos resíduos sólidos e incrustações que faziam aumentar o torque requerido).

Observou-se também que houve falhas na especificação na medida em que se buscou uma padronização exagerada dos sistemas, que eram ajustados aos poços e não dimensionados com precisão. Finalmente, como já mencionado acima, ao se fixar demasiadamente na escolha dos sistemas mais baratos nos processos de licitação, utilizaram-se sistemas de segunda geração, com bombas DC que exigiam menos módulos e, por conseqüência, uma maior relação custo-benefício, apresentando custos menores, o que, ao final, se mostrou contraproducente.

No âmbito do programa, as comunidades também eram as gestoras dos projetos, sendo que as prefeituras deveriam manter os operadores. A guarda dos equipamentos era feita pela Chesf, que ficou responsável pela instalação dos equipamentos e posteriores manutenções, mas apenas de sistemas energéticos, já que os sistemas de bombeamento, devido à pendência jurídica, foram abandonados.

A experiência do Prodeem foi extremamente importante na disseminação dos sistemas fotovoltaicos no meio rural brasileiro, particularmente para bombeamento, e foi replicada pelos governos estaduais, como é descrito a seguir. Entretanto, a lição de entregar os sistemas às comunidades rurais sem o respaldo de uma instância de recurso para solução de problemas, uma falha do Prodeem, não foi aprendida pelos governos estaduais. Com efeito, entidades estaduais como a Companhia Ambiental e de Recursos Hídricos da Bahia (Cerb), na Bahia, a Superintendência de Obras Hidráulicas (Sohidra), no Ceará, ou o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em Pernambuco, entregaram os sistemas às prefeituras ou comunidades que, por sua vez, não tinham a quem recorrer em casos de maior complexidade. Por falta de recursos humanos ou financeiros, esses sistemas deixaram de funcionar por falta de peças de reposição, particularmente bombas importadas, ou problemas técnicos relativamente simples.

Na Bahia, o primeiro piloto do Prodeem foi implantado pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), mas o programa passou a ser gerido pela Cerb. A Coelba iniciou a implantação de sistemas fotovoltaicos, inclusive para bombeamento, no início dos anos 1990. Na época, a companhia identificou sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação que haviam sido instalados no âmbito do Projeto Sertanejo (PEREIRA et al., 1994), ainda na década de 1980, e que funcionara muito bem até a eletrificação da comunidade e causara um grande impacto econômico naqueles que conseguiram manter seus sistemas.

A Cerb implantou mais de 250 sistemas fotovoltaicos de bombeamento no estado da Bahia, ao longo de mais de uma década, sendo que quase 200 deles foram patrocinados, integral ou parcialmente, pelo Prodeem.

Apesar da grande experiência em instalação, a Cerb não tem o mandato de operar ou manter os sistemas, uma vez instalados, que são repassados para as prefeituras e comunidades, que não têm em seus registros qualquer informação sobre a situação atual dos sistemas. Manutenções eventuais são feitas em função de demandas pontuais, mas em nenhuma condição é feita a reposição de componentes importantes, a exemplo das bombas.

Na Bahia, o primeiro piloto do Prodeem foi implantado pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), mas o programa passou a ser gerido pela Cerb

Deixou-se de instalar os sistemas solares, pois as bombas utilizadas eram importadas e não havia recursos posteriores na Cerb, nas prefeituras ou nas comunidades para reposição

A empresa conseguiu contornar um problema que era comum no estado, o furto de módulos fotovoltaicos, instalando-os no alto de postes. Entretanto, no seu material de divulgação, intitulado Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água - SSAA (BRASIL, [201-]) não consta nenhum sistema com bombeamento solar. Segundo a empresa, deixou-se de instalar os sistemas solares, pois as bombas utilizadas eram importadas e não havia recursos posteriores na Cerb, nas prefeituras ou nas comunidades para reposição. Além disso, a empresa tem 510 dessalinizadores instalados, mas nenhum fazendo uso de energia solar.

No Ceará também foram instalados centenas de sistemas no âmbito do Prodeem, sucedendo a experiência piloto do Projeto Eldorado, em parceria com o governo alemão. Como havia uma representação do GTZ³ em Fortaleza, vários sistemas com poços profundos foram instalados ainda na década de 1990 (ANHALT, 1995). Segundo dados disponibilizados pela Superintendência de Obras Hídricas (Sohidra)⁴, quando da missão do Banco Mundial, 208 poços com bombeamento solar foram instalados no Ceará, em programas envolvendo o governo do estado. Da mesma forma que na Bahia, a empresa fez a instalação, mas não tinha mandato para operar ou manter os sistemas, e não há registro do estado em que os sistemas se encontram.

Igualmente à Cerb e à Sohidra, o IPA, em Pernambuco, não tem gestão sobre os sistemas, uma vez instalados. Um levantamento da situação dos sistemas de bombeamento instalados no estado de Pernambuco, reportado pelo IPA, foi suspenso quando 860 sistemas já tinham sido cadastrados. Estes dados não estão disponíveis, e um novo levantamento deve ser efetuado, buscando entender, inclusive, os mecanismos de gestão. Pelos termos de referência do novo contrato, recebido durante uma visita ao IPA, pretende-se identificar comunidades rurais em todas as regiões do estado, com população entre 30 e 1 mil famílias, indicando tipologias empregadas, assim como as formas de gestão utilizadas nos serviços de saneamento rural (PERNAMBUCO, 2014).

Já em 2002, num levantamento efetuado por Fedrizzi e Sauer (2002), estimava-se um universo de 3.255 poços instalados no país com sistemas de bombeamento FV, em decorrência de distintos programas. A potência total instalada aproximava-se de 2 MWp, com uma potência média por poço de 530 kWp, variando de 0,09 a 1,44 kWp.

3 Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Agência Alemã de Cooperação Internacional).

4 Em correspondência privada disponibilizada aos consultores.

CORRELAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO E OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAIS

Situação similar ao dos sistemas de bombeamento fotovoltaicos era a dos sistemas fotovoltaicos para outros usos, inclusive o residencial. Com o advento dos programas Luz no Campo e Luz para Todos, no âmbito da exigência de universalização dos serviços de energia elétrica, o atendimento residencial fotovoltaico foi regulamentado com a criação dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica através de Fontes Intermitentes (SIGFI), em 2004, através da Resolução Normativa nº 083, da Agência Nacional de Energia Elétrica (2004). A resolução visava atender a uma demanda do Programa Luz para Todos (Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003), que incluiu a possibilidade de se atender, através do programa, via concessionárias, consumidores residenciais com sistemas individuais, que vieram a ser chamados de SIGFI. Assim, instalação, operação e manutenção dos SIGFI passaram a se constituir numa responsabilidade das distribuidoras de energia elétrica.

Antes da elaboração de tal resolução, foi necessário abrir a discussão a respeito dos aspectos técnicos de tais sistemas, bem como os de qualidade e de relação comercial, considerando que tais tecnologias apresentam características que diferem do sistema convencional de atendimento via redes.

A resolução descreve os procedimentos e as condições de fornecimento de energia elétrica por intermédio desses sistemas e define o termo “Fonte de Energia Intermitente” como “recurso energético renovável que, para fins de conversão em energia elétrica pelo sistema de geração, não pode ser armazenado em sua forma original” (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2004).

No início, a preocupação era exclusivamente com a regulamentação dos sistemas fotovoltaicos domiciliares, uma vez que estes já se encontravam largamente utilizados, principalmente no Prodeem e em menor escala no Programa Luz no Campo, e suas características de funcionamento e manutenção já eram conhecidas. No entanto, notou-se a necessidade de estender a abrangência do programa para outras tecnologias baseadas em sistemas individuais semelhantes à fotovoltaica, como, por exemplo, a energia eólica, tornando mais flexível a atuação das concessionárias e não limitando a regulamentação a uma única fonte.

Com efeito, as concessionárias de distribuição, particularmente a Coelba, incorporaram a instalação de sistemas fotovoltaicos como alternativa de atendimento às metas de universalização do acesso à eletricidade. Estima-se que hoje existam mais de 50 mil sistemas fotovoltaicos autô-

“Fonte de Energia Intermitente” como “recurso energético renovável que, para fins de conversão em energia elétrica pelo sistema de geração, não pode ser armazenado em sua forma original”

**Bomba
constitui-se
numa carga
e não num
equipamento
de produção
de energia,
o que resulta
ser, após
instalação, uma
responsabilidade
do consumidor
e não da
concessionária**

nomos instalados em várias regiões no país com o intuito de amenizar o problema da falta de acesso à energia elétrica em áreas rurais.

Em junho de 2012, através da Resolução Aneel nº 493, a RN 83/2004 foi revogada para estender os procedimentos e as condições de fornecimento não só a sistemas individuais, mas também a sistemas coletivos de geração em comunidades e povoados isolados, caracterizados pela grande dispersão de consumidores e ausência de economia de escala. Com essa resolução instituiu-se o Minissistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) para permitir alternativas de atendimento coletivo de domicílios isolados, por meio de minissistemas de geração e distribuição, quando verificadas restrições de ordem técnica, econômica ou ambiental para o uso de sistemas convencionais, ou quando o custo desses sistemas coletivos fosse menor que o do sistema individual (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2004, 2012a).

Entretanto, as especificações técnicas dos sistemas contemplados na regulação em vigor para o setor elétrico, em função dos limites de potência fixados, restringem seu uso para outras aplicações rurais, como o bombeamento, o que precisa ser avaliado.

Deve-se adicionalmente mencionar que a bomba constitui-se numa carga e não num equipamento de produção de energia, o que resulta ser, após instalação, uma responsabilidade do consumidor e não da concessionária.

Uma diferença, portanto, fundamental entre a gestão dos sistemas individuais, que passaram a ser de responsabilidade das distribuidoras de energia elétrica, e os sistemas de abastecimento rural é que estes últimos, por falta de uma regulação específica, uma vez instalados, passam a ser de responsabilidade das comunidades locais/consumidoras, as quais nem sempre têm estrutura organizada para lidar com os problemas de manutenção (capacitação local, fornecedores de equipamentos de reposição e rede de assistência técnica) desses sistemas.

INSTALAÇÕES MAIS RECENTES NOS ESTADOS PESQUISADOS

Em 2012, o Centro Brasileiro de Energia e Mudanças Climáticas (CBEM), em parceria com o Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF), da Universidade de São Paulo (USP), começou um estudo patrocinado pelo Programa de P&D da Companhia Energética de Pernambuco (Celpe) intitulado *Sistemas de Bombeamento de Água com Sistemas Fotovoltaicos e Tecnologia de Bombeamento Nacional – Zona Rural de Pernambuco*, que foi concluído em setembro de 2014 (CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2014).

Dois trabalhos anteriores de P&D, desenvolvidos pelo LSF/USP, tinham pesquisado a viabilidade técnica e econômica de se utilizarem conversores de frequência e motobombas nacionais em sistemas de bombeamento solar fotovoltaico, contrapondo-se à prática de uso das bombas solares importadas que, como mencionado anteriormente, são mais caras e de difícil reposição. O primeiro protótipo havia sido instalado em 2005, no município de Presidente Bernardes, no Pontal do Paranapanema (SP), para pesquisa e desenvolvimento da tecnologia.

A inovação do P&D Celpe visou ao desenvolvimento de um novo arranjo tecnológico ao suprimento de cargas de bombeamento de comunidades não interligadas, avaliando as demandas de capacitação das equipes técnicas de concessionárias/municípios, identificando problemas de padronização e de gestão (O&M) e propondo adequações à regulação setorial, de forma a reconhecer esta forma de suprimento na composição dos custos/tarifas das concessionárias.

Várias foram as dificuldades de implementação do projeto, a começar pelo acesso aos dados dos poços, já que o cadastro do IPA estava em reavaliação, como mencionado anteriormente. Após um longo período de espera, conseguiu-se uma lista com 184 poços, mas perceberam-se várias inconsistências nos dados, que são fundamentais para o dimensionamento de um sistema de bombeamento (profundidade, nível estático e nível dinâmico), além de se ter que excluir os sistemas que ficavam muito próximos à rede. Outras questões que foram consideradas relevantes na seleção dos poços a serem visitados foram a salinidade da água e a proximidade entre os poços, de forma a minimizar os deslocamentos quando em campo. Esta decisão foi cancelada por restringir muito o universo da pesquisa. Ao final foram instalados sete sistemas de bombeamento no município de Serra Talhada (PE), sendo significativa a diversidade dos poços instalados, com vazões variando de 1,2 a 5,5 m³/h, potências das bombas de 0,5 a 1,5 CV e potência de gerador variando de 600 a 1.800 Wp, para uma profundidade de poços não muito distante de 40 m e altura manométrica total máxima de 60 m.

As comunidades receberam os sistemas a partir de um convênio entre a Celpe e a Prefeitura de Serra Talhada. O IPA foi indicado pela gestão municipal como principal parceiro para a manutenção dos sistemas.

Segundo o representante da Celpe, visitado quando da missão a Pernambuco, dos sete sistemas instalados, após um ano e meio de operação, seis estavam em funcionamento, sendo que destes, dois tiveram problemas com as bombas, o último foi transferido para outra comunidade com a chegada da rede elétrica, sendo que o novo usuário se dispôs a pagar pela instalação. Em relação às bombas, uma queimou e a outra teve seu rotor travado, sendo esta, posteriormente, reparada, en-

**A inovação
do P&D Celpe
visou ao
desenvolvimento
de um novo
arranjo
tecnológico ao
suprimento
de cargas de
bombeamento
de comunidades
não interligadas**

A configuração implantada é replicável, podendo ser utilizada em futuras instalações, proporcionando incremento do conteúdo nacional em sistemas fotovoltaicos de bombeamento

quanto a primeira teve o motor substituído. Os inversores nacionais não apresentaram problemas e possuem garantia de cinco anos (CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2015).

Até 31 de dezembro de 2015 esteve em vigor a garantia de um ano para O&M, a ser executada pelo fornecedor Kyocera, que acabou sendo estendida por mais seis meses.

A partir desta data, os sistemas seriam transferidos para a responsabilidade do IPA, cujos técnicos – que trabalham com sistemas de bombeamento convencional e residem em Serra Talhada – receberam treinamento teórico e prático em bombeamento fotovoltaico pela USP. Durante esse período até a entrega dos equipamentos, o IPA passou a fazer uma vistoria mensal para a Kyocera. Ficou evidente, durante a pesquisa, que a Celpe conta com o IPA para a manutenção dos sistemas após a entrega, todavia, no contato com o IPA, verificou-se que a empresa não tem mandato nem recursos para operar e manter sistemas após a entrega às prefeituras ou comunidades.

As exigências feitas pela Celpe no sentido de manter um ano de O&M sob a responsabilidade do fornecedor, apesar de onerar o custo final da instalação, é uma sistemática adotada pela empresa em projetos inovadores, mas também facilmente aceita pelos fornecedores por se tratar de um cliente com grande potencial de desenvolvimento de novos projetos. No período inicial de instalação de sistemas é comum surgirem problemas, e, como em casos como estes que são inovadores para a empresa, tal arranjo se reveste de uma grande importância para os novos usuários. Além da operação e da manutenção, o fornecedor promove a capacitação da empresa com uma nova tecnologia.

Numa análise final dos sistemas instalados, concluiu-se que a configuração implantada é replicável, podendo ser utilizada em futuras instalações, proporcionando incremento do conteúdo nacional em sistemas fotovoltaicos de bombeamento. Todavia, como se trata de uma pesquisa em que a configuração implantada deveria utilizar uma parametrização do conversor de frequência desenvolvida no âmbito de uma tese de doutorado que procurava otimizar o acoplamento gerador solar bombas comerciais (BRITO, 2006), fez-se necessário recorrer ao laboratório para parametrizar o conversor de frequência.

Ao final, a limitação foi resolvida com a inclusão das instruções de parametrização do conversor no manual do equipamento, o que foi feito pelo fornecedor do equipamento. Obviamente, o trabalho tratou do equipamento de um fornecedor específico, mas existem no mercado equipamentos similares oferecidos por outros fornecedores, inclusive, produzidos no país, o que torna mais fácil a capacitação de técnicos em

parametrização de conversores. As bombas estão disponíveis localmente, os *set-points* podem ser ajustados em função das características do sistema local. Diante dessa nova realidade, que foi a inclusão no conversor de frequência comercial da opção “bombeamento fotovoltaico”, pode se afirmar que a experiência é tecnicamente replicável.

Com relação à viabilidade econômica, os custos nivelados da geração da energia solar não mostraram competitividade em relação à tarifa praticada pela Celpe, todavia os sistemas foram instalados muito próximos da rede existente, o que prejudica o sistema solar em função dos altos custos iniciais. Este fato seria minimizado se fossem considerados os grandes aumentos que as tarifas de energia elétrica sofreram no último ano, ainda que o aumento da taxa de câmbio também dificulte, no sentido contrário, os sistemas solares, devido ao fato de os módulos solares serem importados. Portanto, a viabilidade é ainda muito dependente de fatores conjunturais.

Um elemento importante incluído no projeto de P&D da Celpe foi um sistema de monitoramento remoto, que, todavia, encareceu o projeto e não foi possível de ser instalado em todos os sete sistemas por inserir um elemento de complexidade a mais. O acesso à internet constitui-se num fator limitante ao monitoramento remoto, em alguns casos pela falta da infraestrutura, além da necessidade do pagamento de um valor fixo mensal. A título de exemplo, toma-se o sistema de monitoramento de Serra Talhada, que funcionou por pouco tempo devido a dificuldades ligadas à compatibilidade de equipamentos, a pagamento de taxa mensal e a dificuldades quanto a sua manutenção.

Embora a redução dos custos e a busca da paridade com a rede sejam fundamentais para a competitividade da geração solar fotovoltaica, há outros obstáculos que precisam ser enfrentados, a exemplo da mão de obra qualificada, além da falta de cultura da maioria dos consumidores em relação ao fornecimento de eletricidade por meio da geração solar fotovoltaica para bombeamento.

A experiência de uso da energia solar para dessalinização, encontrada no estado de Pernambuco, tem certo ineditismo no Brasil, embora o sistema ainda precise de um controle mais fino, pois a menor incidência solar faz reduzir a pressão osmótica nas membranas, o que diminui a qualidade da água pelo aumento da salinidade. Do ponto de vista da gestão, é extremamente dependente do repasse de recursos do governo estadual para a empresa instaladora e operadora, que firmou contrato de manutenção por um período de cinco anos, mas encontra dificuldades de recebimento da verba, tornando o processo vulnerável à falta de O&M.

**Embora a
redução dos
custos e a
busca da
paridade com
a rede sejam
fundamentais
para a
competitividade
da geração solar
fotovoltaica,
há outros
obstáculos que
precisam ser
enfrentados**

Avalia-se, sob a ótica do consumidor e com uma abordagem estritamente financeira, a viabilidade da implantação de dois projetos pilotos

ANÁLISE FINANCEIRA

Nesta seção avalia-se, sob a ótica do consumidor e com uma abordagem estritamente financeira, a viabilidade da implantação de dois projetos pilotos: o primeiro conectado à rede elétrica e o segundo isolado, ambos para atendimento a sistemas de bombeamento em duas comunidades rurais do Ceará. Os sistemas seriam geridos de forma compartilhada entre o Sisar e as associações comunitárias.

A elaboração desta análise atende a um dos resultados decorrentes de uma missão da equipe que elaborou o estudo para o Banco Mundial, ao Ceará, missão esta que empreendeu uma série de entrevistas e pesquisa de campo a alguns sítios de poços implantados ou planejados. O estudo concluiu pela recomendação de implantação de dois pilotos: um em sistema onde já existe suprimento via rede, de forma a funcionar no âmbito da Resolução nº 482/2012, da Aneel, com compensação de energia elétrica, reduzindo o consumo da rede; e outro em área totalmente isolada da rede, com um sistema autônomo.

No primeiro caso foi escolhida a localidade de Vila de Cruz, com consumo mensal de energia elétrica para bombeamento da ordem de 700 kWh/mês. No segundo caso selecionou-se a Vila Braúna Ferrada, localizada no município de Aiuaba, uma das vilas do município que dispunha de proposta de eletrificação via rede, e que correspondia a de orçamento mais elevado. A vila tem 68 famílias e, para ser conectada, exigiria uma linha trifásica com 8.608 m de extensão em média tensão, e mais 602 m em baixa tensão, a um custo orçado pela Coelce de R\$ 91.690,00, o que resultaria num custo da linha trifásica na faixa de R\$ 10 mil/km. Este orçamento mostrou custos significativamente mais baixos do que aqueles encontrados no estado de Pernambuco, quando da execução do P&D da Celpe mencionado no item anterior (CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2014). O objetivo da avaliação financeira neste segundo caso é comparar a alternativa de menor custo entre a instalação de um sistema FV ou a extensão da rede elétrica.

O sistema solar a ser instalado na Vila de Cruz utilizaria energia de fonte solar fotovoltaica, tendo como constituintes principais um sistema de geração com potência instalada de 5,0 kWp, conectado em uma rede elétrica de baixa tensão da concessionária local, com previsão de geração média mensal de 725,0 kWh/mês, gerando até 850,0 kWh/mês nos meses de maior insolação. No custo de investimento – R\$ 53.621,00 – estão incluídos o fornecimento de materiais e equipamentos, a instalação e a montagem do *kit* de geração fotovoltaico conectado à rede elétrica.

A conexão seria realizada de acordo com a Resolução Normativa nº 482/2012, da Aneel, atualizada pela Resolução Normativa nº 657/2015,

(AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012b, 2015) em que toda a energia gerada é consumida pelo consumidor, de modo que, na prática, a economia resultante do investimento com a instalação do sistema FV corresponde ao que ele (consumidor) deixa de pagar na conta de luz menos o custo de disponibilidade do sistema elétrico.

Já na Vila Braúna Ferrada, o sistema de bombeamento solar foi dimensionado para uma vazão de 41 m³/dia, para fornecimento de água a 68 famílias. As características principais do projeto e o custo do investimento inicial (Capital Expenditure – Capex) foram levantados pelo CBEM, ficando em R\$ 58.470,00. Estes custos incluem o investimento inicial para a concepção do projeto, a execução dos serviços de instalação e a montagem de um kit fotovoltaico de bombeamento de 5,5 kWp, com o fornecimento dos materiais e equipamentos.

A análise financeira para o primeiro piloto (instalação de sistema FV conectado) resultou no desenvolvimento de um modelo financeiro que calculou o valor presente (VPL) do fluxo de caixa líquido do projeto. Como acima mencionado, a aplicação desse método corrobora o objetivo desta análise de verificar se a opção de instalar o sistema FV, nos termos e condições estabelecidos na Resolução Normativa nº 482 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012b), é financeiramente atrativa, tendo em vista que a localidade já é atendida pela rede elétrica.

Para calcular o benefício associado ao projeto considerou-se o custo evitado pelo não pagamento da conta mensal de energia elétrica, ao não se utilizar o fornecimento convencional via distribuidora, menos o custo de disponibilidade, valor correspondente ao consumo de 100 kWh (trifásico).

As principais premissas utilizadas para a análise financeira do projeto piloto conectado à rede elétrica, no cenário de base, adotadas pela equipe que elaborou o estudo, foram um custo anual de O&M correspondente a 1,5% do investimento anual; a vida útil do sistema de 25 anos, sendo a do inversor de apenas oito anos; a taxa de desconto de 8% ao ano, e a taxa de depreciação de 0,6% ao ano. Considerou-se ainda, em ambos os casos, que, para a instalação dos sistemas, o consumidor teria acesso a financiamento para a compra dos equipamentos e instalação dos sistemas, nos termos e condições oferecidos pelo Fundo Constitucional do Nordeste (FNE), ou seja: 80% do valor financiado, prazo de oito anos, sem carência, com taxa de juros nominal de 7,5% anual, para uma inflação estimada de 4,5% (BANCO DO NORDESTE DO BRASIL, 2015).

O VPL encontrado foi negativo, indicando que o projeto de instalação do sistema FV *on grid* não é financeiramente atrativo sob a ótica do consumidor, mesmo levando-se em conta as vantagens oferecidas pelo

A análise financeira para o primeiro piloto (instalação de sistema FV conectado) resultou no desenvolvimento de um modelo financeiro que calculou o valor presente (VPL) do fluxo de caixa líquido do projeto

Para o segundo projeto, instalação de sistema FV em localidade isolada (sistema FV *off-grid*), compara-se o custo desta opção com o custo da extensão da rede elétrica da concessionária, também sob a ótica do consumidor

enquadramento no âmbito da Resolução Normativa nº 482 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012b) e assegurando-se o acesso a financiamento barato, mantendo-se inalterada a tarifa praticada ao longo da vida útil do projeto, em termos reais.

Para o desenvolvimento da análise de sensibilidade foram consideradas variações nas duas principais variáveis: o custo do investimento inicial e a tarifa praticada.

Os resultados mostraram que, com uma tarifa próxima daquela praticada para o consumidor comercial – que é a nova classificação que a Coelce está gradativamente adotando para os sistemas de bombeamento rural – e uma redução do valor do investimento inicial (CAPEX) de 15%, a instalação do sistema FV torna-se financeiramente viável sob a ótica do consumidor.

Outras simulações mostraram também que, com a tarifa praticada para a classe rural vigente em Vila de Cruz, somente uma redução significativa de 70% no custo de investimento inicial, algo pouco realista de ocorrer, a instalação do sistema FV se justificaria. Do mesmo modo, com o valor da atual tarifa para a classe rural, de R\$ 0,37/kWh, para que o investimento seja financeiramente atrativo, a tarifa teria que crescer 8,5% anualmente, em termos reais. Como na hipótese anterior, é pouco provável que esse crescimento tarifário possa ocorrer, portanto, o esperado é que a Coelce efetivamente passe a cobrar a tarifa comercial para o fornecimento de energia elétrica destinada ao bombeamento em poços, mesmo quando localizados em áreas rurais.

Para o segundo projeto, instalação de sistema FV em localidade isolada (sistema FV *off-grid*), compara-se o custo desta opção com o custo da extensão da rede elétrica da concessionária, também sob a ótica do consumidor. A análise financeira foi realizada pelo método do custo do ciclo de vida (Life Cycle Cost), para determinar a alternativa de menor custo.

Como, via de regra, o custo de investimento da extensão da rede elétrica é bancado pelo poder público, avalia-se, primeiramente, a opção de os investimentos iniciais tanto da extensão da rede quanto da instalação do sistema FV serem assumidos pelo poder público. Nessas condições, apenas o pagamento da conta da energia elétrica fornecida pela concessionária constitui-se em despesa para o consumidor.

Avalia-se também a hipótese de o custo do investimento inicial da alternativa de instalação do sistema FV *off-grid* ser bancado pelo consumidor, determinando-se, na sequência, a opção de menor custo. Na Tabela 2 encontram-se as premissas adotadas para a determinação da alternativa de menor custo. A Tabela 3 apresenta os *Net Present Value*

(NPV)⁵ dessas opções, com taxa de desconto real de 8%. Os resultados mostraram que a opção de instalação do sistema FV é de menor custo, se o custo do investimento inicial (CAPEX) for também bancado pelo poder público, sendo, nessas condições, a opção mais vantajosa para o consumidor.

Tabela 2

Premissas sistemas FVOFF-GRIDE extensão da rede elétrica

	SFV OFF-GRID 5,5 kWp	SFV OFF-GRID 5,5 kWp	Extensão de rede
CAPEX	R\$ 58.470,00	não há	não há
Produtividade (kWh/kWp)	1740	1740	
R& / kWp	R\$ 11.694,00		
Financiamento	80% CAPEX		
Custo O &M/ano, exeto inversor	2,00%	2,00%	
Taxa de desconto (a.a.)	8,00%	8,00%	8,00%
Cvida Útil (anos)	25	25	50
Tarifa (R\$/kWh)	0,37	37	0,37
Reinvestimento inversor a cada 8 anos	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	
Fator de degradação (a.a.)	0,6%	0,6%	

Fonte: Centro Brasileiro de Energia e Mudanças Climáticas (2016).

Tabela 3

Comparação do custo do ciclo de vida das alternativas em 25 anos

	CAPEX	NPV Financiamento	NPV O&M/ Reposição Inversores	NPV conta energia	Custo total
Extensão de rede	não há	não há	não há	R\$ 37.798,32	R\$ 37.798,32
SISTEMA PV OFF GRID S/CAPEX	não há	não há	R\$ 16.643,88	não há	R\$ 16.643,88
SISTEMA PV OFF GRID C/CAPEX	R\$ 11.694,00	R\$ 37.540,61	R\$ 16.643,88	não há	R\$ 65.878,49

Fonte: Centro Brasileiro de Energia e Mudanças Climáticas (2016).

Na hipótese de adoção de uma tarifa próxima àquela praticada para o consumidor comercial, o NPV do custo da extensão da rede elétrica torna-se superior ao NPV da alternativa de instalação do sistema FV, mesmo que o consumidor banque todo o CAPEX do sistema FV.

Os resultados da análise financeira mostram que, nas condições atuais, a instalação do sistema FV em comunidade já atendida pela rede elétrica da distribuidora (*FV on grid*) não é financeiramente atrativa, mesmo levando-se em conta as vantagens oferecidas pelo seu enquadramento no âmbito da RN nº 482 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012b) e o acesso a financiamento barato, mantendo-se inalterada a tarifa praticada (R\$ 0,37/kWh) em termos reais e o custo de investimento inicial, estimado, no presente estudo, em R\$ 10.724,00/kWp. As análises e resultados da sensibilidade apontam que, para localidades já interligadas, a instalação de sistemas FV apenas se justificaria se a tarifa fosse

Os resultados da análise financeira mostram que, nas condições atuais, a instalação do sistema FV em comunidade já atendida pela rede elétrica da distribuidora (*FV on grid*) não é financeiramente atrativa

5 Valores Presentes Líquidos (VPL).

Sob a ótica do consumidor, a instalação de sistema FV para atendimento ao bombeamento em áreas rurais depende fundamentalmente da tarifa que venha a ser praticada e do custo do investimento inicial

igual à praticada para o consumidor comercial, em torno de R\$ 0,70/kWh, e o custo do investimento inicial fosse, no mínimo, 15% inferior ao custo inicialmente estimado no presente estudo.

É importante destacar, no entanto, que tanto a tarifa quanto o custo do investimento inicial podem ser substancialmente alterados, tendo em vista que a Coelce já está passando a adotar a tarifa comercial para os sistemas de bombeamento rural, e o custo do investimento inicial tende a ser significativamente reduzido com a elevação do volume de compra dos sistemas FV.

Para a instalação dos sistemas FV *off-grid* em comunidade isolada, os resultados da comparação do custo do ciclo de vida das alternativas mostraram que, do ponto de vista do consumidor, a opção de menor custo depende de quem se responsabilizará pelo custo do investimento inicial e da tarifa praticada para atendimento ao bombeamento de poços.

Se o consumidor não bancar o custo do investimento inicial, a instalação do sistema FV será a opção de menor custo em relação à extensão da rede elétrica, mesmo que a tarifa se mantenha inalterada em termos reais, da ordem de R\$ 0,37/kWh. Por sua vez, se o custo do investimento inicial for assumido pelo consumidor, então a alternativa da extensão da rede elétrica será a opção mais barata. Destaque-se que, na hipótese de que a tarifa praticada pela Coelce para sistemas de bombeamento em área rural, de R\$ 0,70/kWh, seja efetivamente adotada em todo o estado, o que provavelmente vai acontecer, então o custo do ciclo de vida do sistema FV será menor em relação ao custo da extensão da rede elétrica, mesmo que o consumidor assumo o custo do investimento inicial.

Em resumo, sob a ótica do consumidor, a instalação de sistema FV para atendimento ao bombeamento em áreas rurais depende fundamentalmente da tarifa que venha a ser praticada e do custo do investimento inicial. Quanto maior a tarifa, mais financeiramente vantajosa se tornará a instalação de sistema FV e vice-versa. Espera-se, ademais, que o custo do investimento inicial seja inferior ao custo utilizado nos cálculos desta análise financeira, considerando-se que a escala do volume de compras de equipamentos e materiais de sistema FV tende a crescer de forma significativa e rápida nos próximos anos.

DESDOBRAMENTOS E PERSPECTIVAS

Uma primeira evidência, inclusive já explicitada na própria Lei 11.445/2007, dita Lei do Saneamento Básico (BRASIL, 2007), é que, em se tratando da melhoria das condições de saneamento, União, estados e municípios possuem competências compartilhadas no setor. Desse

modo, ações e gestão dos serviços devem ser realizadas de forma cooperada entre essas esferas.

Assim, é vital que o Estado, através dos entes federados (União, estados e municípios), assuma o planejamento, coordene a execução e encontre meios para garantir a manutenção do abastecimento de água, em particular na região semiárida, buscando alternativas tecnológicas apropriadas, e não deixando tal encargo somente sob a responsabilidade de instituições da sociedade civil e das famílias em suas comunidades.

Diferentemente da eletrificação rural, que é uma atividade incluída no âmbito da área de concessão da distribuidora e regulada pela Aneel, o saneamento rural é uma responsabilidade municipal. No arranjo da eletrificação rural viabilizado pelo Programa Luz para Todos, as responsabilidades são compartilhadas entre governo federal, enquanto gestor da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) – um fundo cujos recursos são coletados de todos os consumidores –, governo estadual, que faz uma contrapartida aos investimentos do governo federal e, finalmente, a concessionária de distribuição, que é obrigada a investir até o limite da perspectiva de retorno que terá com a obra de eletrificação rural. Este arranjo permitiu que a eletrificação rural tenha se acelerado desde a edição da Lei nº 10.438, particularmente após o lançamento do Programa Luz para Todos.

No estudo desenvolvido conjuntamente entre CBEM e LSF/USP (CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2014), patrocinado pelo P&D da Celpe, foi avaliada a possibilidade de se regulamentar o fornecimento de energia para o bombeamento rural através dos SIGFI. Foi, inclusive, delineada uma proposta de resolução para a Aneel, que teve o objetivo de regulamentar, na prestação de serviço público de energia elétrica, o uso de fontes de energia alternativas de caráter intermitente para acionar sistemas individuais ou coletivos de bombeamento de água, destinados ao atendimento de localidades isoladas ou distantes da rede elétrica.

Uma característica importante do sistema de bombeamento fotovoltaico proposto é a sua independência de um sistema de acumulação de energia elétrica, pois a autonomia, neste caso, é a disponibilidade de água, na forma de armazenamento em caixa d'água, em períodos da falta do recurso solar. Logo, esse sistema deveria ter a capacidade de fornecer o dobro da necessidade diária de água, ou seja, uma autonomia de 48 horas (10 mil litros). Além das informações da necessidade de água, foi admitida uma irradiação média diária de 4,5 kWh/m². Deste modo, foi possível relacionar as características físicas do poço (altura manométrica total e vazão diária) com a potência pico de um arranjo fotovoltaico.

Diferentemente da eletrificação rural, que é uma atividade incluída no âmbito da área de concessão da distribuidora e regulada pela Aneel, o saneamento rural é uma responsabilidade municipal

Por falta de apoio técnico e institucional, a situação das centrais de cooperativas (Central) na Bahia é mais delicada que no Ceará, onde o Sisar conta com o apoio da Cagece, como mencionado acima

Esta proposta buscava encontrar uma forma adicional de alavancar fundos, via CDE, para o investimento em sistemas de energia para o bombeamento de água onde a rede se mostrasse inviável. Uma limitação não contornada pela proposta é o fato de a bomba, que é um ponto frágil na cadeia, não ser um elemento de potencial responsabilidade da concessionária de energia, pois se constitui numa carga elétrica, assim como outros eletrodomésticos.

Outra constatação do estudo é que os manuais de sistemas simplificados de abastecimento de água, a exemplo do disponibilizado pela Codevasf, ou do registro dos sistemas da Cerb, não incluem especificações para os sistemas fotovoltaicos de bombeamento. No caso da Codevasf, um dos padrões inclui um sistema de catavento. A padronização e a inclusão de sistemas fotovoltaicos de bombeamento nestes manuais seria uma possibilidade para sua disseminação.

No que diz respeito à gestão dos sistemas, uma vez instalados, a cooperação técnica às comunidades beneficiadas (e aos municípios) está muito bem contornada no caso do Ceará, através do modelo Sisar, que conta com a assistência técnica prestada pela Cagece, que recebe autorização dos municípios para a gestão dos sistemas rurais de abastecimento de água. Essa delegação, na maioria dos casos ainda informal, é um ponto que carece de resolução, e é comum aos estados da Bahia e do Ceará.

Constatou-se que, por falta de apoio técnico e institucional, a situação das centrais de cooperativas (Central) na Bahia é mais delicada que no Ceará, onde o Sisar conta com o apoio da Cagece, como mencionado acima. Ademais, é notório que a gestão do Sisar é mais empresarial, enquanto a Central é um pouco mais assistencialista em relação às comunidades atendidas. Em Pernambuco, ainda não se tem em vista um arranjo para assegurar a manutenção dos sistemas de abastecimento, além dos arranjos individuais de cada associação comunitária, com resultados mais variados. Uma perspectiva que se delineia no estado é o resultado da consultoria em processo de contratação, através da qual se pretende chegar a alguns arranjos mais localizados.

Em qualquer um dos casos, ainda se faz necessário contornar alguns desafios para prover um arcabouço mais seguro a potenciais gestores dos sistemas de abastecimento. No caso do Sisar, três movimentos importantes estão delineados:

- convênio de cooperação entre o estado do Ceará, a Cagece, a prefeitura municipal, o Sisar e a associação de cada comunidade, visando disciplinar as relações entre estas partes;

- instrumento contratual de delegação dos serviços de abastecimento de água, de forma tal que o município transfira ao Estado, por meio de convênio, através da Cagece, os direitos inerentes à titularidade do poder concedente, delegando-se ao Sisar a responsabilidade pela prestação dos serviços;
- Lei Municipal Delegatória ao Estado e concessiva de isenção de ISS.

De forma similar, a Central vem trabalhando numa minuta de convênio padrão ou termo de cooperação de prestação de serviços de saneamento rural, a ser firmado entre o município e a Central, para a manutenção dos sistemas de saneamento, ou num contrato de autorização (delegação) para a execução de serviços de saneamento básico, a ser firmado entre a prefeitura municipal e a central de associações.

Foi feito contato com a Aneel referente ao pleito do Sisar sobre a criação da classe saneamento rural para fazer frente à tendência de reclassificação do consumo do sistema de abastecimento na classe comercial, em lugar da classe rural. O entendimento preliminar da Aneel é que a concessionária deve classificar o consumidor e, na eventual insatisfação deste, apelar para a agência, mas os consultores entendem que, partindo-se da leitura da Resolução Normativa nº 414/2010 da Aneel, que trata das Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, no seu artigo 5, § 3 e 4, fica claro que a associação deveria ser enquadrada na classe Comercial, Serviços e Outras Atividades.

RESULTADOS E CONCLUSÃO

A premissa deste trabalho, de que o problema dos sistemas solares de bombeamento não é tecnológico, mostrou-se bastante consistente. A viabilidade técnica dos sistemas fotovoltaicos para a geração de energia destinada à alimentação de sistemas de abastecimento de água no meio rural é, portanto, total. As restrições técnicas, a menos que se trate de sistemas de porte muito elevado, com grandes vazões diárias e poços de grande profundidade, estão ligadas a cuidados que devem ser tomados no dimensionamento dos sistemas, na escolha de equipamentos certificados e na otimização da compatibilidade entre inversores e motobombas, sobretudo na parametrização dos inversores, mais detalhada nos seus respectivos manuais.

Conforme o estudo do Ministério das Cidades, *Panorama do Saneamento Básico no Brasil* (REZENDE, 2011), no que diz respeito aos aspectos operacionais, alternativas tecnológicas não são o grande desafio para os programas e projetos de saneamento rural. Até porque os avanços nesta área são significativos e bastante satisfatórios em termos nacio-

A viabilidade técnica dos sistemas fotovoltaicos para a geração de energia destinada à alimentação de sistemas de abastecimento de água no meio rural é, portanto, total

Embora seja importante o uso de tecnologia apropriada, esta é insuficiente para a obtenção de resultados positivos

nais e internacionais. E, dentre as tecnologias modernas para utilização nos sistemas de abastecimento de água, a opção fotovoltaica tem lugar de destaque, embora não seja citada no referido estudo.

Embora seja importante o uso de tecnologia apropriada, esta é insuficiente para a obtenção de resultados positivos. Mais do que a tecnologia, é fundamental a gestão dos sistemas de abastecimento de água no meio rural para determinar a eficácia dos sistemas, o que requer o uso adequado destes pela comunidade e sua organização, que devem saber operar e manter seu funcionamento. A gestão adequada e compartilhada envolve aspectos tarifários, requer mobilização, educação e participação social, para que se crie a sensação de pertencimento por parte dos beneficiários dos projetos.

A experiência do Prodeem, com quase 2.500 sistemas fotovoltaicos de bombeamento instalados, e da Cerb, na Bahia, demonstra que o simples repasse para as prefeituras e comunidades, sem uma gestão adequada, resulta no fracasso da tecnologia. Atualmente, sequer existem registros de informação sobre a situação atual dos sistemas instalados. É importante observar que, apesar da grande experiência em instalação, a Cerb não tem o mandato para operar ou manter os sistemas, uma vez instalados. O sucesso do programa fica, assim, dependente de líderes locais.

Uma solução encontrada pelo setor elétrico para os sistemas isolados da rede foi normatizar o papel das distribuidoras na gestão destes sistemas, responsabilizando-as pela instalação, a operação e a manutenção. Todavia, a bomba constitui-se numa carga e não num equipamento de produção de energia, o que significa ser, após instalação, uma responsabilidade do consumidor e não da concessionária, como no caso das demais cargas domésticas. A responsabilidade da concessionária só vai até o ponto de conexão. Uma diferença, portanto, fundamental entre a gestão dos sistemas individuais ou coletivos de geração de energia elétrica, que passaram a ser responsabilidade das distribuidoras de energia elétrica, e os sistemas de abastecimento de água rural é que estes últimos, por falta de uma regulação específica, uma vez instalados, passam a ser de responsabilidade das comunidades locais/consumidoras, as quais nem sempre têm estrutura organizada para lidar com os problemas de manutenção (capacitação local, fornecedores de equipamentos de reposição e rede de assistência técnica).

Uma solução para este problema seria a proposta de uma regulamentação que determinasse que a bomba deixe de ser “uma carga no sistema” e passe a ser considerada um dos equipamentos que permitem a prestação do serviço de abastecimento de água como um todo. Neste caso, sua manutenção passaria a ser de responsabilidade da concessionária prestadora do serviço.

Buscou-se entender os modelos de gestão potencialmente adotados em cada estado e sua proximidade com uma visão mais empresarial, em que se busca recuperar os custos de O&M, ou com uma visão mais assistencialista, que prevê uma maior participação de subsídios mesmo na fase de O&M.

Em resumo, ficou evidenciado que, além da entidade local, seja ela uma associação, cooperativa ou OPF, faz-se necessário um suporte efetivo estadual ou regional para reduzir custos em função da escala de compras e serviços, manter estoque de reposição e atividades comerciais, oferecer assistência técnica e capacitação. A escala do número de projetos mostrou-se um ponto crucial, assim como a manutenção de uma estrutura de apoio do governo estadual, a exemplo da empresa estadual de água, como entidade recursiva.

O estudo identificou que o modelo mais sustentável é aquele em que a empresa estadual de água faz algum subsídio cruzado para apoiar uma entidade gestora que busque, ao máximo, recuperar os custos operacionais a partir de metas progressivas de desempenho. Um modelo em que os custos operacionais sejam transferidos para o governo em algum momento pode fracassar.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução Normativa nº 657, de 14 de abril de 2015. Altera o Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária - PRORET, que trata da Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 15 abr. 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015657.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução Normativa nº 493, de 5 de junho de 2012. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica - MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente - SIGFI. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 08 jun. 2012a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 19 abr. 2012b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

O estudo identificou que o modelo mais sustentável é aquele em que a empresa estadual de água faz algum subsídio cruzado para apoiar uma entidade gestora

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução Normativa nº 083, 20 de setembro de 2004. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes - SIGFI. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 24 set. 2004. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2004083.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005. p. 29-42. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2016.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. *Programa de Financiamento à Sustentabilidade Ambiental: FNE VERDE*. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/programa-de-financiamento-a-sustentabilidade-ambiental-fne-verde>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

ANHALT, J. Introdução de sistemas de bombas fotovoltaicas: relatório final sobre a realização de um projeto. Fortaleza: GTZ, 1999. BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 22 jun. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm>. Acesso em: 20 jul. 2016.

BRASIL. Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água - "ÁGUA PARA TODOS". *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 27 jul. 2011a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7535.htm>. Acesso em: 20 jul. 2016.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 08 jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 20 jul. 2016.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *Manual para implantação de sistemas simplificados de abastecimento de água*. Brasília: Codevasf, [201-]. Disponível em: <<http://licitacao.codevasf.gov.br/licitacoes/sede-brasilia-df/concorrenca/editais-publicados-em-2014/edital-4-14-apoio-fiscalizacao-ma/anexo-vi-manual-saa.doc>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 13 dez. 2011b. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 20 jul. 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos*: 2014. Brasília: SNSA, 2016. 212 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Plano Nacional de Saneamento Básico*: PLANSAB. Brasília: Ministério das Cidades, 2013.

BRITO, A. U. *Otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de frequência comerciais para acionar bombas centrífugas*. 2006. 84 f. Tese (Doutorado)-Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Sistemas de bombeamento de água com sistemas fotovoltaicos e tecnologia de bombeamento nacional: zona rural de Pernambuco: relatório final*. Salvador: CBEM, 2014. (P&D CELPE 43-1111/2011).

CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Aide-Memoire: missão CBEM a Pernambuco*. Salvador: CBEM, 2015. Circulação restrita.

CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Estudo de viabilidade técnica, institucional e financeira para a identificação de possíveis áreas-piloto para testar a utilização de painéis fotovoltaicos no fornecimento de energia para os sistemas de bombeamento em comunidades rurais do Ceará e de Pernambuco*. Salvador: CBEM, 2016. Relatório Final.

CHANDEL, S. S.; NAIK, M. N.; CHANDEL, R. *Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 49, p. 1084-1099, 2015.

FEDRIZZI, M. C.; SAUER, I. L. Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. *Anais...* Campinas: UNICAMP, 2002. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agrener2002/jdownloads/pdf/0041.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

PEREIRA, O. S. et al. Bombeamento de água com sistemas fotovoltaicos e tecnologia de bombeamento nacional: zona rural de Pernambuco. In: CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 10., 2015, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 2015.

PEREIRA, O. S. et al. A ten-year experience in the use of PV for irrigation, in Brazil. In: EUROPEAN SOLAR ENERGY CONFERENCE, 12., 1994, Amsterdam. *Proceedings...* Amsterdam: Stephens & Associates, 1994.

PERNAMBUCO. *Estudos de modelos de gestão de sistemas rurais de abastecimento de água e esgotamento sanitário em todo o estado de Pernambuco a partir de diagnósticos da situação nos municípios e dos programas e projetos existentes*: termo de referência. Recife: [s.n.], 2014. Circulação restrita.

REZENDE, S. C. (Org.). *Panorama do saneamento básico no Brasil*. Brasília: Ministério das Cidades, 2011. (Cadernos temáticos para o panorama do saneamento básico no Brasil, 7). Disponível em: <http://bibspi.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/271/PANORAMA_vol_7.pdf?sequence=7&isAllowed=y>. Acesso em: 15 nov. 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNICEF. *Progress on sanitation and drinking-water: 2013 update*. Genebra: WHO, 2013. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2013/jmp_report/en/>. Acesso em: 20 jul. 2016.

Resumo

Historicamente, a biomassa já foi a fonte de energia com maior participação na matriz mundial. Nos últimos 40 anos ganhou novo impulso por ser uma opção renovável e contribuir para a redução das emissões de carbono. Neste artigo, inicialmente, caracteriza-se a biomassa enfatizando sua importância e viabilidade na produção de energia elétrica. Em seguida mostram-se as principais tecnologias envolvidas nos processos de geração de energia a partir da biomassa. No item final são destacadas algumas matérias-primas existentes no estado da Bahia: os resíduos agrícolas, o gás oriundo de aterros sanitários, além do capim-elefante, da madeira procedente de reflorestamento e do óleo originário do dendê, concluindo-se que, juntamente com outras fontes renováveis, a biomassa representa oportunidades relevantes na Bahia.

Palavras-chave: Biomassa. Geração de energia elétrica. Resíduos agrícolas. Gás de aterro.

Abstract

Historically, biomass has already been the energy source with the largest share in the world matrix. In the last 40 years it has gained new impetus as a renewable option and contribute to the reduction of carbon emissions. In this article, biomass is initially characterized emphasizing its importance and viability in the production of electric energy. Following are the main technologies involved in the processes of energy generation from biomass. The final item highlights some raw materials in the state of Bahia: agricultural residues, gas from landfills, elephantgrass, reforestation wood and oil from palm oil, and it is concluded that together with other renewable sources, biomass represents relevant opportunities in Bahia.

Keywords: Biomass. Generation of electric energy. Agricultural waste. Landfill gas.

Biomassa: oportunidades de geração de eletricidade no estado da Bahia

EMANUELLA OLIVEIRA DIAS

Mestre em Sistemas de Energia, pela Northeastern University e graduada em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Bolsista do Programa de Cooperação Franco-Brasileira em Treinamento de Engenheiros da EPF Graduate School of Engineering e pesquisadora em Energias Renováveis. ee.eodias@gmail.com

DANILO LAERT LAGO BRITO

Especialista em Gestão de Projetos e Segurança em Tecnologia da Informação, pelo Centro Universitário Estácio da Bahia (Estácio FIB); graduado em Gestão de Redes de Computadores, pela Universidade Salvador (Unifacs) e técnico em Eletrotécnica, pelo Centro Federal de Tecnologia da Bahia. Gerente Operacional da Termoverde Salvador. dbrito@termoverde.com.br

GABRIEL CARVALHO DÜRR

Graduado em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). gabrieldurr@hotmail.com

PAULO ROBERTO FERREIRA DE MOURA BASTOS

Doutor em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); mestre em Engenharia da Energia e especialista em Sistemas de Potência, pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e graduado em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor da UFBA. pmourabastos@yahoo.com.br

ARTHUR DE OLIVEIRA UCHOA

Mestre em Sistemas de Potência, pelo Illinois Institute of Technology e graduado em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). arthur_uchoa@hotmail.com

NO ANO DE 1973, a biomassa representava 44,1% do consumo total na matriz energética brasileira. Esse número expressivo era em função dos produtos da cana, da lenha e do carvão vegetal, que juntos alcançavam 38,3% dessa parcela (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2005). Seguindo uma tendência mundial, a biomassa começou a ser substituída por outras fontes de energia, diminuindo sua participação na matriz nacional. Um exemplo disto foi que, em 1988, mesmo com o já implantado Programa Proálcool de substituição da gasolina, a biomassa respondia por apenas 24,6% do consumo total de energia na matriz do país, sendo 14,3% provenientes dos produtos cana e álcool (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2005).

No entanto, mesmo um percentual em torno de apenas 25% ainda era expressivo, especialmente se comparado a outros países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Com os dados do balanço brasileiro relativos ao ano de 2014 (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2015), verifica-se que a biomassa teve uma participação aproximada de 24,2% na produção energética do país, sendo que a contribuição dos produtos da cana e álcool, juntos, correspondeu a 15,9%.

Quando comparada às fontes eólica e solar, muito utilizadas e incentivadas nos últimos anos, a biomassa tem a vantagem de ser sazonal, mas não intermitente, não necessitando de investimentos em armazenamento de energia

No Brasil, a participação da biomassa para geração de energia elétrica está muito restrita ao bagaço de cana, subproduto da indústria sucroalcooleira, e à cogeração no setor de papel e celulose, com o resíduo licor negro. Entretanto, essa participação poderia ser maior com a inserção dos óleos vegetais, da madeira reflorestada e dos resíduos agrícolas, uma vez que a atual regulamentação do setor elétrico permite a livre iniciativa e a concorrência tanto na geração quanto na comercialização de energia.

Por sua vez, tem sido crescente a preocupação com os problemas ambientais globais, especialmente o efeito estufa e o controle de uma das suas principais causas que é a emissão do gás carbônico (CO₂). Sabe-se que a maior parte das emissões de gases de efeito estufa é oriunda dos setores energético e de transporte, logo o uso da biomassa como fonte de energia poderia ajudar a diminuir o impacto deste quadro, pois se presta bem à utilização em ambos os setores (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008): pode ser tanto queimada nos motores de combustão empregados nos transportes, como também pode produzir eletricidade a partir da combustão direta de derivados como combustíveis líquidos ou gasosos.

Quando comparada às fontes eólica e solar, muito utilizadas e incentivadas nos últimos anos, a biomassa tem a vantagem de ser sazonal, mas não intermitente, não necessitando de investimentos em armazenamento de energia (ALCANTARA; BASTOS, 2017), pois tanto a biomassa quanto o combustível dela oriundo podem ser estocados.

Cabe destacar que o Brasil vive uma enorme crise hídrica que já dura mais de seis anos, e em função disto tem sido cada vez maior a geração de eletricidade usando as termelétricas. Para este tipo de centrais, o custo da energia produzida nas usinas de base é menor quando são usadas as fontes primárias carvão mineral e o gás natural. Como o Brasil não dispõe destes dois combustíveis na quantidade necessária, recorre a importações. Gerar eletricidade com óleo diesel, óleo combustível ou mesmo álcool significa produzi-la a custos muito elevados, sendo viável apenas para produção no horário de ponta, visto que a energia elétrica neste horário é bem mais cara, especialmente para os consumidores industriais e comerciais de médio e grande portes.

Tendo em vista que a geração de energia elétrica a partir da biomassa pode contribuir para a manutenção do homem no campo, a geração de empregos e a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, a biomassa deve ser encarada como solução viável para a diversificação da matriz energética do Brasil, além de contribuir economicamente no aspecto social.

Este artigo apresenta uma breve descrição das tecnologias mais utilizadas para geração de energia utilizando a biomassa

O conceito de biomassa, considerando-se o aspecto energético, é todo recurso renovável cuja origem é matéria orgânica, seja ela animal ou vegetal, que pode ser processado tecnologicamente para produção de energia mecânica, elétrica ou térmica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). O diagrama mostrado no Quadro1 ilustra as fontes de biomassa, inclusive a origem da madeira, dos óleos vegetais e dos resíduos (dos animais, dos vegetais, industriais, florestais e o sólido urbano).

Quadro 1

Fontes da biomassa e alguns dos seus energéticos

Fontes de biomassa		Alguns dos energéticos
Vegetais não lenhosos	Sacarídeos	Etanol
	Celulósicos	
	Amiláceos	
Vegetais lenhosos	Aquáticos	Biogás
	Madeiras	Lenha, carvão
Resíduos orgânicos	Agrícolas	Gás combustível, biogás
	Urbanos	Gás de aterro
	Industriais	Biogás, calor
Biofluidos	Óleos vegetais	Biodiesel

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2008). Elaboração própria. (jul. 2017)

Já a caracterização física da biomassa envolve critérios quanto à forma, tamanho e propriedades físico-químicas. A composição química também é essencial, pois é a partir dela que o poder calorífico é determinado. A análise da composição normalmente se refere à 'base seca', sem umidade, e preferivelmente também sem cinzas, já que estas muito contribui para a redução do poder calorífico. Em geral são citados dois poderes caloríficos, o superior (PCS) e o inferior (PCI), sendo que a distinção entre eles acontece porque, no PCI, já está descontada a energia para evaporar a água presente no combustível, e a água decorrente do processo de oxidação do combustível.

Assim, este artigo apresenta uma breve descrição das tecnologias mais utilizadas para geração de energia utilizando a biomassa. Em seguida são demonstrados os potenciais de geração de eletricidade a partir de dois resíduos razoavelmente disponíveis no estado: o biogás de aterro e os resíduos agrícolas. Finalmente é feito um resumo descritivo da usina Termoverde, que usa o gás de aterro, e são mostradas outras experiências de sucesso, como a geração de eletricidade a partir do capim-elefante na usina de Sykué, localizada no oeste da Bahia, além de outras possibilidades viáveis, quais sejam as minicentrals térmicas que empregam óleos vegetais, a exemplo do óleo de dendê, ou as usinas de maior porte que utilizam madeira reflorestada.

Atualmente, as principais rotas de aproveitamento energético da biomassa podem ser classificadas em processos termoquímicos, bioquímicos e físico-químicos, a depender da natureza dos tratamentos de conversão

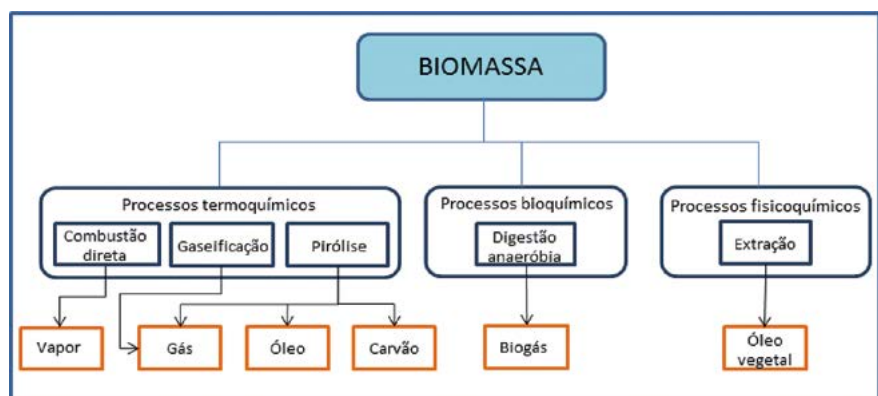
Outras alternativas bastante difundidas no país são as que envolvem a produção de eletricidade usando o bagaço da cana, muito disseminada em centrais nos estados de São Paulo e Alagoas, e as que empregam o licor negro oriundo dos processos associados à indústria de papel e celulose, inclusive com usinas de porte na Bahia, como a Veracel e a Bahia Sul, no sul do estado (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). O uso do bagaço já não traria grande potencial, visto que a produção da cana-de-açúcar atualmente não é tão grande no estado, embora seja viável em municípios como Santo Amaro, Amélia Rodrigues e Teodoro Sampaio.

TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE COM USO DE BIOMASSA

Os diferentes tipos de biomassa devem passar por algum tratamento de conversão para que seu potencial energético seja utilizado na geração de energia elétrica. Os processos de conversão transformam a biomassa em um produto intermediário, que será o combustível utilizado em máquinas motrizes para a produção de energia elétrica. Tais processos são necessários, pois, invariavelmente, a biomassa em sua forma bruta não apresenta condições favoráveis ao transporte, à manipulação ou mesmo a uma granulometria adequada para a obtenção de uma boa eficiência tecnológica (TOLMASQUIM, 2003).

Atualmente, as principais rotas de aproveitamento energético da biomassa podem ser classificadas em processos termoquímicos, bioquímicos e físico-químicos, a depender da natureza dos tratamentos de conversão. O principal critério para escolha da melhor tecnologia para conversão da biomassa é o tipo de resíduo orgânico a ser utilizado como fonte energética. A Figura 3 mostra esses processos utilizados para a obtenção do combustível que depois será utilizado na geração de energia elétrica.

Figura 1
Rotas tecnológicas de conversão energética da biomassa



Fonte: Plano Nacional de Energia, 2030 - MME. (Adaptado). Elaboração própria (jul.2017)

Processos termoquímicos

Os tratamentos termoquímicos utilizam a alta temperatura aplicada aos resíduos com o objetivo de reduzir a massa e o volume, diminuir os riscos químicos e biológicos e os impactos ambientais decorrentes da disposição do resíduo, além de produzir um subproduto útil para a geração de energia (PAGLIUSO, 2009). As rotas tecnológicas de tratamento térmico mais comum são a combustão direta, a gaseificação e a pirólise.

Combustão direta

A combustão direta consiste na decomposição térmica, via oxidação da biomassa a alta temperatura, transformando-a em uma fase gasosa e outra sólida, reduzindo o volume, o peso e as características de periculosidade do resíduo orgânico utilizado. O processo térmico acontece em incineradores, onde as condições da queima do resíduo são totalmente controladas; tal controle é de suma importância para que se evite a volatilização de alguns metais e que seja minimizada a formação de óxidos nitrosos, a depender do resíduo.

Sendo a combustão um processo exotérmico, a maioria da energia gerada na queima é transferida aos gases de combustão. É o processo de resfriamento destes gases que possibilita a recuperação de energia através de trocadores de calor e em turbinas a vapor, permitindo a geração de eletricidade. A combustão direta é uma tecnologia consagrada, e a indústria brasileira tem condições de fabricar os equipamentos utilizados, possibilitando a redução do custo inicial dos empreendimentos e a proliferação de usinas que se utilizam desse processo de conversão.

Para a geração de eletricidade, os resíduos orgânicos adequados para incineração são aqueles que possuem elevado poder calorífico inferior (PCI). Em geral, embora a classificação segundo o PCI não deva ser considerada definitiva para destinação do resíduo, considera-se que:

- Para $PCI < 1.675$ kcal/kg, a incineração não é tecnicamente viável (além de dificuldades técnicas, exige ainda a adição de combustível auxiliar);
- Para 1.675 kcal/kg $< PCI < 2.000$ kcal/kg, a viabilidade técnica da incineração necessita algum pré-tratamento que eleve o poder calorífico;
- Para $PCI > 2.000$ kcal/kg, a combustão direta é tecnicamente viável.

A combustão
direta é uma
tecnologia
consagrada,
e a indústria
brasileira tem
condições de
fabricar os
equipamentos
utilizados

A técnica de gaseificação é, em princípio, extremamente versátil, mas existem muitos problemas em transformar o seu potencial teórico em uma tecnologia viável e prática

No Brasil, pode-se destacar a utilização de bagaço de cana, eucalipto, cascas de arroz e madeira no processo de queima direta. Em outras partes do mundo, há também a utilização de bambu, soja, milho, trigo e outros cultivos.

Gaseificação

Segundo Cortez, Lora e Gómez (2008), a gaseificação é um processo termoquímico que converte qualquer insumo líquido ou sólido, como a biomassa, num gás com características combustíveis, chamado gás de síntese (*syngas*), através de sua oxidação parcial a temperaturas desde intermediárias a elevadas. Além da formação de gás combustível, o processo de gaseificação gera calor e CO₂. O gás de síntese pode ser utilizado para geração de eletricidade tanto em motores de combustão interna quanto em plantas térmicas a vapor, com o gás sendo queimado em uma caldeira, e ainda em câmaras de combustão, onde o gás é queimado para alimentar uma turbina a gás específica para trabalhar com gases de baixo poder calorífico.

A técnica de gaseificação é, em princípio, extremamente versátil, mas existem muitos problemas em transformar o seu potencial teórico em uma tecnologia viável e prática. Na maior parte dos casos, as dificuldades residem não no processo básico de gaseificação, mas sim no projeto de um equipamento que deve produzir um gás de qualidade, com confiabilidade e segurança, adaptado às condições particulares do combustível e da operação (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2012).

A maioria dos gaseificadores que se tornaram totalmente operacionais e comerciais foi projetada para fins de geração de calor. Dentre os equipamentos utilizados para geração de energia elétrica, poucos conseguiram atingir condição de operação em escala comercial, devido a problemas técnicos relacionados com a qualidade do gás produzido. O “Plano Nacional de Energia 2030” (BRASIL, 2007) reconhece, porém, a adequação da utilização da gaseificação em locais onde o preço da biomassa é significativamente baixo e a produção de energia em pequena escala é suficiente, como na área rural. As biomassas utilizadas na gaseificação são bagaço de cana, resíduos agrícolas, eucalipto, aparas e cascas de madeira ou pinho.

Pirólise

A pirólise consiste na degradação térmica de materiais orgânicos em ausência total ou quase total de um agente de oxidação como o oxigênio do ar. Estritamente falando, a pirólise é um processo de termo conversão de biomassa que antecede a gaseificação.

O uso mais
comum do
biogás é como
combustível
para a geração
de energia
elétrica,
através da
conversão em
motores de
combustão
interna

Ao contrário da incineração, os processos pirolíticos são endotérmicos, sendo assim necessário fornecer calor ao sistema. O fracionamento das substâncias orgânicas ocorre gradualmente à medida que estas passam por diversas zonas de calor de um reator. Em altas temperaturas, os compostos orgânicos volatilizam e as ligações são rompidas, formando gases, líquidos, óleos e carbono (char). Os produtos da pirólise são semelhantes aos produtos da gaseificação. O produto desejado é o syngas, podendo ter as mesmas aplicações discutidas na gaseificação.

No Brasil, a pirólise basicamente se aplica a geração de carvão vegetal a partir de madeira, sendo o país o maior produtor de carvão vegetal do mundo. Ultimamente, parte do líquido gerado no processo tem sido transformada em biodiesel. A pirólise também tem sido largamente aplicada à destinação final de pneus (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2012).

Processos bioquímicos

O tratamento bioquímico visa à estabilização e à oxidação da matéria orgânica biodegradável através de um ambiente artificial que intensifica a ação de micro-organismos. A principal rota de conversão da biomassa para produção de eletricidade é a digestão anaeróbia.

Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia, também conhecida como biometanização, ocorre na ausência de ar e consiste na decomposição da matéria orgânica pela ação de bactérias. Esse tratamento pode ocorrer artificialmente nos biodigestores, onde o processo é favorecido pela umidade e aquecimento, ou naturalmente em aterros sanitários. A digestão nos biodigestores é similar à decomposição que ocorre em aterros sanitários, em um período de tempo menor e em um ambiente de processo controlado, o reator.

Em termos energéticos, o produto final da digestão anaeróbia é o biogás, composto essencialmente por metano e dióxido de carbono. O uso mais comum do biogás é como combustível para a geração de energia elétrica, através da conversão em motores de combustão interna. Basicamente, a biomassa usada vem de resíduos sólidos.

Processos físico-químicos

O tratamento físico-químico é utilizado especialmente com vegetais oleaginosos e consiste no processo de prensagem ou compressão dessa biomassa com finalidade de extração do seu óleo vegetal. Seguido ao processo de extração, os óleos vegetais podem ser utilizados diretamente ou misturados ao diesel em motores ciclo diesel ou em

A Bahia possui um ambiente favorável para a geração de energia elétrica com a utilização de diferentes tipos de biomassa

turbinas a vapor para geração de energia elétrica, ou ainda passar por tratamento químico de esterificação ou transesterificação, para geração de biodiesel.

A mistura dos óleos vegetais com o diesel é uma solução tecnologicamente viável tanto para a redução do consumo do diesel em localidades atualmente supridas por térmicas que usam este combustível, como diretamente no setor de transportes. Há uma pequena perda no rendimento do motor, quando se utiliza a mistura de óleos vegetais com o diesel, o que resulta um aumento do consumo de combustível e eleva o preço da energia produzida, isto é, do kWh gerado por essa tecnologia.

A utilização de óleos vegetais poderia ser uma alternativa energética para minicentrals termelétricas desde que houvesse algum incentivo regulatório nas tarifas ou fossem valorados economicamente outros benefícios, como a geração de empregos, o impacto ambiental (visto ser uma solução que não contribui para o aumento das emissões de CO₂) e a redução do custo dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Caso haja subsídios para um programa de óleo vegetal, a exemplo do que acontece com o álcool, ou sejam praticados valores realmente atrativos para o kWh gerado a partir da biomassa, as opções com óleo vegetal in natura certamente serão viáveis – a exemplo da viabilidade da mistura com o diesel – na eletrificação de localidades isoladas, propriedades rurais ou agroindústrias (BASTOS, 2005).

Segundo Coelho, Paletta e Freitas (2000), para eletrificação de localidades isoladas, houve um projeto demonstrativo, dentro do Programa do Trópico Úmido financiado pelo (CNPq), no qual foi suprida a localidade de Vila Boa Esperança, município de Mojú (PA), totalizando 200 casas e uma escola, sendo instalados 106 kW a partir de um motor-gerador modelo MF-4RTA-GS da AMS, estruturado para funcionar com óleo de dendê, cuja plantação era de 15 hectares (inicialmente funcionou com óleo de palma e operou com dendê sem problemas, requerendo cuidados na partida e no desligamento).

PRINCIPAIS FONTES VIÁVEIS NO ESTADO DA BAHIA

A Bahia possui um ambiente favorável para a geração de energia elétrica com a utilização de diferentes tipos de biomassa. Essa facilidade advém do fato de que o estado possui ampla extensão territorial, com vasta área dedicada a cultivos agrícolas, importante fonte de resíduos, bem como a quarta maior população do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015), o que proporciona um montante significativo de resíduos sólidos urbanos.

Nas próximas subseções serão apresentadas metodologias para o levantamento do potencial de geração de energia elétrica a partir de diferentes tipos de biomassa, explorando, sobretudo, resíduos agrícolas e resíduos sólidos urbanos.

Potencial de geração no estado da Bahia com uso de resíduos agrícolas

O variado perfil agrícola do estado confere diversas oportunidades para o aproveitamento energético dos resíduos gerados. Ressaltam-se ainda os crescentes investimentos feitos na área e o aumento da demanda por cultivos, o que resulta em maior quantidade de resíduos agrícolas, mesmo com técnicas mais eficientes. Entretanto, para o aproveitamento energético, devem ser considerados aspectos como o Poder Calorífico Inferior (PCI), o percentual de resíduos que é produzido a partir de cada quilograma cultivado e o custo de oportunidade, visto que outros fins lucrativos podem ser mais atrativos do que a geração de eletricidade.

Um aspecto que merece atenção especial é a variação da produção, seja por questões econômicas ou por fatores ligados a questões climáticas, como secas prolongadas. Esses fatores têm uma imprevisibilidade que afetaria a produção de energia. Dessa forma, uma alternativa seria garantir uma produção mínima, baseada em dados históricos, que não compromettesse a geração de energia ou, ainda, a possibilidade de usinas que trabalhassem com mais de um tipo de resíduo, possibilitando a complementaridade através de diferentes cultivos.

Os seguintes cultivos foram escolhidos para compor o levantamento do potencial de geração a partir de resíduos agrícolas: algodão, arroz, cacau, coco-da-baía e milho. Algodão, cacau e coco-da-baía têm produção destacada na Bahia, enquanto que a casca do arroz tem tecnologia consolidada para a geração de eletricidade com usinas operando no Rio Grande do Sul (São Borja - 12,5 MW, Itaqui - 4,2 MW e Alegrete - 5,0 MW), e, por fim, o milho apresenta uma safra elevada (o Brasil é o terceiro maior produtor do mundo), além de quantidade significativa de resíduos, conferindo um potencial elevado para a geração de eletricidade.

A soja, embora seja o principal grão produzido na Bahia, apresenta apenas 1% de resíduo e, por se tratar de um produto com multifuncionalidades, tem um alto custo de oportunidade, o que dificulta o uso para geração de energia, daí não ser aqui considerada. Uchoa e Bastos (2012a) consideraram a soja e o café, contudo não fizeram a estimativa para o cultivo do cacau.

Um aspecto que merece atenção especial é a variação da produção, seja por questões econômicas ou por fatores ligados a questões climáticas, como secas prolongadas

A metodologia utilizada para calcular o potencial é baseada no Panorama do Potencial de Biomassa do Brasil, um estudo realizado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (2002)

Dados da Secretaria de Agricultura do Estado da Bahia (BAHIA, 2015) revelam a safra produzida nos anos de 2013 e 2014, mostrados na Tabela 1. A variação de um ano para o outro, contudo, não pode ser tomada como regra, pois, como já citado, fatores imprevisíveis e difíceis de controlar interferem na produção. Mesmo assim, é um indicativo da safra e será utilizada na metodologia para estimar o potencial do estado.

A metodologia utilizada para calcular o potencial é baseada no Panorama do Potencial de Biomassa do Brasil, um estudo realizado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (2002). Dentre os aspectos levados em consideração, ressalta-se que o tipo de biomassa utilizada, bem como a tecnologia empregada, é fator que afeta significativamente o resultado final.

Tabela 1
Safra - Bahia - 2013/2014

Cultivo	2013 (ton)	2014 (ton)	Média (ton)
Algodão	924.981	1.215.797	1.070.389
Arroz	16.027	10.207	13.117
Cacau	262.849	280.923	271.886
Coco da Baía	1.989.971	1.851.293	1.920.632
Milho	2.115.479	3.182.575	2.649.027

Fonte: Bahia (2015).

Com relação aos tipos de cultivos estudados deve-se conhecer o percentual de resíduo gerado e o PCI; a Tabela 2, mostra tais valores.

Tabela 2
Quantidade de resíduos e Poder Calorífico Inferior (PCI) dos cultivos

Cultivo	Quantidade de resíduo (%)	PCI (Kcal/Kg)
Algodão	18	3.000
Arroz	30	3.384
Cacau	38	3.900
Coco da Baía	60	4.556
Milho	100	3.742

Fonte: Cortez, Lora e Gómez (2008).

Deve-se atentar que os valores do PCI apresentados são típicos, encontrados na literatura, e podem apresentar divergências quanto àqueles reais das amostras locais. Estes dados podem, então, ser utilizados nas equações utilizadas pela metodologia, sendo que EG é a energia produzida em MWh/ano:

$$EG = \frac{(Safra * QuantResíduos * PCI * \eta)}{860} \tag{1}$$

O fator de
utilização é
um parâmetro
que relaciona
a potência
média gerada
e a potência
instalada

Onde:

Safra é a média da safra anual do cultivo, em kg, ver Tabela 1;

QuantResíduos é o percentual de resíduos gerados, disponível na Tabela 2;

PCI é o poder calorífico inferior em kcal/kg;

η significa o rendimento do ciclo.

Chega-se à potência instalada, PI, em MegaWatt, utilizando:

$$PI = \frac{EG}{(8760 * FU)} \quad (2)$$

Onde:

FU é o fator de utilização, e 8760 é o número médio de horas do ano.

O fator de utilização é um parâmetro que relaciona a potência média gerada e a potência instalada, portanto depende do tempo de funcionamento da usina geradora de eletricidade, variando significativamente com o tipo de cultivo devido: às sazonalidades do período de plantio e colheita; às questões operacionais próprias de cada combustível; a algum fator externo que possa impactar na geração dos resíduos utilizados. Assim, optou-se por adotar como valor médio FU=0,6, sendo esta uma referência mais conservadora do que aquela adotada no estudo do Centro Nacional de Referência em Biomassa (2002).

As variações de rendimento do ciclo ocorrem pelas diferentes alternativas tecnológicas existentes. Aqui foram consideradas as duas situações:

- Situação 1 - Ciclo de turbinas de condensação e extração com rendimento médio de 25%.
- Situação 2 - Emprego de técnica BIG/GT (BiogassIntegratedGasifier/Gas Turbine) com rendimento de 35%.

A escolha desses rendimentos se justifica porque estes representam valores médios encontrados na literatura e na indústria, mas, a depender da potência instalada e de tecnologias mais modernas, porém mais caras, podem abranger níveis acima destes aqui apresentados. A aplicação da metodologia adotada considerando os dados coletados resulta nas estimativas mostradas na Tabela 3.

A geração de energia elétrica, usando os resíduos agrícolas na Bahia, configura-se como alternativa mais limpa do que as unidades com combustível fóssil

Tabela 3

Resultados finais da estimativa do potencial - Bahia - 2017

Cultivo	Energia gerada (MWh/ano)		Potência (MW)	
	Situação 1	Situação 2	Situação 1	Situação 2
Algodão	168.026	235.237	32,0	44,8
Arroz	3.871	5.419	0,7	1,0
Cacau	117.132	163.985	22,3	31,2
Coco da Baía	1.526.232	2.136.725	290,4	406,5
Milho	2.881.587	4.034.222	548,2	767,5
TOTAL	4.696.849	6.575.588	893,6	1.251,1

Fonte: Elaboração própria (jul.2017).

Esta análise revela resultados animadores, com uma capacidade instalada variando entre 894 MW e 1.251 MW, que seria adicionada ao sistema elétrico, contribuindo no fornecimento de eletricidade para diversas cidades, num esquema de geração distribuída, ou cogeração, caso algum dos respectivos processos também necessite de calor, por exemplo. Destacam-se os cultivos do coco da baía, com 32% da capacidade instalada, predominante na região do litoral norte do estado, em cidades como Acajutiba, Conde e Esplanada, e o milho, com o maior potencial de geração de energia (61%), com concentração no oeste baiano, sobretudo nas emergentes cidades de Barreiras, São Desidério e Luís Eduardo Magalhães.

A título de comparação, utilizando-se a Situação 2, com tecnologia de gaseificação e maior rendimento, a capacidade instalada corresponderia a 17,8% dos 7.006 MW de potência instalada na Bahia em 2013, dado do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 - ano base 2013 (MME, 2014). Com relação à energia gerada, essa opção corresponderia a 28,2% dos 23.322 GWh consumidos na Bahia em 2013 (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014).

Dessa maneira, a geração de energia elétrica, usando os resíduos agrícolas na Bahia, configura-se como alternativa mais limpa do que as unidades com combustível fóssil, apresentando como vantagens a geração de emprego local e o aumento da confiabilidade do sistema elétrico, o que representaria, portanto, uma oportunidade de desenvolvimento para a indústria nacional e o incremento econômico do estado.

Geração de eletricidade na Bahia com uso de gás de aterro

Em 2010, a geração de energia elétrica a partir da utilização de biogás recuperado em aterros sanitários ganhou grande incentivo com a promulgação da lei que instituiu a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos (PNRSU). Tal Política determina que todo resíduo sólido urbano (RSU) tenha disposição final ambientalmente adequada em aterros sanitários, implicando o fechamento de lixões, e reconhece a

importância do aproveitamento energético de resíduos, prevendo várias medidas indutoras a esse tipo de aproveitamento (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2012), dentre elas:

- incentivos fiscais, financeiros e creditícios;
- cessão de terrenos públicos;
- subvenções econômicas;
- apoio à elaboração de projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo ou quaisquer outros mecanismos decorrentes da Convenção Quadro de Mudança do Clima das Nações Unidas.

No Brasil, as normas de regulamentação de aterros atualmente vigentes exigem, por motivos de segurança, a colocação de sistema de drenagem de gases em todas as camadas de lixo aterrado. Neste contexto, grande parte de um empreendimento de recuperação e conversão de biogás em eletricidade já é obrigatória por lei, podendo ser considerado como investimento inicial apenas a parte associada à planta de conversão do biogás em energia elétrica. Somado ao fato de que o custo do combustível, o biogás, não está necessariamente associado ao custo de operação do projeto, essa rota tecnológica torna-se bastante atrativa em relação às outras. Logo, a incorporação de projetos de geração de eletricidade através do biogás aos planos de gestão de resíduo sólido municipal poderia significar uma fonte extra de receita para municípios.

Potencial de geração de eletricidade com uso de gás de aterro na Bahia

Existem diversas metodologias que fazem estimativas teóricas da produção de gás metano proveniente da decomposição do RSU. Esses métodos variam em suas considerações, complexidade e na quantidade de dados de que necessitam.

O órgão estadunidense responsável por questões relacionadas ao meio ambiente - US Environmental Protection Agency (EPA) - possui uma das metodologias de inventário de emissões mais difundidas da literatura. Essa metodologia inclui o levantamento de emissões advindas da decomposição de RSU, e se utiliza de dados censitários, de saneamento e de um fator que expressa o potencial de geração de metano pelo lixo para estimar o volume de metano produzido (ORLIC; KERR, 1996).

No Brasil, as normas de regulamentação de aterros atualmente vigentes exigem, por motivos de segurança, a colocação de sistema de drenagem de gases em todas as camadas de lixo aterrado

Os cenários prospectivos do potencial de geração de energia elétrica, utilizando metano e biogás na Bahia, baseiam-se em dados do resíduo tratado no Aterro Metropolitano Centro (AMC), localizado em Salvador, Bahia

$$Q_{(CH_4)} = Pop \cdot TX_{RSU} \cdot RSU_i \cdot C \cdot F \quad (3)$$

Onde:

Q_{CH_4} é a vazão de metano gerado (m^3 /ano);

Pop representa a população, número de habitantes atendidos pelo aterro;
 TX_{RSU} : taxa de geração de resíduos sólidos por habitante por ano (kg RSU /habitantes.ano);

RSU_i é a fração de resíduos sólidos coletados depositada nos aterros (%);
 C significa o volume de biogás gerado por quilo de RSU (m^3 biogás/kg RSU);

F corresponde à fração de metano no biogás (%).

O mesmo metano capturado e convertido em eletricidade pode ser utilizado como base para cálculos de crédito de carbono. Sabendo-se que o potencial de aquecimento global do metano é 25 vezes o do gás carbônico, a EPA utiliza um fator para conversão de volume de emissões de metano em toneladas equivalente de gás carbônico de 0,017 (17 milésimos).

Os cenários prospectivos do potencial de geração de energia elétrica, utilizando metano e biogás na Bahia, baseiam-se em dados do resíduo tratado no Aterro Metropolitano Centro (AMC), localizado em Salvador, Bahia, e em dados sobre coleta e destinação do RSU no estado (ABRELPE, 2014). O volume de biogás gerado, por tonelada de resíduo aterrado, é de 180 m^3 biogás/t RSU , com 40% de concentração de metano (Projeto VEGA, 2003 (apud LA ROVERE; COSTA; DUBEUX, 2005).

O perfil gravimétrico do resíduo aterrado no AMC é dominado por matéria orgânica (Tabela 4). Sendo Salvador o município mais desenvolvido da Bahia, espera-se que a composição do RSU gerado no restante do estado contenha maior percentual de matéria orgânica, favorecendo a produção de biogás, porque existe uma relação inversa entre o índice de desenvolvimento e a quantidade de matéria orgânica presente no RSU. Para determinar o potencial de eletricidade considerou-se que todo o estado possui o mesmo perfil gravimétrico do AMC, o que é uma hipótese conservadora.

Tabela 4

Composição gravimétrica do Aterro Municipal – Salvador (BA) – 2016

Resíduos	Participação (%)
Madeira	6,26
Pedra/Cerâmica	11,25
Têxtil	3,48
Borracha	0,57
Plástico	19,45
Vidro	4,62
Metal	3,06
Papel/papelão	18,48
Fração pastosa*	32,79

Fonte: Empresa Battre (2016). Elaboração própria (jul. 2017).

*Fração pastosa é composta basicamente de matéria orgânica.

Dois cenários foram considerados na análise do potencial de geração de eletricidade no estado. O Cenário 1 foi construído com base no atual total de *RSU* destinado aos aterros sanitários da Bahia, 3.693 t/dia. No Cenário 2, tomado como caso ideal, considerou-se todo o resíduo coletado sendo destinado aos aterros, 11.950 t/dia.

A potência elétrica útil disponível para geração no aterro (P), em kW, é:

$$P = Q_{CH_4} = PCI_{CH_4} \cdot \eta \cdot 0,0012 \cdot \beta \quad (4)$$

Onde:

PCI_{CH_4} é o poder calorífico inferior do metano gerado (8.500 kcal/m³);

η é a eficiência do motor;

β é a eficiência do sistema de captação do biogás;

0,0012 é o fator de conversão de kcal/h para kW.

Para a conversão energética do biogás, os motores de combustão interna possuem maior eficiência que turbinas a gás, além de serem mais baratos. Neste contexto, os motores ciclo Otto são amplamente utilizados em diversos países, com um rendimento típico de 28% (CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA, 2008). A eficiência típica do sistema de recuperação do biogás no aterro é 75%, valor recomendado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, e o fator de capacidade considerado é 85%, característico em termelétricas com disponibilidade diária de combustível, como o lixo. O potencial de geração de eletricidade e créditos de carbono advindos da recuperação do biogás de aterro é apresentado na Tabela 5.

Para a
conversão
energética
do biogás, os
motores de
combustão
interna
possuem maior
eficiência que
turbinas a gás,
além de serem
mais baratos

O custo de geração de energia elétrica a partir do biogás é muito afetado pela taxa de juros associada ao custo do capital necessário para o financiamento do projeto

Tabela 5

Potencial de geração de eletricidade e créditos de carbono a partir do biogás - Bahia - 2017

	Quantidade de resíduo (t/dia)	Vazão de Biogás (m ³ /ano)	Vazão de metano (m ³ /ano)	Potência útil (MW)	Energia disponível (GWh/ano)	Créditos de carbono (teq CO ² /ano)
Cenário 1	3.690	242.630.100	97.52.040	23,7	176,7	1.643.030
Cenário 2	11.950	785.115.000	314.046.000	76,8	571,8	5.316.601

Fonte: elaboração própria. (jul. 2017)

Tais resultados mostram que a Bahia poderia gerar, atualmente, 176 GWh/ano de eletricidade (Cenário 1), suficiente para fornecer energia limpa a 180 mil famílias de baixa renda, com consumo de até 80kWh/mês. Dessa capacidade, 84% já estão instalados na termelétrica localizada no AMC, localizado em Salvador, usina cujas características são apresentadas no item seguinte.

Caso todo o potencial do RSU coletado fosse explorado (Cenário 2), poderiam ser disponibilizados 77 MW ao estado, um acréscimo aproximado de 4% na atual capacidade termoelétrica instalada na Bahia (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2015).

Além do potencial energético, a comercialização dos créditos de carbono aumentaria a receita anual aproximada de US\$ 12 milhões e US\$ 39 milhões nos Cenários 1 e 2, respectivamente, com a cotação de um certificado de crédito de carbono (REC) a US\$ 7,5 (valor estimado de modo conservador).

O custo de geração de energia elétrica a partir do biogás é muito afetado pela taxa de juros associada ao custo do capital necessário para o financiamento do projeto. A grande particularidade desse tipo de geração é o custo zero do combustível, pois normalmente o biogás é coletado e queimado nos aterros sanitários apenas por questões de segurança, subaproveitando seu potencial energético. Assim, o custo do MWh gerado é o custo do capital inicial somado ao custo de operação e manutenção. O custo de manutenção e operação é muito menor que o custo do capital inicial, o que torna esse tipo de investimento bastante sensível à situação econômica do país.

Considerando-se a atual conjuntura econômica do país, a PNRS desempenha um importante papel na disseminação da rota tecnológica do biogás de aterro, ao prever a criação de incentivos fiscais, o que poderia reduzir a dependência dessa tecnologia a esses fatores econômicos, viabilizando projetos que, além de gerar energia limpa, evitariam a contaminação dos solos e a liberação de gases efeito estufa (GEE), melhorando a vida da população nos arredores dos aterros, com geração de empregos e desenvolvimento para o país. Diante dessa atratividade, aliada à difusão da tecnologia e à superação de impasses entre gestores

públicos e empresários, espera-se que tais benefícios e práticas possam, em breve, estar generalizados pelo Brasil.

Aspectos da geração de eletricidade com uso de gás de aterro: o caso Termoverde Salvador S.A.

O primeiro passo para a geração de energia elétrica através do biogás de aterro ocorre na correta disposição e armazenamento do lixo no aterro. É necessário que haja uma malha eficiente de captação do gás, que faça esse processo da forma mais segura possível, sem contaminação do biogás por chorume e/ou condensados. No AMC são utilizados drenos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), com rendimentos melhores que os drenos de manilha de concreto utilizados em alguns aterros. Além disso, se faz necessária a correta selagem das células de lixo do aterro, evitando entrada de oxigênio na malha. Esse gás é prejudicial tanto para o processo anaeróbico de produção do biogás, quanto para os grupos moto geradores (GMG) da usina. Para garantir a pressão negativa no talude, a Battre, empresa responsável pelo AMC, emprega dois sopradores que garantem uma vazão de 10 mil Nm³/h de biogás. Neste aterro metropolitano são recolhidas cerca de três mil toneladas de RSU diariamente.

Após a captação do biogás, se faz a filtragem, através de demisters, que retiram particulados presentes, e o resfriamento para remover condensados. É utilizado um circuito de água gelada para o resfriamento em dois trocadores de calor, retirando cerca de 600 l/h de condensado do gás. Na Termoverde Salvador são utilizados dois *chillers*, um elétrico e um de adsorção, operando no regime de cogeração, onde são utilizados os gases de escape do motor para aquecer um circuito de água, através de caldeiras de recuperação, que irá participar do processo de adsorção. Deste modo, o *chiller* permite uma economia de 80% no consumo elétrico, em relação ao *chiller* convencional.

Assim, o gás que chega para a Termoverde, com 80% de umidade e na pressão de 10 mbar, é entregue aos motogeradores a 40% de umidade, pressurizado a 150 mbar. Usam-se 19 grupos motogeradores na conversão do biogás em energia elétrica, compostos de motores GE Jenbacher Tipo 3, de 1059 kW de potência, e alternadores de 480 V. Os GMG operam em ciclo Otto, com carga típica de 95%, consumindo 277,2 Nm³/MW de biogás. Cada GMG possui um painel que faz todo o acompanhamento dos parâmetros do motor e da proteção. Há ainda o painel de sincronismo com a rede, por se tratarem de motores síncronos que rodam a 1800 rpm, conectados à rede de 60 Hz.

Para entregar a energia gerada para a concessionária local, primeiramente eleva-se a tensão para 13,8 kV em transformadores ligados a

O primeiro
passo para
a geração
de energia
elétrica através
do biogás de
aterro ocorre
na correta
disposição e
armazenamento
do lixo no
aterro

Localizada no oeste baiano, na cidade de São Desidério, a Usina Termelétrica de Sykué, com capacidade instalada de 30 MW, utiliza majoritariamente capim-elefante como combustível para a geração de eletricidade

cada GMG e depois para 69 kV na subestação usando dois transformadores de 15 MVA, que operam em paralelo. Por fim, há a conexão com a subestação CIA III da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), através de uma linha de transmissão de 7,2 km de extensão. São produzidos cerca de 14 MW médios por ano, e esta energia é comercializada através do mercado livre.

O Grupo Solví, mantenedor da Termoverde Salvador S.A., possui as maiores usinas termelétricas a biogás em operação do país. Em 2016 começou a operar a Termoverde Caieiras, localizada no estado de São Paulo, planta muito semelhante à de Salvador, porém com potência instalada de 29 MW, também usando o gás de aterro.

Outros exemplos viáveis para o estado da Bahia

Além dos resíduos já avaliados, há outros tipos de biomassa com potencial para ser explorado e que estão ou em estágio de pesquisa e desenvolvimento ou já possuem aplicação prática, a exemplo do capim-elefante (usado na Usina Termelétrica de Sykué), do óleo de dendê e do eucalipto advindo do reflorestamento.

Ute Sykué

Localizada no oeste baiano, na cidade de São Desidério, a Usina Termelétrica de Sykué, com capacidade instalada de 30 MW, utiliza majoritariamente capim-elefante como combustível para a geração de eletricidade. Esse capim é também usado na alimentação de gado, mas, devido a características como curto período entre plantação e colheita, maior tolerância para solos mais pobres em nutrientes do que a cana-de-açúcar e eucalipto, e maior produção de biomassa para utilização no processo de geração de energia, despertou o interesse de um grupo de empresários.

Atualmente, outros combustíveis também são de interesse na geração de energia, como eucalipto, sorgo e outros tipos de capim. No entanto, a intenção da empresa é aumentar a área plantada do capim-elefante, totalizando seis mil dos 7,5 mil hectares de área cultivável até 2018, e, conseqüentemente, elevar a sua participação como combustível.

Alguns aspectos poderiam ser melhorados para que outras usinas também aproveitem o capim elefante, como ter equipamentos voltados exclusivamente para essa aplicação e criar algum incentivo que favoreça a geração de eletricidade, pois, na comparação com a cana-de-açúcar, esta tem na produção de açúcar e álcool grandes atrativos, enquanto o cultivo do capim-elefante seria exclusivo para o sistema elétrico.

Óleo de dendê

O óleo de dendê, um dos símbolos da Bahia, pode ser transformado por processos de conversão físico-químicos em biodiesel e ser usado na geração de energia em centrais com grupos geradores a diesel, de combustão interna, adaptado para trabalhar, total ou parcialmente, com o biodiesel proveniente do dendê.

As aplicações possíveis para essa alternativa se restringem, entretanto, a centrais de pequeno porte, sobretudo para o abastecimento de áreas isoladas que convivem normalmente com o fornecimento de energia por geradores a diesel oriundo de combustíveis fósseis. Essas limitações se devem ao alto custo do kWh gerado, consequência do menor rendimento do biodiesel do dendê e também do elevado custo de produção, mas é uma energia renovável, tem impacto na geração de emprego local e, nessa aplicação, reduziria custos com a transmissão de energia elétrica.

Eucalipto de reflorestamento

No caso do eucalipto, existem diferentes formas de aproveitar o seu potencial energético. As mais conhecidas ocorrem pela aplicação de técnicas de gaseificação do eucalipto utilizado em reflorestamento, mas há também a aplicação consolidada em usinas de cogeração na indústria de celulose, que tem no eucalipto a sua principal fonte de combustível no Brasil.

As técnicas utilizadas e a disponibilidade de matéria-prima apresentam possibilidades de construção de usinas de médio e grande porte, em torno de 10 MW. Na Bahia, a região sul concentra essas plantações devido ao clima favorável, o que atraiu a concentração de fábricas de celulose na região (BASTOS, 2005).

As tecnologias mais avançadas atualmente, sobretudo a gaseificação com leito fluidizado, conferem rendimentos maiores dos ciclos e também elevam o potencial de geração quando comparadas com as tecnologias mais tradicionais de combustão direta.

Biogás dos resíduos animais

As criações de animais, a exemplo de porcos e aves, produzem grandes quantidades de fezes e outros rejeitos, que podem ser utilizadas na produção de biogás com poder calorífico médio ou baixo.

De acordo com o tipo de criação, características alimentares e locais, pode-se estimar a produção de gás e seu conteúdo energético, e a tecnologia mais adequada atualmente para a conversão, de modo a gerar

O óleo de dendê, um dos símbolos da Bahia, pode ser transformado por processos de conversão físico-químicos em biodiesel

É importante frisar os principais benefícios do uso biomassa como fonte para geração de eletricidade: ser uma fonte renovável, com menor emissão de GEE, e potencial para a criação local de empregos na exploração e coleta dessas fontes

energia elétrica, são as microturbinas, existentes na faixa de alguns kW até 1,0 MW. Várias destas microturbinas trabalham com gases com PCI desde 13 até 32 MJ/m³, apresentam eficiência entre 26% e 33%, requerem pouca manutenção, e suas características de exausto são adequadas, por exemplo, emissões de NOx inferiores a 18mg/m³. Os estudos de viabilidade devem ser específicos, considerados os fatores anteriormente citados.

CONCLUSÃO

A biomassa para geração de energia elétrica no Brasil ainda está bastante atrelada a fontes como o bagaço de cana e o licor negro. Mas a regulamentação do setor permite maior inserção da biomassa na matriz energética, com vantagens como a redução das emissões de GEE e a geração de mais empregos.

As análises dos potenciais de geração de eletricidade no estado da Bahia utilizando resíduos agrícolas e urbanos são animadoras. Mostra-se que, com os resíduos aqui analisados, há um potencial de geração de até 1.251MW, destacando-se a utilização do milho e do coco-da-baía que responderiam, respectivamente, por 61% e 32% desse potencial. Já a utilização dos resíduos sólidos urbanos poderia disponibilizar 77 MW ao estado, um acréscimo aproximado de 4% na atual capacidade termoeletrica instalada na Bahia.

Há casos de sucesso como a Termoverde Salvador, que produz eletricidade a partir do biogás de aterro, e a Termelétrica de Sykué em São Desidério, que utiliza o capim-elefante, além da produção na indústria de papel e celulose, cuja fonte principal é o eucalipto proveniente do reflorestamento. Outros usos promissores são o óleo de dendê e o biogás de resíduos animais, alternativas para usinas de pequeno e médio porte.

É importante frisar os principais benefícios do uso biomassa como fonte para geração de eletricidade: ser uma fonte renovável, com menor emissão de GEE, e potencial para a criação local de empregos na exploração e coleta dessas fontes. Considerando-se os benefícios que atingem todo o estado e a sociedade, e o elevado potencial para o uso da biomassa demonstrado, seria louvável o incentivo por parte dos governos estadual e federal para que a diversificação da matriz energética seja maior, indo além das fontes mais empregadas recentemente, como a energia eólica e a solar.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. 236 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2015.

ALCANTARA, C. A., BASTOS, P. R. F. de M. Armazenamento de energia na geração distribuída: revisão bibliográfica. In: ENCUESTRO REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ, 17., 2017, Ciudad del Este. *Anais...* Ciudad del Este: ERIAC, 2017.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2014: ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202014.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2014*. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

BAHIA. Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária do Estado da Bahia. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/content/dados-estat%C3%ADsticos>>. Acesso em: 19 out. 2015.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2005: ano base 2004. Rio de Janeiro: EPE, 2005.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2015: ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

BASTOS, P. R. F. M. Biomassa: postos de trabalho e equilíbrio de CO₂. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 18., 2005, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SNTPEE, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2030*. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>>. Acesso em: 12 out. 2015.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. *Panorama do potencial de biomassa no Brasil*. São Paulo: CENBIO, 2002.

CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA EM BIOMASSA. *Aproveitamento do Biogás Proveniente de Aterro Sanitário para a Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás*. São Paulo, 2008. dE

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) & SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE do estado de São Paulo (SMA-SP). *Relatório técnico n. 2 do convênio SMA/MCT n. 01.0052.00/2001 – aterros*. São Paulo, 2003. 349 p.

COELHO, S. T.; PALETTA, C. E. M.; FREITAS, M. A. V. *Medidas mitigadoras para redução de gases de efeito estufa na geração termelétrica*. Brasília: Dupligráfica Editora, 2000.

COMISSÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA (SP). *Usinas termelétricas de pequeno porte no Estado de São Paulo*. 2. ed. São Paulo: Páginas & Letras, 2004.

CORTEZ, L. A. B.; LORA E. E. S.; GÓMEZ, E. O. *Biomassa para energia*. Campinas: Unicamp, 2008.

DIAS, E. O.; BASTOS, P. R. F. M. Potencial de geração de energia elétrica na Bahia utilizando biogás de aterro. In: REGSA INTERNATIONAL CONFERENCE, 2014, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: REGSA, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Pesquisadores visitam usina pioneira em capim-elefante para energia*. Brasília, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/5124194/pesquisadores-visitam-usina-pioneira-em-capim-elefante-para-energia>>. Acesso em: 1 nov. 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (MG). *Aproveitamento energético de resíduos sólidos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais*. Belo Horizonte: FEAM, 2012. 163 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: <biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv93420.pdf>. Acesso em: 30 out. 2015.

LA ROVERE, E. L.; COSTA, C. V.; DUBEUX, C. B. S. *Aterros sanitários no Brasil e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): oportunidades de promoção de desenvolvimento socioambiental*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

ORLIC, M.; KERR, T. *A guide for methane mitigation projects: gas-to-energy landfills and open dumpings*. Washington, DC: EPA, 1996. Draft version 2.

PAGLIUSO, J. D. *Tratamento térmico de resíduos: gaseificação ou combustão?*. 2009. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/shs/neper/isimposio/palestras/02122009-manha/JOSMAR_PAGLIUSO-TratamentoTermicoDeResiduos.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2017.

PECORA, V. et al. Aproveitamento do biogás proveniente de aterro sanitário para a geração de energia elétrica e iluminação a gás. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, 8., 2008, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Induscon, 2008.

SALGADO, R. O capim que gera energia. *Época Negócios*, São Paulo, 05 abr. 2010. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Revista/Common/0,,ERT131148-16368,00.html>>. Acesso em: 1 nov. 2015.

SYKUÉ BIOENERGYA. Disponível em: <<http://sykue.com.br/historia.html>>. Acesso em: 1 nov 2015.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 515 p.

TOLMASQUIM, M. T. (Coord.). *Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica*. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 452 p.

UCHOA, A. O.; BASTOS, P. R. F. M. Estimativa da produção de energia elétrica na Bahia usando resíduos agrícolas. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA, 2., 2012, Rosário, Argentina. *Anais...* Rosário, Argentina: CLADE, set. 2012a.

UCHOA, A. O.; BASTOS, P. R. F. M. Potencial de geração de energia elétrica na Bahia usando resíduos agrícolas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 4., 2012, Goiânia. *Anais...* Goiânia: UFG, 2012b.

Resumo

A casca caracteriza-se como um importante resíduo da cadeia produtiva do coco. O seu aproveitamento térmico sob a forma de chips, para geração de energia via gaseificação, pode ser uma alternativa economicamente viável e favorável ao meio ambiente. A biomassa foi caracterizada através de análises térmicas, espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDX), análise imediata, análise elementar e poder calorífico. Na análise elementar obteve-se a concentração de 44,03% de carbono, 50,61% de oxigênio, 4,85% de hidrogênio e 0,51% de nitrogênio. Foram obtidos na análise imediata: umidade, 9,87%; cinzas, 13,24%; voláteis, 68,11% e carbono fixo, 8,78%. Os valores obtidos para o poder calorífico superior e inferior foram de 15,11 MJ/kg e 13,90 MJ/kg, respectivamente. Assim, pode se comprovar a viabilidade de utilização deste resíduo para obtenção de um gás combustível.

Palavras-chave: Caracterização. Biomassa. Gaseificação. Casca de coco. Resíduo.

Abstract

The shell is characterized as an important waste of the coconut production chain. The thermal utilization of this biomass in the form of chips, for the generation of energy through gasification, can be an economically viable alternative and favorable to the environment. The biomass was characterized by thermal analysis, energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX), proximate analysis and calorific value. In the ultimate analysis were obtained 44.03 % of carbon; 50.61 % of oxygen; 4.85 % of hydrogen and 0.51 % of nitrogen. The following were obtained in the proximate analysis: moisture, 9.87 %; Ashes, 13.24 %; Volatile, 68.11 % and fixed carbon, 8.78 % . The values obtained for HHV (high heat value) and LHV (lower heat value) were 15.11 MJ/kg and 13.90 MJ/kg, respectively. Thus, it is possible to prove the feasibility of using this co-product to obtain a combustible gas.

Keywords: Characterization. Biomass. Gasification. Coconut Shell. Waste.

Caracterização da biomassa da casca de coco para obtenção de energia

MARCELA MAGALHÃES MARCELINO

Mestre em Engenharia Industrial, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e graduada em Engenharia de alimentos, pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). marcelamagalhaes16@yahoo.com.br

SÍLVIO ALEXANDRE BEISL VIEIRA DE MELO

Doutor e mestre em Engenharia Química, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e graduado em Engenharia Química, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor-associado e pesquisador líder no grupo de pesquisa Equipetro da UFBA. sabvm@ufba.br

EDNILDO ANDRADE TORRES

Pós-doutor em Energia Renovável e Biocombustíveis, pela Florida Agricultural and Mechanical University (FAMU/FSU US); doutor em Engenharia Mecânica, pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); mestre em Engenharia Mecânica, pela Universidade de São Paulo (USP) e graduado em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor titular da UFBA; professor permanente do Doutorado em Ciências, Energia e Ambiente e do Mestrado e Doutorado do Programa de Engenharia Industrial da UFBA e coordenador do grupo de pesquisa do Laboratório de Energia e Gás e do Centro de Energia e Ambiente da UFBA. ednildotorres@gmail.com

O COQUEIRO é uma planta de grande importância socioeconômica para o Brasil. Além de produzir alimentos, a cadeia produtiva desse cultivo gera grande quantidade de resíduos, entre eles, as cascas que, quando não são incineradas, terminam sendo descartadas em aterros sanitários e lixões. A queima indiscriminada produz substâncias que poluem o ambiente, e o descarte contribui para a procriação de animais peçonhentos e vetores de doenças, pondo em risco a saúde das pessoas.

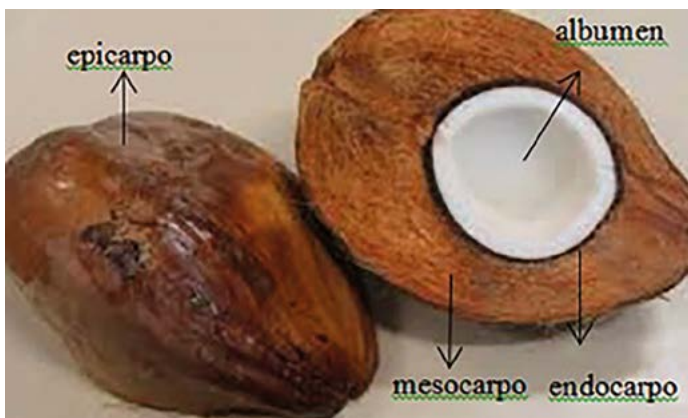
O Brasil possui cerca de 280 mil hectares cultivados com coqueiro, distribuídos em quase todo o território nacional, com produção de, aproximadamente, dois bilhões de frutos.

O fruto do coqueiro, como mostra a Figura 1, é constituído por albúmen líquido (água-de-coco), albúmen sólido ou amêndoa, endocarpo (conhecido popularmente como “quenga”) e casca, sendo que esta representa em torno de 57% do fruto, e é composta por mesocarpo (fibra e pó) e epicarpo (camada mais externa da casca).

Segundo o Balanço Energético Nacional (2016), a participação de renováveis na matriz energética brasileira em 2015 manteve-se entre as mais elevadas do mundo

O mesocarpo do fruto, constituído por cerca de 30% de fibra e 70% de pó, consiste basicamente em lignina e celulose de lenta biodegradação, levando de oito a dez anos para se decompor na natureza (NUNES; SANTOS; SANTOS, 2007).

Figura 1
Partes do coco

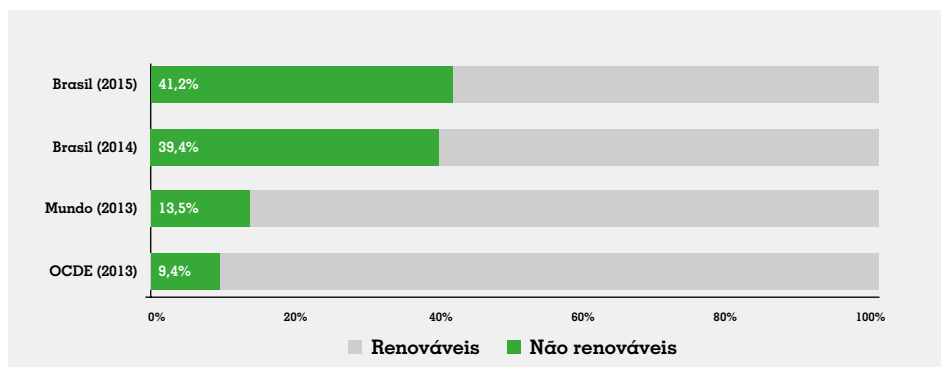


Fonte: Nunes, Santos e Santos (2007).

Em virtude da possível escassez de combustíveis fósseis e da maior preocupação da sociedade com as questões ambientais, a biomassa tem despertado o interesse da comunidade científica por se tratar de uma fonte de energia renovável que fornece combustíveis comparáveis aos combustíveis fósseis.

Segundo o Balanço Energético Nacional (2016), a participação de renováveis na matriz energética brasileira em 2015 manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequeno crescimento devido à menor oferta interna de petróleo e derivados, como mostra a Figura 2.

Figura 2
Participação de renováveis na matriz energética



Fonte: Balanço Energético Nacional (2016).

Atualmente, uma importante fonte de biomassa para fins energéticos são os cavacos ou *chips* (Figura 3), produzidos em usinas de reciclagem, que utilizam como matéria-prima materiais encontrados em aterros, resíduos das indústrias de madeira, alimentos etc. Estes materiais são coletados, processados e comercializados para empresas que necessitam de energia térmica para seus processos industriais. Como vantagens associadas à utilização de cavacos, tem-se uma maior homogeneidade durante a combustão, uma grande disponibilidade de materiais e a possibilidade de automatização na alimentação de fornalhas. As cascas de coco são materiais passíveis de utilização sob a forma de *chips* para o aproveitamento térmico (LOPES; BRITO; MOURA, 2016).

Figura 3

Chips da casca do coco



Fonte: Ferrari (2015).

Existem diversas rotas de conversão de biomassa que, geralmente, são classificadas em três tipos: térmica (gaseificação, liquefação e pirólise), química (hidrólise com água supercrítica, desidratação, hidrólise ácida e transesterificação), química e bioquímica (digestão anaeróbia, fermentação e hidrólise enzimática) (PRIETO; SÁNCHEZ; PEREDA, 2015).

A gaseificação é definida como a conversão de qualquer combustível sólido em gás energético, através da oxidação parcial a altas temperaturas (800 a 1000 °C). Esta conversão pode ocorrer em diversos tipos de reator, de leito fixo ou fluidizado. O gás produzido apresenta muitas finalidades, tais como a combustão em motores ou turbinas para geração de potência e energia elétrica, em bombas de irrigação, na geração direta de calor em fornalhas ou como fonte para produção de matéria-prima em sínteses químicas (SÁNCHEZ, 2010).

A biomassa deve ser caracterizada de acordo com seu uso, de modo a trazer elementos que possibilitem a compreensão de propriedades determinantes, particulares a cada aplicação. No projeto de sistemas

A biomassa deve ser caracterizada de acordo com seu uso, de modo a trazer elementos que possibilitem a compreensão de propriedades determinantes, particulares a cada aplicação

O poder calorífico de um combustível é a quantidade de energia liberada na queima completa de uma determinada massa de combustível

específicos para emprego de biomassa com finalidade energética, é requerido conhecimento pleno das propriedades físicas e químicas do biocombustível. Na literatura, é possível obter dados sobre as propriedades relevantes para processos termoquímicos ou biológicos de conversão de diversos combustíveis de interesse, porém, um estudo específico é necessário a cada aplicação, em virtude da variedade de informações e detalhes (SÁNCHEZ, 2010).

Através da análise termogravimétrica (TG), obtém-se um registro contínuo da variação de peso de uma pequena amostra do combustível num aparelho TG. Informações adicionais sobre mecanismos de reação, parâmetros cinéticos, estabilidade térmica e calor de reação também são fornecidas. A análise da derivada termogravimétrica (DTG) é também importante, pois permite uma melhor visualização da perda de massa (BASU, 2010).

Em conjunto com a análise termogravimétrica, pode-se realizar a análise térmica diferencial (DTA), que se caracteriza como uma técnica de observação de alterações no nível de energia de uma substância como amostra em função da temperatura.

Para caracterização microscópica da biomassa em termos de elementos inorgânicos, utiliza-se a análise EDX (espectroscopia de raios X por dispersão em energia) (WANG; BAXTER; FONSECA, 2007).

Para determinação do teor de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo presentes na biomassa recorre-se à análise imediata.

O poder calorífico de um combustível é a quantidade de energia liberada na queima completa de uma determinada massa de combustível. De acordo com Vieira (2012), o poder calorífico pode ser dividido em superior e inferior. O Poder Calorífico Superior (PCS) representa o calor liberado, ou seja, a quantidade máxima de energia que pode ser obtida da transferência de calor do combustível. Já o Poder Calorífico Inferior (PCI) é definido como a quantidade de calor liberado durante a combustão, levando em consideração o fato de que a água está no estado gasoso (vapor).

A análise elementar fornece o conteúdo percentual dos principais constituintes da biomassa em massa seca, ou seja, sem considerar a presença de água. São eles: carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre. O conhecimento da composição química elementar é muito importante para avaliar o potencial energético de um combustível.

Desta forma, o presente trabalho visa ao estudo do potencial de conversão térmica da biomassa da casca de coco sob a forma de *chips* via

gaseificação, com base nos resultados das análises termogravimétrica, derivada termogravimétrica, térmica diferencial, espectroscopia de raios X por dispersão em energia, análise imediata, análise elementar e poder calorífico. Para este estudo, considera-se a realização da gaseificação em reator de leito fixo co-corrente.

JUSTIFICATIVA

A indústria de coco e seus derivados contribui com a grande quantidade de materiais sólidos, principalmente as cascas do fruto, que são dispostas em aterros e lixões.

Entre as alternativas para tratamento de co-produtos industriais, Marchezetti, Kaviski e Braga (2011) destacam como vantagens de utilização da gaseificação: a possibilidade de conversão do gás gerado em energia; a obtenção de um combustível mais limpo; a diminuição da dependência de combustíveis fósseis; a eliminação de patógenos; a emissão de baixa quantidade de particulados; uma maior produção de hidrogênio e monóxido de carbono e uma baixa produção de dióxido de carbono.

Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012), a Bahia destacou-se com a maior produção industrializada (163,48 t) e, conseqüentemente, a maior geração de co-produtos (98,087 t) oriundos das atividades de processamento de coco.

De acordo com a norma NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), que dispõe sobre a classificação de resíduos, a casca de coco enquadra-se como resíduo classe II (resíduo não inerte, biodegradável ou combustível). A disposição deste tipo de resíduo em aterros sanitários varia entre R\$ 60,00 e R\$ 130,00 por tonelada (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DE SÃO PAULO, 2011). O aproveitamento térmico desse co-produto mediante processo de gaseificação surge como uma possibilidade de agregar valor à biomassa através da obtenção de energia e intermediários químicos, como alternativa aos impactos ambientais associados ao descarte e à queima indevidos e uma forma de reduzir os custos da indústria com o transporte e a disposição final desses resíduos.

METODOLOGIA

Para este trabalho, foram coletados inicialmente 20 cocos secos em uma propriedade na cidade de Alagoinhas (BA), e, em seguida, foram retiradas as cascas para a fase de caracterização. As amostras foram preparadas conforme o recomendado pela norma ASTM E1757-01 (ASTM

A indústria de coco e seus derivados contribui com a grande quantidade de materiais sólidos, principalmente as cascas do fruto, que são dispostas em aterros e lixões

A biomassa foi caracterizada através de análise térmica, análise por espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDX) – composição inorgânica –, análise imediata, análise elementar e poder calorífico

INTERNATIONAL, 2015), que apresenta as práticas padronizadas para preparo da biomassa voltadas aos experimentos de caracterização.

As cascas foram processadas em liquidificador, sendo que o pó obtido foi fracionado através da utilização de peneiras na faixa de 35-80 mesh.

A biomassa foi caracterizada através de análise térmica, análise por espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDX) – composição inorgânica –, análise imediata, análise elementar e poder calorífico.

O preparo da amostra e os testes para caracterização foram realizados nas dependências dos Laboratórios de Catálise e Materiais (LabCat), no Instituto de Química, e no Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (Cienam), ambos da Universidade Federal da Bahia (UFBA). A análise elementar foi realizada nos laboratórios da Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP).

Análise térmica

A caracterização térmica da biomassa envolve as seguintes análises: termogravimétrica (TG), derivada termogravimétrica (DTG) e térmica diferencial (DTA). Através das técnicas termoanalíticas, acompanha-se a variação da massa da amostra em função de uma programação de temperatura.

Para estas análises utilizou-se o equipamento DTG-60 H, da Shimadzu, com variação de temperatura entre 20 e 1000 °C, razão de aquecimento de 10 °C/min e vazão de ar 50 ml/min em atmosfera de ar sintético. Foram utilizados 2,55 mg da amostra.

Este equipamento é composto basicamente por uma termobalança, instrumento que permite uma pesagem contínua de uma amostra à medida que esta é aquecida. Os principais componentes de uma termobalança são: balança registradora, forno, suporte de amostra e sensor de temperatura, programador de temperatura do forno, sistema registrador e controle da atmosfera do forno.

Análise EDX (espectroscopia de raios X por dispersão em energia)

Para a análise elementar dos materiais por Energia Dispersiva de Raios-X (EDX), utilizou-se o equipamento EDX-720, da Shimadzu, com fonte de radiação de ródio, operando a 15 kV (Na a Sc) ou 50 kV, e fenda colimadora de 10 mm, no modo quali-quantitativo. As amostras foram analisadas na forma de pó e em atmosfera de vácuo.

A análise imediata fornece as frações, em peso, de umidade, voláteis cinzas e carbono fixo de uma amostra de biomassa

Neste equipamento, a amostra é irradiada por um feixe de raios X, fazendo com que os átomos presentes gerem e emitam raios x fluorescentes que apresentam comprimento de onda e energia característicos para cada elemento que constitui a composição mineral da biomassa. Desta forma, é possível realizar a análise qualitativa a partir do conhecimento dos comprimentos de onda dos raios x e também a análise quantitativa através da determinação da quantidade de raios x com determinado comprimento de onda.

Análise imediata

A análise imediata fornece as frações, em peso, de umidade, voláteis cinzas e carbono fixo de uma amostra de biomassa.

Para realização destes testes foram utilizados uma balança analítica Adventurer da marca Ohaus, uma mufla EDG 3P-S da marca EDG e uma estufa da marca Quimis. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

Teste de umidade

O teor de umidade da biomassa foi determinado de acordo com a norma ASTM E1756 - 08 (*Standard Test Method for Determination of Total Solids in Biomass*) (ASTM INTERNATIONAL, 2015b). Este método envolve a determinação da quantidade de sólidos totais remanescentes após a secagem de uma amostra.

Foram pesados aproximadamente dois gramas (2 g) de biomassa moída e seca a 105 °C em cadinhos de porcelana previamente secos e tarados. Os cadinhos foram submetidos a aquecimento por uma hora à temperatura de 105 °C. Em seguida, foram colocados para resfriar em um dessecador e, por fim, pesados. Este procedimento foi repetido até que se observasse constância no valor da massa. O teor de umidade foi obtido através da equação (1).

$$u (\%) = \frac{(M_u - M_s) \times 100}{M_u} \quad (1)$$

onde: u (%) = teor de umidade em porcentagem; M_u = massa úmida; M_s = massa seca.

Teor de cinzas

Para determinação do teor de cinzas, utilizou-se a norma ASTM E1755 - 01 (*Standard Test Method for Ash in Biomass*) (ASTM INTERNATIONAL, 2015a). Esta norma abrange a determinação da cinza, expressa a porcentagem em massa dos resíduos remanescentes após a oxidação a seco (oxidação a 575 ± 25 °C) de madeiras, materiais herbáceos, resíduos agrícolas, biomassa pré-tratada ácida e alcalina e a fração sólida de resíduos de fermentação.

Após a tara e a secagem dos cadinhos, 1 a 2 g de biomassa foram pesados. Em seguida, foram colocados em uma mufla pré-aquecida a 575 °C, permanecendo nesta por três horas até que se completasse a queima da amostra. Em seguida, os cadinhos foram conduzidos para um dessecador, para resfriar e depois serem pesados. A equação (2) foi utilizada para determinar o teor de cinzas.

$$C_z (\%) = \frac{(m_f - m_i) \times 100}{m} \tag{2}$$

onde: C_z (%) = teor de cinzas em porcentagem; m_f = massa do cadinho+massa do resíduo; m_i = massa do cadinho; m = massa da amostra.

Teor de voláteis

Seguindo a norma ASTM D5832 – 98 (*Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon Samples*) (ASTM INTERNATIONAL, 2014), determinou-se o teor de voláteis da biomassa. Este método de análise abrange a determinação da porcentagem de produtos gasosos, excluindo o vapor de umidade presente no carvão, que é liberado em condições específicas.

Para a realização deste teste, cadinhos de porcelana foram colocados na mufla à temperatura de 950 °C por 30 minutos. Em seguida, foram postos em um dessecador para resfriar. Depois, os cadinhos foram pesados em uma balança analítica e foram adicionados de 1 a 2 g da amostra em cada um. Os cadinhos foram colocados novamente na mufla, regulada a 950 °C, por sete minutos. Posteriormente, seguiram para um dessecador para resfriar e, por fim, serem pesados. O teor de material volátil foi obtido de acordo com a equação (3):

$$MV (\%) = \frac{(m_i - m_f) \times 100}{m} \tag{3}$$

onde: MV (%) = teor de material volátil em porcentagem; m_i = massa inicial (cadinho + amostra); m_f = massa final (cadinho + amostra); m = massa da amostra.

Carbono fixo

O teor de carbono fixo da biomassa foi determinado indiretamente através da equação (4):

$$CF (\%) = 100 - (CZ + MV + U) \tag{4}$$

Poder calorífico

Para determinação do PCS da biomassa, foi utilizada uma bomba calorimétrica, IKA (C2000 Basic). O procedimento foi realizado em triplicata, segundo a norma ASTM D2015 - 00 (ASTM INTERNATIONAL, 2000).

Este equipamento é constituído basicamente por uma câmara de combustão, onde são colocados a amostra e o oxigênio sob pressão. Esta câmara é colocada em um copo isolado do ambiente, contendo uma determinada quantidade de água. A reação é iniciada com o aquecimento da amostra. Como a reação de combustão é exotérmica, a água que circunda a câmara é aquecida. A quantidade de calor envolvida na elevação de temperatura da água é utilizada para se calcular o calor de combustão.

O PCI da biomassa foi obtido através da equação (5), segundo Basu (2010):

$$PCI = PCS - 20,3 * H - 2,26 * U \quad (\text{MJ/kg}) \quad (5)$$

onde: H é a fração de hidrogênio presente na biomassa; U = fração de umidade na biomassa.

Análise elementar

A análise elementar da biomassa (determinação de carbono, hidrogênio e nitrogênio) foi realizada em duplicata através do equipamento CHNS/O, um analisador elementar Perkin Elmer 2400 series II. Para esta determinação utilizou-se o método de Pregl-Dumas, no qual as amostras são sujeitas à combustão em uma atmosfera de oxigênio, e os gases resultantes são quantificados através de um detector TCD (detector de condutividade térmica). Admitiu-se teor de enxofre nulo ($S = 0$), e o teor de oxigênio foi obtido por diferença.

RESULTADOS

Os resultados obtidos para a caracterização estão apresentados em tópicos específicos para cada análise realizada.

Análise EDX

Os dados obtidos para a análise mineralógica por EDX estão descritos na Tabela 1.

Durante o aquecimento, o material combustível perde massa. São as etapas de secagem, desvolatilização e oxidação

Tabela 1

Composição mineralógica da biomassa do chip da casca de coco obtida por EDX

Elemento	Resultado (%)
K	60,19
Ca	18,95
Al	4,92
Fe	4,53
Si	3,08
Zn	2,88
Ti	2,27
Cu	1,31
S	1,21
P	0,66

Fonte: elaboração própria.

Com base nos resultados encontrados, levando-se em consideração o percentual de cinzas presente na biomassa, verificou-se maior concentração dos elementos potássio (K) e cálcio (Ca) e menores quantidades de cobre (Cu), enxofre (S) e fósforo (P).

O potássio tem um efeito considerável sobre o mecanismo de pirólise, o que resulta em mudanças nas reações de decomposição da biomassa. A presença deste metal ocasiona maior rendimento do gás obtido devido ao baixo teor de alcatrão (JONES et al., 2007). Quanto maior a concentração de potássio na biomassa, mais rápida será a taxa de reação.

A presença majoritária de potássio, seguida do cálcio, pode ocasionar a formação de compostos de menor temperatura de fusão nas cinzas, possibilitando futura deposição nos reatores de conversão térmica e conseqüente redução das taxas de transferência de massa e eficiência do equipamento. A ocorrência da fusão é facilitada pela presença de metais alcalinos e metais alcalinos terrosos na composição (NORDIN, 1994).

Neste caso, convém empregar temperaturas mais baixas no processo ou realizar a co-combustão com outro elemento de maior temperatura de fusão das cinzas.

Análise TG/DTG/DTA

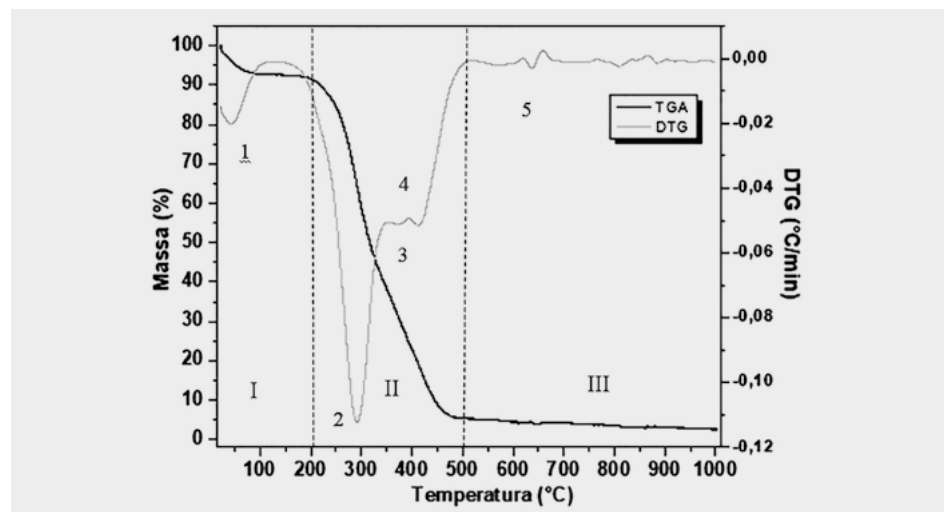
Durante o aquecimento, o material combustível perde massa. São as etapas de secagem, desvolatilização e oxidação.

Através da análise das curvas térmicas expressas nas figuras 4 e 5, obtêm-se informações sobre o processo de degradação térmica da biomassa do *chip* da casca de coco onde são verificadas regiões que representam este comportamento.

A Figura 4 apresenta as curvas características da porcentagem instantânea, em massa, do material em contraste com sua massa inicial (TG) e da derivada termogravimétrica (DTG) que relaciona a derivada primeira da variação de massa (m) em relação ao tempo (dm/dt), sendo registrada em função da temperatura. Esta última permite distinguir melhor a perda de massa, que muitas vezes não pode ser verificada apenas através da curva termogravimétrica (TG).

Figura 4

Curvas termogravimétrica e da derivada termogravimétrica da casca de coco em função da temperatura



Fonte: elaboração própria.

De modo geral, uma curva termogravimétrica (TG) divide-se em três fases distintas. A primeira (temperatura abaixo de 200°C) caracteriza-se por ligeira perda de massa da biomassa em função do processo de secagem e liberação de voláteis. A perda de massa nessa fase é inferior a 10%. Na segunda fase (temperatura entre 200 e 500°C), verifica-se uma diminuição significativa da massa devido à decomposição térmica da hemicelulose, celulose e lignina. Segundo Chen e Kuo (2010), de forma geral, a perda de massa pela biomassa neste estágio é de aproximadamente 40%. Temperaturas acima de 500 °C determinam a terceira fase, na qual a perda de massa não é tão significativa em consequência da decomposição térmica de outros componentes mais pesados.

Para compreender o comportamento térmico da biomassa é importante destacar as temperaturas mais importantes do processo de queima: a temperatura de ignição e a temperatura de pico (YAMAN et al., 2000). A temperatura de ignição corresponde ao ponto em que se verifica um aumento súbito na degradação térmica da biomassa. A temperatura de pico corresponde ao ponto em que ocorre máxima perda de peso devido à combustão da biomassa. Geralmente, representa uma medida da reatividade da amostra (DEMIRBAS, 2004).

Para
compreender o
comportamento
térmico da
biomassa é
importante
destacar as
temperaturas
mais
importantes
do processo
de queima: a
temperatura
de ignição e a
temperatura
de pico

Alguns estudos reconhecem que a matéria lignocelulósica pode ser identificada qualitativamente em termos das estruturas hemicelulose, celulose e lignina, através da análise deste tipo de curva

Na Figura 4, as fases da perda de massa estão apresentadas conforme descrito pela literatura. Pode-se verificar que a maior perda de massa da casca de coco, de aproximadamente 83,4%, ocorreu na faixa de 200 °C (temperatura de ignição) a 450 °C (temperatura de pico), em um intervalo de 20 a 42 minutos de aquecimento.

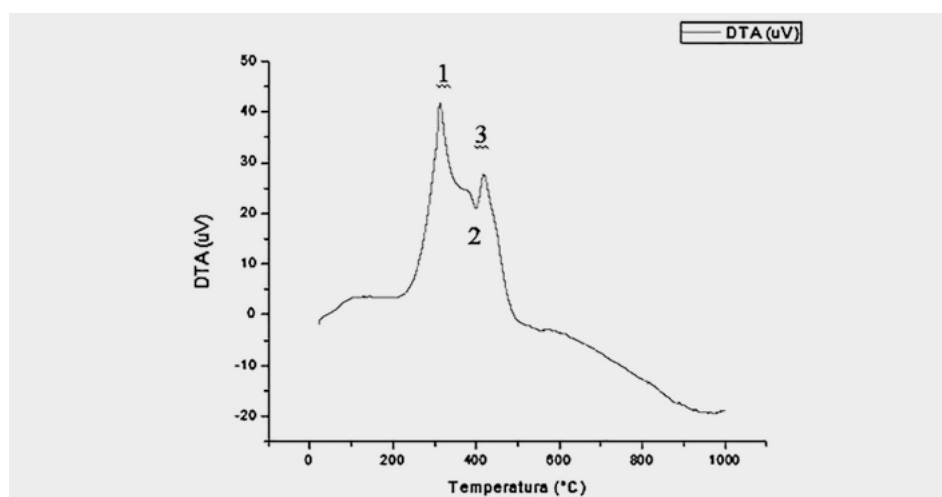
Alguns estudos reconhecem que a matéria lignocelulósica pode ser identificada qualitativamente em termos das estruturas hemicelulose, celulose e lignina, através da análise deste tipo de curva. Geralmente, a decomposição térmica da hemicelulose ocorre em temperaturas que variam de 150 a 350 °C; a da celulose ocorre entre 275 e 350 °C, e a de lignina, entre 250 e 500 °C (MANSARAY; GHALY, 1998).

É possível observar também na Figura 4, através da curva da derivada termogravimétrica (DTG), a existência de quatro estágios de decomposição. O primeiro refere-se à evaporação de água da amostra, com ocorrência até a temperatura de 100 °C. O segundo estágio, com variação de massa significativa entre 190 e 353 °C, está relacionado à decomposição da hemicelulose, a 292 °C. O terceiro estágio, a 374 °C, representa a degradação da celulose. A decomposição da lignina ocorre aos 413 °C, caracterizando o quarto estágio.

A Figura 5 representa a curva da análise térmica diferencial (DTA). A partir desta técnica, a diferença de temperatura entre a amostra em análise e o material de referência (inerte) é medida em função da temperatura ou do tempo. A curva é construída com a temperatura na abscissa e a diferença de temperatura na ordenada. A variação de temperatura é dada em μV devido ao uso de termopares na medição (SOUZA, 2012). A curva obtida apresenta dois eventos exotérmicos indicados por dois picos ascendentes (1 e 3), com máximo em 312 e 419 °C, e um evento endotérmico representado por um pico descendente aos 397 °C (2). Estes picos representam as temperaturas das reações de decomposição da hemicelulose (1), da celulose (2) e da lignina (3).

Figura 5

Curva da análise térmica diferencial da casca de coco em função da temperatura



Fonte: elaboração própria.

Análise imediata

Os resultados obtidos para a análise imediata da biomassa do *chip* da casca de coco são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2

Resultados da análise imediata

Análise imediata (%)	Casca de coco
Umidade	9,87 ± 0,14
Cinzas	13,24 ± 0,34
Voláteis	68,49 ± 0,39
Carbono fixo	8,78 ± 0,67

Fonte: elaboração própria.

Teor de umidade

Biomassa originária de atividade agrícola geralmente possui entre 15 e 30% de umidade. Para utilização em gaseificador de leito fixo co-corrente é recomendável não operar com teor de umidade superior a 30% (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

Segundo García e outros (2012), a biomassa da casca de coco apresenta teor de umidade de aproximadamente 8,6%. Já Rout e outros (2016) mostram em seus estudos que a casca de coco apresenta 10,1% de umidade.

Os resultados presentes na Tabela 2 mostram que o *chip* da casca de coco possui teor de umidade de 9,87%, um valor próximo ao relatado na literatura. O teor de umidade encontrado também se adequa ao limite especificado para a gaseificação em reator de leito fixo.

Biomassa
originária
de atividade
agrícola
geralmente
possui entre
15 e 30% de
umidade

O teor de cinzas determina o projeto da planta, bem como a complexidade das instalações de remoção

Teor de cinzas

Na Tabela 2 observa-se que o chip da casca de coco possui teor de cinzas de 13,24%, um valor elevado, que pode ocasionar redução no poder calorífico do combustível. Jenkins (1990) mostra em seu trabalho que a casca de coco apresenta teor cinzas de 10,25%. De acordo com García e outros (2012), o teor de cinzas para este material é cerca de 1,4%, enquanto outros autores relatam um teor de 0,40 % (VALE; BARROSO; QUIRINO, 2004). Comparando-se estes valores, constata-se que há uma diferença significativa entre os resultados. A presença de alguns materiais com elevado teor de minerais, como areia, sais e fragmentos de solo, aderidos à biomassa, podem ter sido a causa de tal discrepância.

O teor de cinzas determina o projeto da planta, bem como a complexidade das instalações de remoção. A temperatura de fusão, a viscosidade da escória e suas propriedades de incrustação são suas características mais importantes. Para o processo de gaseificação, é desejável que os combustíveis apresentem baixo teor de cinzas, minimizando, desta forma, problemas relacionados a entupimentos e incrustações (HOFFMAN, 2010).

De acordo com Hoffman (2010), quanto à capacidade de diferentes equipamentos em lidar com o alto teor de cinzas, tem-se que os gaseificadores de leito fluidizado e, principalmente, os de leito fixo conseguem processar biomassa com elevado teor de cinzas.

Teor de voláteis

Segundo García e outros (2012), a casca de coco apresenta 79,2% de material volátil. Para Jenkins (1990), esta biomassa apresenta 70,61% de voláteis. O teor de voláteis para biomassa vegetal varia de 50 a 80% (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

O valor obtido experimentalmente, exposto na Tabela 2, foi de 68,49%, relativamente próximo aos valores previstos na literatura. Deste modo, o considerável teor de voláteis na biomassa demonstra representatividade do teor de alcatrão nos gases, boa reatividade e rápida ignição.

Carbono fixo

Para a casca de coco, García e outros (2012) encontraram teor de carbono fixo de 19,40%. Segundo Rout e outros (2016), esta biomassa apresenta 11,20% de carbono fixo, enquanto que, para Jenkins (1990), a casca de coco possui um teor de carbono fixo de 19,14%. De acordo com a Tabela 2, o teor de carbono fixo encontrado apresentou-se

abaixo desses valores, apenas 8,78%, o que significa que o combustível apresenta baixa resistência térmica, ou seja, a combustão da biomassa ocorrerá de forma mais rápida.

- Poder calorífico

O PCS do *chip* da casca de coco determinado foi de 15,11 MJ/kg. Alguns autores obtiveram valores um pouco superior: Tsamba, Yang e Blasiak (2006) encontraram PCS de 20,51 MJ/kg. Já Rout e outros (2016) encontraram PCS para esta biomassa de 20,15 MJ/kg, enquanto que Sulaiman e outros (2017) registraram PCS de 19,43 MJ/kg.

O PCI, por sua vez, retrata melhor a qualidade do combustível. O valor encontrado para a biomassa em estudo, de acordo com a equação (5), foi de 13,90 MJ/kg, o que indica um grande potencial de uso destes resíduos para obtenção de energia.

- Análise elementar

Para a análise elementar da biomassa do *chip* da casca do coco, foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3

Análise elementar da casca do coco

Biomassa	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	S (%)
Casca de coco	44,03	4,85	0,51	50,61	0

Fonte: elaboração própria.

Pode-se verificar, através destes dados, que a biomassa apresentou maior concentração de oxigênio e carbono, respectivamente. Segundo McKendry (2002), quanto maior a proporção de oxigênio e hidrogênio, quando comparada com a de carbono, menor será o valor energético do um combustível, devido à menor energia contida nas ligações carbono-oxigênio e carbono-hidrogênio. De forma similar, Sulaiman e outros (2017) obtiveram, em seus estudos sobre a casca de coco, 48,21% de oxigênio; 46,93% de carbono; 3,96% de hidrogênio; 0,71% de nitrogênio e 0,19% de enxofre. Porém, segundo Jenkins (1990), a casca de coco apresenta maior teor de carbono, 50,22%; 43,40% de oxigênio; 5,70% de hidrogênio e 0,00% de nitrogênio. Andrade e outros (2004) também encontraram maior teor de carbono para esta biomassa, 48,23%; 33,19 % de oxigênio; 5,23% de hidrogênio; 2,98% de nitrogênio e 0,12% de enxofre. De acordo com Vieira (2012), a composição química elementar pode variar nos resíduos de biomassa, a depender do modo como estes foram produzidos e também das características do solo em que foram cultivados.

Desta forma, pode-se concluir que o chip da casca de coco pode ser utilizado para obtenção de gás combustível via gaseificação

O conhecimento das concentrações de nitrogênio e enxofre são de extrema importância para definir os impactos ambientais durante a queima. De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, verifica-se que a casca de coco apresenta teores irrelevantes destes elementos, o que significa que a biomassa apresenta um baixo potencial de poluição a partir da ausência ou baixa emissão de óxidos NO_x e SO_x . De acordo com García e outros (2012), as emissões de SO_x podem ser negligenciadas em combustíveis obtidos a partir de biomassa vegetal, pois esta apresenta pequenas quantidades desse elemento em sua constituição química. A contribuição da biomassa para NO_x em gases residuais é também muito pequena quando comparada à contribuição do ar (15 ou 20 vezes maior).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise termogravimétrica, pode-se prever o comportamento da biomassa do *chip* da casca de coco quando submetida à queima, conhecendo-se os parâmetros que descrevem a degradação térmica, essenciais para definir as condições de operação durante a gaseificação. Por meio da análise EDX, verificou-se maior concentração de potássio e cálcio (60,19% e 18,95%, respectivamente), o que justifica a necessidade de se utilizarem menores temperaturas de operação ou se realizar um procedimento de co-combustão para que a eficiência não seja reduzida durante a gaseificação.

Através dos resultados obtidos a partir da análise imediata, constata-se que a biomassa apresenta teor de umidade satisfatório ($U = 9,87\%$) para operação em gaseificadores de leito fixo; o teor de cinzas apresentou-se acima do esperado ($Cz = 13,24\%$), no entanto, gaseificadores de leito fixo são apropriados para operar nesse tipo de situação; o teor de voláteis obtido está dentro do previsto pela literatura ($V = 68,11\%$), indicando boa ignição e reatividade e, por fim, o baixo teor de carbono fixo ($CF = 8,78\%$), que evidencia baixa resistência térmica e queima mais rápida. Segundo resultados da análise elementar, a biomassa apresentou a seguinte composição centesimal ($C = 44,03$; $H = 4,85$; $N = 0,51$; $O = 50,61$; $S=0,00$), indicando baixo valor energético e baixo potencial de poluição do combustível. Os valores encontrados para os poderes caloríficos superior e inferior ($PCS = 15,11$ MJ/kg; $PCI = 13,90$ MJ/kg) comprovaram a viabilidade de utilização desta biomassa como fonte para obtenção de energia.

Desta forma, pode-se concluir que o *chip* da casca de coco pode ser utilizado para obtenção de gás combustível via gaseificação.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. M. et al. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 707-714, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004*: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASTM INTERNATIONAL. *ASTM D2015-00*: standard test method for gross calorific value of coal and coke by the adiabatic bomb calorimeter (Withdrawn 2000). West Conshohocken, PA: ASTM, 2000.

ASTM INTERNATIONAL. *ASTM D5832-98*: standard test method for volatile matter content of activated carbon samples. West Conshohocken, PA: ASTM, 2014.

ASTM INTERNATIONAL. *ASTM E1755-01*: standard test method for ash in biomass. West Conshohocken, PA: ASTM, 2015a.

ASTM INTERNATIONAL. *ASTM E1756-08*: standard test method for determination of total solids in biomass. West Conshohocken, PA: ASTM, 2015b.

ASTM INTERNATIONAL. *ASTM E1757-01*: standard practice for preparation of biomass for compositional analysis. West Conshohocken, PA: ASTM, 2015c.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2016: ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/default.aspx?anoColeta=2016>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

BASU, P. *Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory*. Oxford: Elsevier, 2010.

CHEN, W.; KUO, P. A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. *Energy*, [S.l.], v. 35, n. 6, pp. 2580-2586, June 2010.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, [S.l.], v. 30, pp. 219-230, 2004.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DE SÃO PAULO. *Gestão de resíduos sólidos sob a perspectiva empresarial*. São Paulo: FIESP, 2011.

FERRARI, L. X. A. *Cultivando orquídeas e ideias*. 21 fev. 2015. Disponível em: <<http://viverorquideaseideias.blogspot.com.br/2015/02/tipos-de-substrato-usando-criatividade.html>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

GARCÍA, R. et al. Characterization of spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, [S.l.], v. 103, n. 1, p. 249-258, Jan. 2012.

HOFFMAN, B. S. *O ciclo combinado com gaseificação integrada e a captura de CO₂: uma solução para mitigar as emissões de CO₂ em termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo*. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético)-Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas*. Brasília: IPEA, 2012. Relatório de Pesquisa.

JENKINS, B. M. Fuel properties for biomassa materials. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLICATION AN MANAGEMENT OF ENERGY IN AGRICULTURE: THE ROLE BIOMASS FUELS, 1., 1990, New Delhi. *Anais...* Ludhiana: Punjab Agricultural University, 1990. p. 21-23.

JONES, J. M. et al. An investigation of the thermal and catalytic behaviour of potassium in biomass combustion. *Proceedings of the Combustion Institute*, [S.l.], v. 31, n. 2, pp. 1955-1963, Jan. 2007.

LOPES, G. A.; BRITO, J. O.; MOURA, L. F. Uso energético de resíduos madeiros na produção de cerâmicas no estado de São Paulo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 679-686, abr./jun. 2016.

MANSARAY, K. G.; GHALY, A. E. Thermal degradation of rice husks in nitrogen atmosphere. *Bioresource Technology*, [S.l.], v. 65, n. 1-2, pp. 13-20, July/Aug. 1998.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 173-187, abr./jun. 2011.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. *Bioresource Technology*, [S.l.], v. 83, pp. 55-63, 2002.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. Caracterização energética da biomassa vegetal. In: BARRETO, E. J. F. (Coord.). *Combustão e gaseificação da biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia*. Brasília: MME, 2008.

NORDIN, A. On the chemistry of combustion and gasification of biomass fuels, peat and waste: environmental aspects. *Biomass and Energy*, [S.l.], v. 6, n. 5, p. 339-347, 1994.

NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R. D; SANTOS, T. C. D. Tecnologia para biodegradação da casca de coco seco e de outros resíduos do coqueiro. *Circular Técnica*, Aracaju, n. 46, nov. 2007.

PRIETO, M.G; SÁNCHEZ, F.A; PEREDA, S. Thermodynamic model for biomass processing in pressure intensified technologies. *The Journal of Supercritical Fluids*, [S.l.], v. 96, p. 53-67, Jan. 2015.

ROUT, T. et al. Exhaustive study of products obtained from coconut shell pyrolysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Rourkela, IN, v. 4, n. 3, pp. 3696-3705, Sept. 2016.

SÁNCHEZ, C. G. *Tecnologia de gaseificação de biomassa*. Campinas: Átomo, 2010.

SOUZA, J. P. B. *Análise térmica de polímero DGEBA (diglicidil Éter de Bisfenol A) e sua relação na resistência de juntas coladas*. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Programa Francisco Eduardo Mourão Saboya de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2012.

SULAIMAN, S. A. et al. Effect of blending ratio and catalyst loading on co-gasification of wood chips and coconut waste. *Journal of the Energy Institute*, [S.l.], pp. 1-7, 2017.

TSAMBA, A. J.; YANG, W.; BLASIAK, W. Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells. *Fuel Processing Technology*, [S.l.], v. 87, pp. 523-530, 2006.

VALE, A. T.; BARROSO, R. A.; QUIRINO, W. F. Caracterização da biomassa e do carvão vegetal do coco-da-baía (*Cocos nucifera L.*) para uso energético. *Biomassa & Energia*, Viçosa, v. 1, n. 4, p. 365-370, out./dez. 2004.

VIEIRA, A. C. *Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas*. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2012.

WANG, S; BAXTER, L; FONSECA, F. *Biomass fly ash in concrete*: SEM, EDX and ESEM analysis. Brigham: Department of Chemical Engineering, 2007.

YAMAN, S. et al. Production of fuel briquettes from olive refuse and paper mill waste. *Fuel Processing Technology*, [S.l.], v. 68, p. 23-31, 2000.

Resumo

O presente artigo sintetiza, para o período 2012-2016, os principais dados e indicadores referentes à energia eólica na Bahia, apresentando informações sobre a evolução da capacidade instalada, a geração de energia elétrica, o fator de capacidade, além do estágio de implantação dos novos empreendimentos eólicos em território estadual. As estatísticas aqui apresentadas confirmam o expressivo desenvolvimento obtido pela fonte eólica ao longo da série temporal analisada, contribuindo de forma significativa na diversificação da matriz energética estadual mediante a ampliação da participação de fontes renováveis em sua estrutura. Tais empreendimentos têm, portanto, contribuído para a inserção definitiva da Bahia no cenário nacional como um dos principais polos de geração de energia elétrica a partir da força dos ventos.

Palavras-chave: Energia eólica. Geração de energia. Energias renováveis. Matriz elétrica da Bahia.

Abstract

This article summarizes the main data and indicators for the wind energy in Bahia for the period 2012-2016, presenting information on the evolution of installed capacity, generation of electric power, capacity factor, and the stage of implantation of new wind farms in the state territory. The consolidated statistics confirm the significant development of the wind power source during the time series analyzed, contributing significantly to the diversification of the state energy matrix, by increasing the share of renewable sources in its structure, and for the definitive insertion of Bahia in the national scenario as one of the main poles of electric power generation from the force of the winds.

Keywords: *Wind energy. Power generation. Renewable energy. Electrical matrix of Bahia.*

Panorama da energia eólica na Bahia: uma radiografia de quatro anos (2012-2016)

ALDO DE FREITAS PINHEIRO

Pós-graduado em Energia, pela Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e graduado em Engenharia Química pela Escola de Química da UFRJ. Coordenador de Desenvolvimento Energético da Diretoria de Energia da Superintendência de Energia e Comunicações da Secretaria de Infraestrutura do Estado da Bahia (Seinfra).
aldo@infra.ba.gov.br

JOÃO VICTOR BRICIDIO ARARIBA

Graduado em Engenharia de Petróleo e Gás, pelo Centro Universitário Jorge Amado (Unijorge) e pós-graduando em Energias Renováveis pelo Senai/Cimatec. Analista técnico na Coordenação de Desenvolvimento Energético da Diretoria de Energia da Superintendência de Energia e Comunicações da Secretaria de Infraestrutura do Estado da Bahia (Seinfra).
joao.arariba@infra.ba.gov.br

NO DECORRER dos últimos cinco anos, houve uma grande expansão na infraestrutura do setor energético da Bahia, em função da implantação crescente de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir da fonte eólica. Atualmente, o estado ocupa a segunda posição no *ranking* nacional em termos de capacidade instalada, totalizando 1,75 GW, oriundo de 68 parques eólicos que já se encontram em operação comercial¹.

A projeção da capacidade instalada, com base na potência contratada nos leilões de energia já realizados, aponta para o valor de 5,5 GW, o que conduziria a Bahia até 2021 à posição de liderança dentre as unidades da Federação. No tocante à geração de energia elétrica propriamente dita, observa-se a grande representatividade atingida pela energia eólica na estrutura da matriz estadual, com participação de 17,09% no ano de 2015¹.

¹ As informações aqui consolidadas e sistematizadas contemplam os dados compilados, mensalmente de janeiro a dezembro, para o período 2012 - 2016, disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Operador Nacional do Sistema (ONS) e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Assim, a ideia geral que norteou o presente trabalho foi um esforço metodológico de sistematização, de integração de informações e dados estatísticos relacionados à implantação e ao desenvolvimento da energia eólica na Bahia

Outro ponto a ser destacado diz respeito ao fator de capacidade atingido pelos parques eólicos em funcionamento no âmbito estadual, com valor médio de 42,2%, o que representa uma eficiência de geração superior à verificada em diversos outros países¹.

Assim, a ideia geral que norteou o presente trabalho foi um esforço metodológico de sistematização, de integração de informações e dados estatísticos relacionados à implantação e ao desenvolvimento da energia eólica na Bahia. A série histórica considerada cobre essencialmente o período 2012-2016, com levantamentos e considerações direcionadas ao conhecimento de indicadores de situação, tais como a capacidade instalada, a geração de energia elétrica, o fator de capacidade, além do acompanhamento do estágio de instalação dos parques eólicos em todo o território baiano.

PRINCIPAIS ASPECTOS METODOLÓGICOS

Foi realizado um levantamento nas bases de dados eletrônicas disponibilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, o Operador Nacional do Sistema Elétrico e a Secretaria de Infraestrutura através do Balanço Energético da Bahia - 2016.

As informações, apresentadas com o seu nível máximo de desagregação, foram posteriormente agregadas e estruturadas de modo a refletir: as capacidades de geração contratadas nos leilões realizados, o estágio de implantação dos parques eólicos, a evolução e a projeção da capacidade instalada e do número de parques eólicos em operação comercial, a estrutura da matriz de geração de energia elétrica segundo as fontes e o fator de capacidade dos parques eólicos em operação.

CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO E SITUAÇÃO DOS PARQUES EÓLICOS

Capacidade de geração de energia elétrica

Os investimentos em energia eólica no país intensificaram-se a partir do primeiro leilão específico para esta fonte, promovido em 14 de dezembro de 2009, e de sucessivos leilões desde então, de 2010 a 2015, no Ambiente de Contratação Regulado (ACR).

A Tabela 1 apresenta os resultados consolidados das capacidades de geração contratadas nos leilões realizados no ACR, além daquelas capacidades contratadas, diretamente com os empreendedores, no Ambiente de Contratação Livre (ACL). Destarte, nos leilões competitivos realizados no ACR, foram contratados 4,5 GW de potência – dos quais 1,6 GW foi contratado nos leilões de 2013 – que, somados ao valor de 0,98 GW de potência contratada diretamente no ACL, perfazem 5,5 GW, correspondendo a um quantitativo de 237 parques eólicos, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1

Capacidade de geração contratada no ACR e no ACL – Bahia – 2009-2015

Leilões (ACR)	Data	Potência contratada (MW)	Nº Parques
2º LER	14/12/2009	419,59	18
2º LFA	26/08/2010	180,00	6
3º LER	26/08/2010	275,40	10
LEN (A-3)	17/08/2011	274,80	11
4º LER	18/08/2011	170,20	7
LEN (A-5)	20/12/2011	150,00	5
LEN (A-5)	14/12/2012	48,90	2
5º LER	23/08/2013	533,60	28
LEN (A-3)	18/11/2013	64,50	4
LEN (A-5)	13/12/2013	979,45	41
6º LER	31/10/2014	362,50	16
LEN (A-5)	28/11/2014	448,50	17
3º LFA	27/04/2015	90,00	3
8º LER	13/11/2015	494,15	18

Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2016), Balanço Energético da Bahia (2016).
Elaboração própria.

Situação dos parques eólicos

Levando-se em consideração o estágio de implantação, os parques eólicos podem ser estratificados conforme as seguintes categorias: em operação comercial; em construção e em construção não iniciada. Logo, com base na Tabela 1, os parques eólicos estaduais contratados, até o término do ano de 2016, encontravam-se classificados conforme a Tabela 2.

Levando-se em consideração o estágio de implantação, os parques eólicos podem ser estratificados conforme as seguintes categorias: em operação comercial; em construção e em construção não iniciada

Quanto à localização espacial, os 237 parques eólicos contratados encontram-se distribuídos em 23 municípios, situados na região do semiárido baiano

Tabela 2

Estágio de implantação dos parques eólicos - Bahia - 2016

Estágio dos Parques Eólicos		
Estágio	Quantidade	Potência (MW)
Operação comercial	68	1.750,14
Em construção	72	1.536,30
Construção não iniciada	97	2.187,45

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração própria

É importante destacar que, em 2013, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 583, de 22 de outubro, que estabelece os procedimentos e condições para obtenção e manutenção da situação operacional de empreendimento de geração de energia elétrica. Foi definida nesta Resolução a nova condição operacional denominada “apta à operação comercial”, que foi conceituada como situação operacional em que a unidade geradora encontra-se preparada para produzir energia voltada aos compromissos comerciais ou para seu uso exclusivo, contudo, está impedida de disponibilizar sua potência instalada para o sistema, em razão de atraso ou restrição no sistema de transmissão ou distribuição (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).

No âmbito estadual, cinco parques eólicos – Cristal, Primavera, São Judas, Maniçoba e Esperança, totalizando 147,70 MW – enquadram-se na conceituação “apta à operação”, em função da situação das obras de conexão e linha de transmissão associada ao ponto de conexão dos parques na Subestação de Morro do Chapéu II – 69 kV. Entretanto, por motivos de simplificação e, principalmente, compatibilização das informações com aquelas presentes no Banco de Informações de Geração (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017b), os parques eólicos supracitados estão classificados dentro da rubrica “em construção”, conforme indicado na Tabela 2.

Quanto à localização espacial, os 237 parques eólicos contratados encontram-se distribuídos em 23 municípios, situados na região do semiárido baiano, a saber: Bonito, Brotas de Macaúbas, Brumado, Caetité, Cafarnaum, Campo Formoso, Casa Nova, Dom Basílio, Gentio do Ouro, Guanambi, Igaporã, Itaguaçu da Bahia, Licínio de Almeida, Morro do Chapéu, Mulungu do Morro, Orolândia, Pindaí, Riacho de Santana, Sento Sé, Sobradinho, Urandi, Várzea Nova e Xique-Xique.

Na Bahia, de acordo com a Tabela 3, a evolução da capacidade instalada de geração de energia elétrica a partir da fonte eólica- iniciada no ano de 2012 com a entrada em operação de três parques eólicos no

município de Brotas de Macaúbas, totalizando 95,19 MW – evidencia um crescimento exponencial, marcando definitivamente o processo de exploração das grandes potencialidades associadas às energias renováveis em território estadual.

Em 2016, conforme a Tabela 3 abaixo, 21 novos parques eólicos iniciaram operação comercial, somando 517,75 MW à potência instalada de geração de energia elétrica já existente. Desta forma, atingiu-se o patamar de 1.750,14 MW de potência eólica instalada, representando 16,3% do total do país, com 68 parques em funcionamento, o que significou um crescimento de 42,01% em relação ao ano de 2015, quando a capacidade instalada era de 1.232,39 MW, correspondente a 47 parques em operação.

Em 2016,
[...], 21 novos
parques eólicos
iniciaram
operação
comercial,
somando 517,75
MW à potência
instalada de
geração de
energia elétrica
já existente

Tabela 3

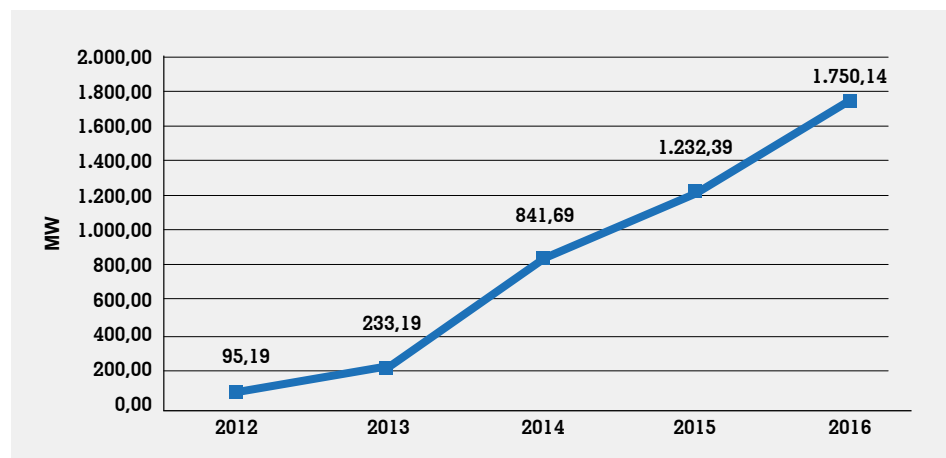
Evolução da capacidade instalada de geração a partir de fonte eólica - Bahia - 2012-2016

Itens	2012	2013	2014	2015	2016
Nº de parques eólicos	3	8	33	47	68
Capacidade instalada (MW)	95,19	233,19	841,69	1.232,39	1.750,14

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração própria

Gráfico 1

Evolução da capacidade instalada de geração e do número de parques eólicos em operação comercial Bahia - 2012-2016



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração própria.

A Tabela 4 a seguir apresenta a relação de todos os empreendimentos eólicos em operação no âmbito estadual, até o ano de 2016, com as respectivas datas de início de operação comercial, potências e localização.

Tabela 4
Parques eólicos em operação – Bahia – 2012-2016

Central Geradora Eólica	Operação Comercial	Potência (MW)	Município	Território de Identidade
Seabra	06/07/2012	30,06	Brotas de Macaúbas	Velho Chico
Macaúbas	06/07/2012	35,07	Brotas de Macaúbas	Velho Chico
Novo Horizonte	06/07/2012	30,06	Brotas de Macaúbas	Velho Chico
Pedra do Reino	04/02/2013	30,00	Sobradinho	Sertão de São Francisco
Pedra Branca	02/03/2013	30,00	Sento Sé	Sertão de São Francisco
São Pedro do Lago	02/03/2013	30,00	Sento Sé	Sertão de São Francisco
Sete Gameleiras	26/03/2013	30,00	Sento Sé	Sertão de São Francisco
Pedra do Reino III	07/06/2013	18,00	Sobradinho	Sertão de São Francisco
Alvorada	04/07/2014	8,00	Caetité	Sertão Produtivo
Candiba	04/07/2014	9,60	Guanambi	Sertão Produtivo
Igaporã	04/07/2014	30,40	Igaporã	Velho Chico
Planaltina	04/07/2014	27,20	Caetité	Sertão Produtivo
Porto Seguro	04/07/2014	6,40	Igaporã	Velho Chico
Rio Verde	04/07/2014	30,40	Caetité	Sertão Produtivo
Serra do Salto	04/07/2014	19,20	Guanambi	Sertão Produtivo
Pajeú do Vento	04/07/2014	25,60	Caetité	Sertão Produtivo
Guanambi	04/07/2014	20,80	Guanambi	Sertão Produtivo
Guirapá	04/07/2014	28,80	Guanambi	Sertão Produtivo
Ilhéus	04/07/2014	11,20	Igaporã	Velho Chico
Licínio de Almeida	04/07/2014	24,00	Guanambi	Sertão Produtivo
Nossa Senhora da Conceição	04/07/2014	28,80	Igaporã	Velho Chico
Pindaí	04/07/2014	24,00	Guanambi	Sertão Produtivo
Joana	26/09/2014	28,20	Igaporã	Velho Chico
Caetité 1	03/10/2014	30,00	Caetité	Sertão Produtivo
Caetité 2	08/10/2014	30,00	Caetité	Sertão Produtivo
Caetité 3	08/10/2014	30,00	Caetité	Sertão Produtivo
Emiliana	09/10/2014	28,20	Igaporã	Velho Chico
Tanque	11/10/2014	30,00	Caetité	Sertão Produtivo
Da Prata	11/10/2014	21,84	Igaporã	Velho Chico
Dos Araçás	11/10/2014	31,86	Caetité	Sertão Produtivo
Morrão	11/10/2014	30,24	Caetité	Sertão Produtivo
Seraíma	11/10/2014	30,24	Guanambi	Sertão Produtivo
Ventos do Nordeste	11/10/2014	23,52	Caetité	Sertão Produtivo
Ametista	04/03/2015	28,56	Caetité	Sertão Produtivo
Dourados	04/03/2015	28,56	Igaporã	Velho Chico
Pilões	04/03/2015	30,24	Caetité	Sertão Produtivo
Maron	04/03/2015	30,24	Caetité	Sertão Produtivo
Caetité A	09/09/2015	23,80	Caetité	Sertão Produtivo
Caetité B	09/09/2015	22,10	Caetité	Sertão Produtivo
Caetité C	09/09/2015	8,50	Caetité	Sertão Produtivo
Mussambê	14/10/2015	32,90	Sento Sé	Sertão de São Francisco
Morro Branco I	04/11/2015	32,90	Sento Sé	Sertão de São Francisco
Ventos da Andorinha	14/11/2015	30,00	Campo Formoso	Piemonte Norte do Itapicuru

(Conclusão)

Tabela 4

Parques eólicos em operação - Bahia - 2012-2016

Central Geradora Eólica	Operação Comercial	Potência (MW)	Município	Território de Identidade
Ventos de Morrinhos	14/11/2015	30,00	Campo Formoso	Piemonte Norte do Itapicuru
Dois Riachos	14/11/2015	30,00	Cafarnaum	Urecê
Baraúnas 1	20/11/2015	32,90	Sento Sé	Sertão de São Francisco
Ventos de Campo Formoso II	08/12/2015	30,00	Campo Formoso	Piemonte Norte do Itapicuru
Caetité	01/01/2016	30,24	Caetité	Sertão Produtivo
Espigão	01/01/2016	10,08	Igaporã	Velho Chico
Pelourinho	01/01/2016	21,84	Igaporã	Velho Chico
Serra do Espinhaço	01/01/2016	18,48	Caetité	Sertão Produtivo
Borgo	01/01/2016	20,16	Caetité	Sertão Produtivo
Ventos do Sertão	01/01/2016	30,00	Campo Formoso	Piemonte Norte do Itapicuru
Ventos de Campo Formoso I	23/01/2016	30,00	Campo Formoso	Piemonte Norte do Itapicuru
Angical	05/02/2016	12,95	Pindaí	Sertão Produtivo
Corrupião	05/02/2016	27,75	Pindaí	Sertão Produtivo
Inhambu	05/02/2016	31,45	Caetité	Sertão Produtivo
Teiu	05/02/2016	16,65	Pindaí	Sertão Produtivo
Tamanduá Mirim	15/02/2016	29,60	Pindaí	Sertão Produtivo
Caititu	16/02/2016	22,20	Pindaí	Sertão Produtivo
Coqueirinho	17/02/2016	29,60	Pindaí	Sertão Produtivo
Banda de Couro	10/03/2016	32,90	Sento Sé	Sertão de São Francisco
Baraúnas II	11/03/2016	25,85	Sento Sé	Sertão de São Francisco
Assuruá II	05/04/2016	30,00	Gentio do Ouro	Irecê
Assuruá VII	05/04/2016	18,00	Gentio do Ouro	Irecê
Assuruá V	07/04/2016	20,00	Gentio do Ouro	Irecê
Ventos de Guarás I	26/04/2016	30,00	Campo Formoso	Piemonte Norte do Itapicuru
Damascena	30/04/2016	30,00	Cafarnaum	Irecê

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração própria.

Considerando-se todas as demais fontes de geração de energia elétrica, o acréscimo de 517,75 MW em 2016, ocorrido na capacidade instalada da fonte eólica, elevou a participação desta na estrutura da matriz de geração de energia elétrica estadual para 18,26%, conforme registrado na Tabela 5 e no Gráfico 2.

Tabela 5

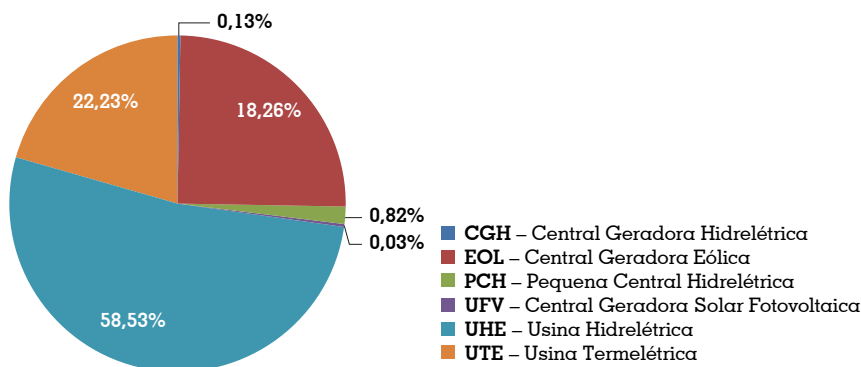
Matriz de geração de energia elétrica segundo as principais fontes e potências instaladas - Bahia - 2016

Empreendimentos em Operação			
Tipo	Quantidade	Potência (MW)	Participação (%)
CGH	16	12,26	0,13
EOL	68	1.750,14	18,26
PCH	6	78,77	0,82
UFV	2	2,51	0,03
UHE	10	5.608,56	58,53
UTE	105	2.130,43	22,23
Total	207	9.582,66	100,00

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração própria.

Gráfico 2

Estrutura da matriz de geração de energia elétrica segundo as principais fontes e potências instaladas Bahia - 2016

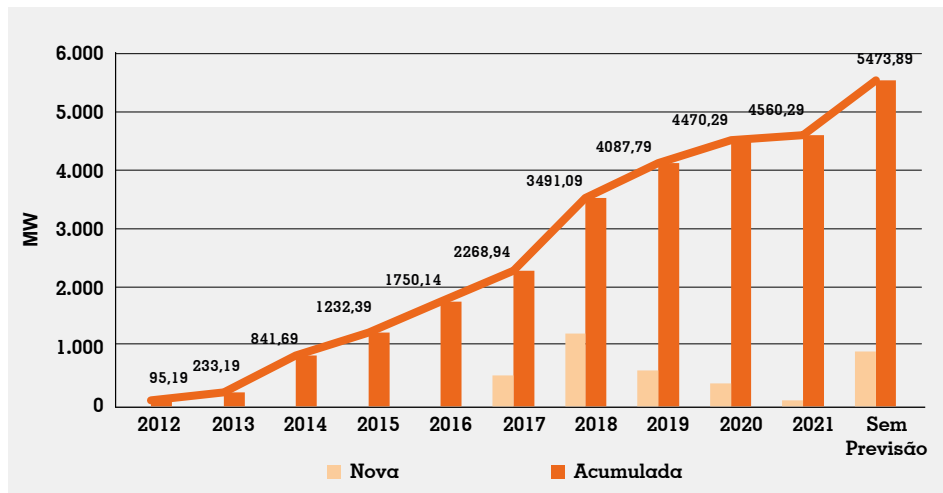


Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração própria.

A projeção da capacidade instalada e a previsão de crescimento da fonte eólica, com base nas contratações já realizadas nos leilões regulados e também no mercado livre (Tabela 1), são expressas no Gráfico 3.

Gráfico 3

Projeção da capacidade instalada de geração da fonte eólica - Bahia - 2012-2021



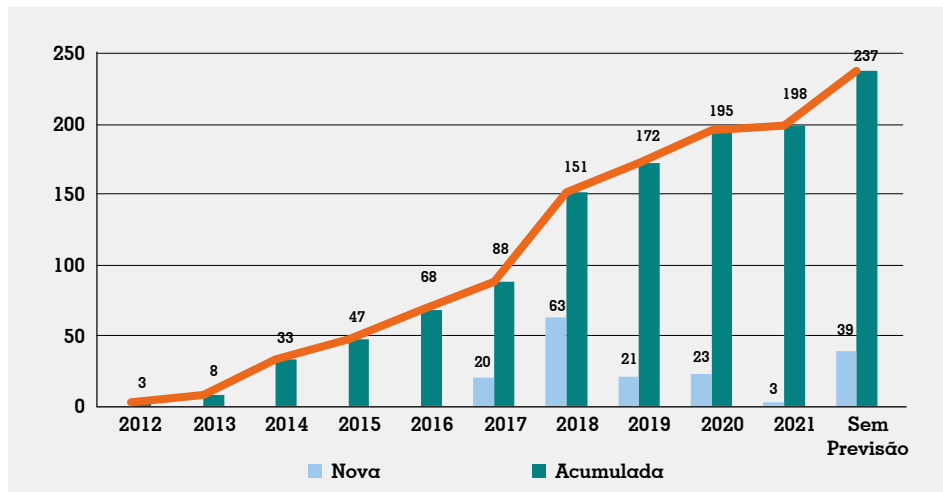
Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).

Elaboração própria.

O Gráfico 4 apresenta a evolução do número de parques eólicos associados à expansão prevista da capacidade instalada de geração.

Gráfico 4

Evolução do número de parques eólicos - Bahia - 2012-2021



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).

Elaboração própria.

Os parques sem previsão de entrada em operação comercial estão com as suas obras paralisadas.

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Em 2016, a geração de energia elétrica a partir da fonte eólica atingiu o valor de 6.247,97 GWh, representando 19,4% em termos nacionais e 22,3% da geração de energia do Nordeste, principal região produtora do país. A Tabela 6 e o Gráfico 5 registram esse crescimento no período 2012-2016.

Tabela 6

Geração de energia elétrica a partir da fonte eólica - Bahia - 2012-2016

Anos	Geração (GWh)	Varição (%)
2012	118,45	-
2013	775,44	554,7
2014	1.860,63	139,9
2015	4.168,77	124,1
2016	6.247,97	49,9

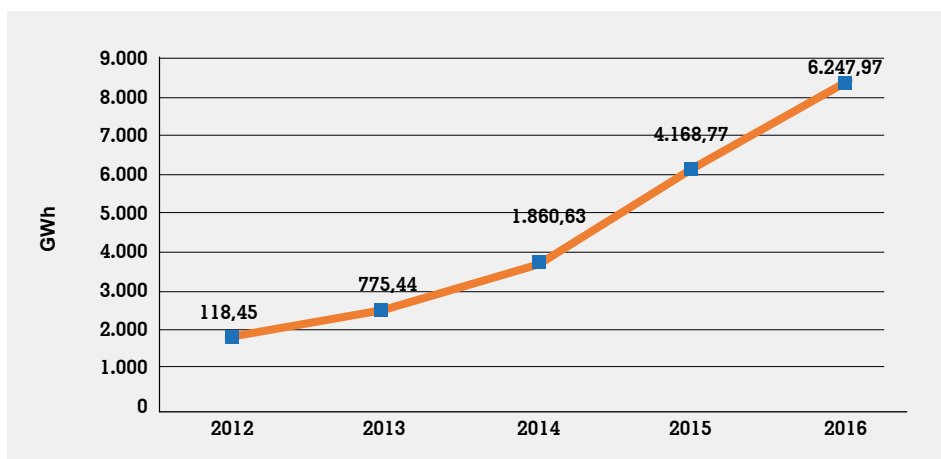
Fonte: ONS - Boletim Mensal de Geração Eólica (2017), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2017).

Elaboração própria.

Nota: as informações dos Boletins Mensais de Geração Eólica abrangem os dados compilados mensalmente, de janeiro a dezembro, para o período 2012-2016.

Gráfico 5

Evolução da geração de energia elétrica a partir de fonte eólica - Bahia - 2012-2016



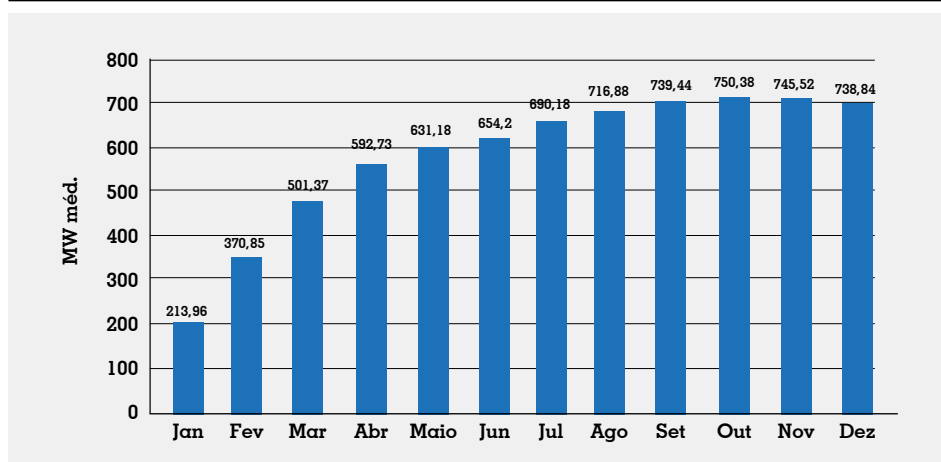
Fonte: ONS - Boletim Mensal de Geração Eólica (2017), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2017).Elaboração própria.

Nota: as informações dos Boletins Mensais de Geração Eólica abrangem os dados compilados mensalmente, de janeiro a dezembro, para o período 2012-2016.

A geração média de 2016 foi de 738,84 MW médios, e o seu valor máximo foi registrado em outubro, quando a geração atingiu a marca de 750,38 MW médios. O Gráfico 6 ilustra a geração média mensal verificada no decorrer de 2016.

Gráfico 6

Geração média de energia elétrica a partir de fonte eólica - Bahia - 2016



Fonte: ONS - Boletim Mensal de Geração Eólica (2017), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2017).
Elaboração própria.

Nota: as informações dos Boletins Mensais de Geração Eólica abrangem os dados compilados mensalmente, de janeiro a dezembro, para o período 2012-2016.

De acordo com o Balanço Energético da Bahia (2016), já é possível verificar a significativa representatividade atingida pela fonte eólica na estrutura da matriz estadual de geração de energia elétrica. Os dados da Tabela 7 mostram que a participação relativa da geração eólica evoluiu de 0,41%, em 2012, para 17,09%, em 2015, com um incremento de 227,7% ao ano no seu valor de geração.

Tabela 7

Matriz de geração de energia elétrica segundo as principais fontes - Bahia - 2012-2015

Fontes	2012		2013		2014		2015	
	Geração (GWh)	(%)	Geração (GWh)	(%)	Geração (GWh)	(%)	Geração (GWh)	(%)
Hidrelétrica	22.312,80	78,02	15.139,89	61,89	13.580,10	55,01	11.340,52	46,50
Termelétrica	6.165,41	21,56	8.547,55	34,94	9.242,51	37,44	8.874,06	36,39
Eólica	118,45	0,41	775,44	3,17	1.860,63	7,54	4.168,77	17,09
Solar	0,49	0,00	0,51	0,00	2,92	0,01	3,87	0,02
Total	28.597,15	100,00	24.463,39	100,00	24.686,16	100,00	24.387,21	100,00

Fonte: Balanço Energético da Bahia (2016).
Elaboração própria.

De acordo com o Balanço Energético da Bahia (2016), já é possível verificar a significativa representatividade atingida pela fonte eólica na estrutura da matriz estadual de geração de energia elétrica

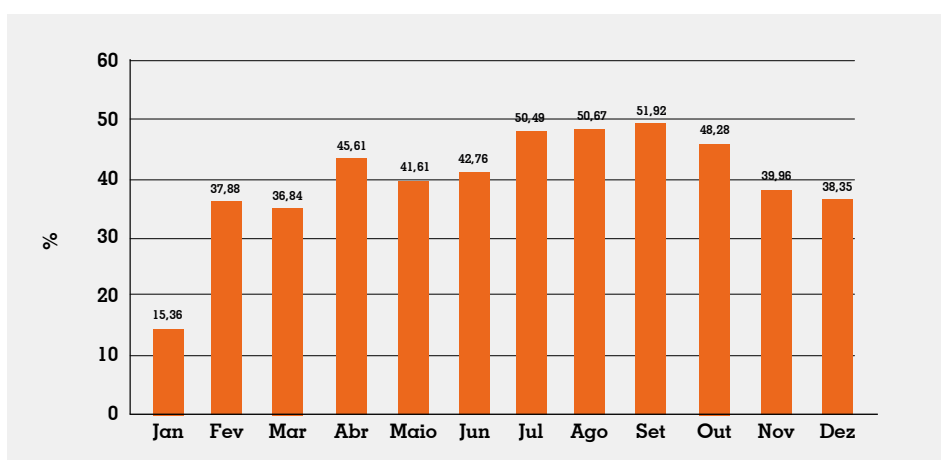
Cabe ainda ressaltar que, em picos instantâneos, o fator de capacidade dos parques eólicos, ao longo de 2016, atingiu valores superiores a 80%, como nos meses de maior geração de energia elétrica, em setembro e outubro

FATOR DE CAPACIDADE

O fator de capacidade da fonte eólica representa a proporção entre a geração efetiva do parque em um período de tempo e a capacidade total no mesmo intervalo. O valor médio para o ano de 2016 – considerando-se todos os parques eólicos em operação no território estadual – foi 42,2%. Esse resultado é extremamente significativo, pois aponta para um desempenho que é superior, comparativamente, àquele verificado em diversos países no mundo. O Gráfico 7 mostra o comportamento do fator de capacidade médio dos parques eólicos em 2016.

Gráfico 7

Fator de capacidade médio dos parques eólicos - Bahia - 2016



Fonte: ONS - Boletim Mensal de Geração Eólica (2017), Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração própria.

Nota: as informações dos Boletins Mensais de Geração Eólica abrangem os dados compilados mensalmente, de janeiro a dezembro, para o período 2012-2016.

Cabe ainda ressaltar que, em picos instantâneos, o fator de capacidade dos parques eólicos, ao longo de 2016, atingiu valores superiores a 80%, como nos meses de maior geração de energia elétrica, em setembro e outubro, conforme apresentado no item anterior, quando foram alcançados percentuais de 90% e 85%, respectivamente.

(Continua)

Tabela 8

Fator de capacidade por parque eólico - Bahia - 2016

Centrais Eólicas	Potência Instalada (MW)	Fator de Capacidade Estimado (%)	Geração		Geração Média (MW méd.)		Fator de Capacidade Verificado (%)	
			MW méd.	MWh	2015	2016	2015	2016
Macaúbas	35,07	38,21	174,10	127.502,40	16,31	14,51	46,50	41,37
Seabra	30,06	37,69	185,50	135.765,60	16,59	15,46	55,20	51,42
Novo Horizonte	30,06	36,49	180,50	132.112,80	16,43	15,04	54,67	50,04
Pedra Branca	30,00	40,67	165,24	120.897,11	14,66	13,77	48,87	45,90
São Pedro do Lago	30,00	45,00	150,82	110.369,29	13,62	12,57	45,40	41,89
Sete Gameleiras	30,00	42,00	148,00	108.358,04	13,45	12,33	44,82	41,11
Pedra do Reino	30,00	36,00	157,36	115.205,65	12,58	13,11	41,95	43,71
Pedra do Reino III	18,00	37,78	101,10	74.017,20	8,09	8,43	44,95	46,81
Alvorada	8,00	49,63	42,07	30.794,42	4,42	3,51	55,23	43,83
Candiba	9,60	44,58	48,29	35.319,79	4,59	4,02	47,78	41,92
Tanque	30,00	46,33	134,53	98.450,84	13,73	11,21	45,77	37,37
Igaporã	30,40	45,89	151,95	111.161,68	14,51	12,66	47,73	41,65
Caetité 2	30,00	37,33	175,09	128.079,01	15,48	14,59	51,60	48,64
Caetité 3	30,00	37,33	137,89	100.911,68	12,18	11,49	40,61	38,30
Da Prata	21,84	46,25	111,28	81.431,21	10,70	9,27	48,98	42,46
Araças	31,86	48,65	128,43	94.020,17	13,12	10,70	41,19	33,59
Emiliana	28,20	45,04	163,27	119.489,37	13,52	13,61	47,94	48,25
Joana	28,20	43,26	152,33	111.489,03	11,60	12,69	41,15	45,01
Morrão	30,24	53,24	158,60	116.002,23	16,88	13,22	55,81	43,71
Planaltina	27,20	45,11	167,13	122.283,93	15,44	13,93	56,77	51,20
Porto Seguro	6,40	42,66	27,11	19.794,85	3,50	2,26	54,73	35,30
Rio Verde	30,40	54,64	155,53	113.819,98	18,17	12,96	59,78	42,63
Seraíma	30,24	57,87	158,70	116.117,28	15,76	13,22	52,11	43,73
Serra do Salto	19,20	38,85	103,00	75.344,67	9,88	8,58	51,48	44,71
Ventos do Nordeste	23,52	42,94	119,83	87.668,33	12,17	9,99	51,74	42,46
Pajeú do Vento	25,60	46,09	159,17	116.465,67	14,95	13,26	58,40	51,81
Guanambi	20,80	40,77	98,23	71.856,97	9,43	8,19	45,32	39,35
Guirapá	28,80	47,22	157,08	114.894,31	14,40	13,09	50,01	45,45
Ilhéus	11,20	45,00	63,73	46.630,92	6,03	5,31	53,87	47,42
Licínio de Almeida	24,00	45,58	126,49	92.566,58	11,70	10,54	48,76	43,92
Nossa Senhora da Conceição	28,80	43,16	178,41	130.486,15	16,49	14,87	57,24	51,62
Pindaí	24,00	46,04	130,82	95.715,29	12,43	10,90	51,80	45,42
Caetité 1	30,00	37,33	158,42	115.949,31	13,82	13,20	46,07	44,01
Maron	30,24	50,93	96,23	70.356,89	12,64	8,02	41,79	26,52
Pilões	30,24	51,26	87,59	64.073,36	11,11	7,30	36,73	24,14
Ametista	28,56	48,67	83,02	60.736,11	10,44	6,92	36,54	24,22
Dourados	28,56	46,22	78,58	57.486,78	9,60	6,55	33,63	22,93
Caetité A	23,80	50,84	114,63	83.849,01	12,81	9,55	53,80	40,14
Caetité B	22,10	49,32	103,42	75.740,21	9,46	8,62	42,82	39,00
Caetité C	8,50	47,06	46,25	33.845,98	4,41	3,85	51,90	45,35
Mussambê	32,90	34,95	148,15	108.462,19	4,50	12,35	13,67	37,52
Ventos de Morrinhos	30,00	50,00	188,69	138.068,45	15,95	15,72	53,18	52,41
Dois Riachos	30,00	46,33	119,87	87.514,19	9,69	9,99	32,28	33,30

Tabela 8
Fator de capacidade por parque eólico - Bahia - 2016

Centrais Eólicas	Potência Instalada (MW)	Fator de Capacidade Estimado (%)	Geração		Geração Média (MW méd.)		Fator de Capacidade Verificado (%)	
			MW méd.	MWh	2015	2016	2015	2016
Baraúnas I	32,90	37,69	151,95	111.268,98	3,47	12,66	10,55	38,49
Morro Branco I	32,90	38,60	149,42	109.425,95	4,18	12,45	12,70	37,85
Ventos da Andorinha	30,00	53,00	199,45	145.932,65	15,74	16,62	52,46	55,40
Ventos de Campo Formoso II	30,00	51,67	196,31	143.636,19	16,32	16,36	54,39	54,53
Caetitê	30,24	48,61	144,39	105.547,95	-	12,03	-	39,79
Espigão	10,08	49,60	58,57	42.867,03	-	4,88	-	48,42
Pelourinho	21,84	54,03	99,85	73.124,06	-	8,32	-	38,10
Serra do Espinhaço	18,48	48,16	95,62	69.923,03	-	7,97	-	43,12
Borgo	20,16	48,12	98,88	72.308,34	-	8,24	-	40,87
Ventos do Sertão	30,00	52,33	168,08	123.059,63	-	14,01	-	46,69
Ventos de Campo Formoso I	30,00	51,70	170,31	124.755,72	-	14,19	-	47,31
Angical	12,95	46,33	39,98	29.341,62	-	4,00	-	30,87
Caititu	22,20	47,30	77,57	56.924,69	-	7,76	-	34,94
Coqueirinho	29,60	45,61	82,06	60.153,02	-	8,21	-	27,72
Corrupião	27,75	49,37	79,20	58.113,38	-	7,92	-	28,54
Inhambu	31,45	49,28	106,74	78.307,76	-	10,67	-	33,94
Tamanduá Mirim	29,60	45,95	79,47	58.256,70	-	7,95	-	26,85
Teiu	16,65	49,25	57,28	42.034,04	-	5,73	-	34,40
Assuruá II	30,00	48,67	190,77	140.079,99	-	19,08	-	63,59
Assuruá V	20,00	50,50	122,85	90.189,22	-	12,28	-	61,42
Assuruá VII	18,00	49,44	110,48	81.123,59	-	11,05	-	61,38
Banda de Couro	32,90	39,21	123,72	90.804,05	-	12,37	-	37,61
Baraúnas II	25,85	30,17	97,61	71.652,00	-	9,76	-	37,76
Ventos de Guarás I	30,00	53,00	154,27	113.374,55	-	17,14	-	57,14
Damascena	30,00	55,67	142,39	104.664,99	-	15,82	-	52,74

Fonte: ONS - Boletim Mensal de Geração Eólica (2017), Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração: própria.

Nota: as informações dos Boletins Mensais de Geração Eólica abrangem os dados compilados mensalmente, de janeiro a dezembro, para o período 2012-2016.

O Quadro 1 resume os principais indicadores de situação pertinentes aos parques eólicos em operação comercial, no ano de 2016, no estado da Bahia.

Quadro 1

Indicadores de situação da operação comercial dos parques eólicos - Bahia - 2016

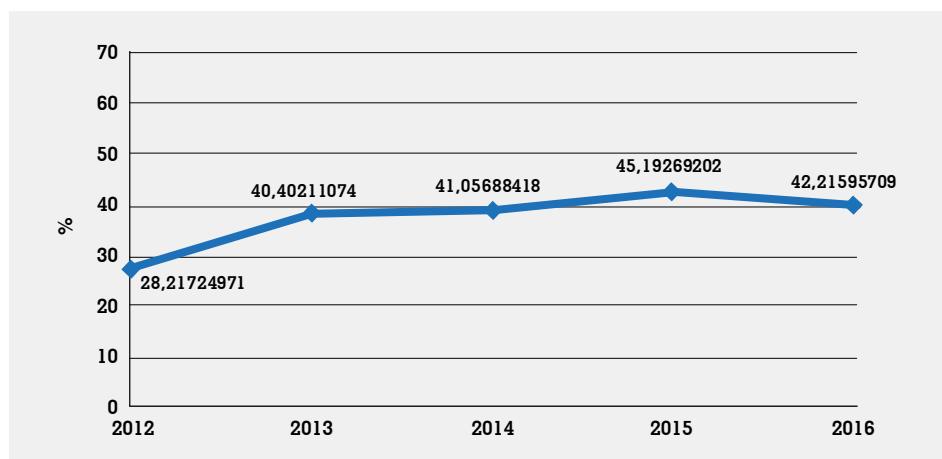
Bahia: Geração Eólica - Quadro síntese					
Potência instalada (MW)	Geração verificada (MWh)	Geração verificada (MWmed)	Fator de capacidade médio (%)	Parques em operação	2016
1.750,14	6.247.974,03	8.533,63	42,22	68	

Fonte: ONS - Boletim Mensal de Geração Eólica (2017), Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração própria.

Por fim, o Gráfico 8 apresenta o comportamento do fator de capacidade médio dos parques eólicos baianos para o período 2012-2016, que compreende a inserção da fonte eólica, no ano de 2012, a sua consolidação e a crescente participação na matriz estadual de geração de energia elétrica nos anos subsequentes.

Gráfico 8

Evolução do fator de capacidade dos parques eólicos - Bahia - 2012-2016



Fonte: ONS - Boletim Mensal de Geração Eólica (2017), Agência Nacional de Energia Elétrica (2017b).
Elaboração própria.

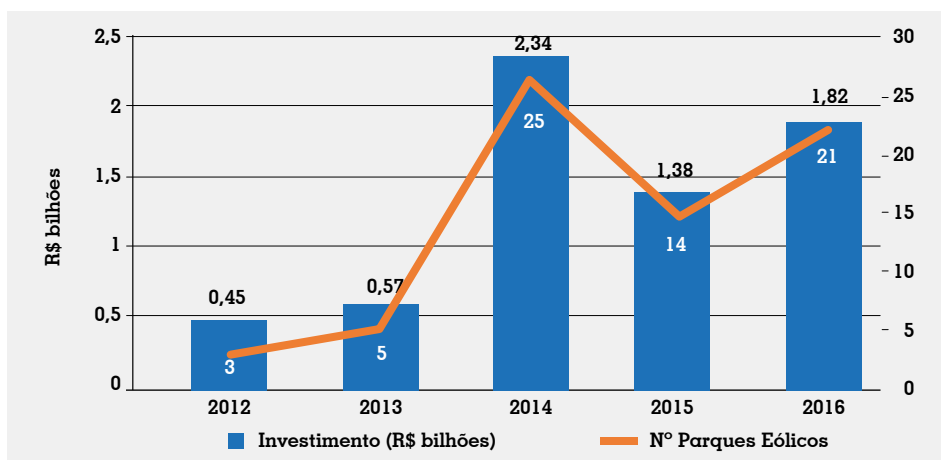
INVESTIMENTOS REPRESENTATIVOS NO SETOR DE EÓLICO

No ano de 2016 foram investidos R\$ 1,82 bilhão, representativos dos montantes aplicados na construção e entrada em operação comercial de 21 novos parques eólicos no plano estadual. De 2012 a 2016, estes valores atingiram o patamar de R\$ 6,57 bilhões, correspondentes à conclusão e ao funcionamento dos 68 parques eólicos indicados na Tabela 5. O Gráfico 9 detalha os investimentos de forma anualizada para o período em tela.

O Brasil atingiu, em 2016, um patamar que o coloca na nona posição do ranking mundial entre os principais países com maior capacidade instalada de geração eólica

Gráfico 9

Investimentos no setor eólico - Bahia - 2012-2016



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2017).
Elaboração própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até 2006, a geração de energia elétrica a partir do vento era praticamente inexistente no Brasil. O panorama começa a modificar-se a partir de 2009, com a realização de leilões para a contratação do fornecimento desse tipo de energia, no ambiente regulado. Em menos de uma década, portanto, com a intensificação dos investimentos, o Brasil atingiu, em 2016, um patamar que o coloca na nona posição do ranking mundial entre os principais países com maior capacidade instalada de geração eólica.

Assim, protagonizando toda esta evolução, destaca-se a Região Nordeste, respondendo por 84,7% de toda a energia elétrica gerada a partir desta fonte em território nacional, ao longo de 2016. Das cinco maiores unidades da Federação produtoras, quatro estão localizadas na região: Rio Grande do Norte (33,0%), Bahia (19,0%), Ceará (18,3%), Rio Grande do Sul (14,2%) e Piauí (9,1%).

A posição de primazia até agora ocupada pelo Rio Grande do Norte pode vir a ser superada, no decorrer dos próximos quatro anos, levando-se em consideração a projeção da capacidade instalada de geração da fonte eólica na Bahia. O estado atingiria, após 2021, o valor de 5.473,89 MW de potência - acréscimos provenientes de 169 parques eólicos já contratados que se encontram em construção ou com construção não iniciada, totalizando 3.723,75 MW- contra 4.635,4 MW previstos para o território potiguar.

O ano de 2016 também ficou marcado pelo cancelamento do Leilão de Reserva, que seria realizado no mês de dezembro, motivado pela queda da demanda de energia elétrica em decorrência da crise econômica e por indicações do governo federal sobre excedentes de energia no sistema. Portanto, caracterizou-se uma descontinuidade na expansão da energia eólica, visto que foi o primeiro ano em que não ocorreu contratação de nenhum novo empreendimento desde que esta fonte começou a participar da sistemática dos leilões.

Esta questão reveste-se de grande importância diante do desenvolvimento alcançado pela indústria no estabelecimento de uma cadeia produtiva – envolvendo a fabricação de torres, pás, hubs, nacelles, etc. – associada à geração eólica, com grandes investimentos. Assim, a retomada, por parte do governo, da realização de novos leilões e contratações seria, dentre outras medidas, essencial para a manutenção do investimento na cadeia produtiva da energia eólica, além de apontar para a continuidade da sua política de ampliação da participação das fontes renováveis na estrutura da matriz energética nacional.

Outra questão relevante a ser considerada nos próximos anos diz respeito à infraestrutura. O processo de construção de parques e usinas não tem sido acompanhado na mesma medida pela implantação de linhas de transmissão para o escoamento da energia gerada até os consumidores finais.

A Bahia já vivenciou de perto este problema com o Complexo de Alto Sertões I, com 14 parques eólicos, representando 294,40 MW. Previsto para operar já no decorrer do ano de 2012, o complexo somente foi liberado para a operação comercial em 2014, em virtude de atraso na linha de transmissão onde os parques se conectariam. Atualmente, no âmbito estadual, cinco parques eólicos, perfazendo 147,70 MW, encontram-se aptos à operação, mas enfrentam restrições para o funcionamento em virtude da situação das obras dos pontos de conexão destes ao sistema de transmissão.

Mais recentemente, devido ao anúncio de processo de recuperação judicial da empresa Abengoa – responsável pela construção de 996 km de linhas de transmissão (LT 500KV Gilbués II – Barreiras II – Sapeaçu) e uma subestação (SE Barreiras II 500 KV), passando por Barreiras e Bom Jesus da Lapa, e chegando até Sapeaçu no Recôncavo, com prazo de conclusão previsto para fevereiro de 2016 –, com a paralização das obras e a desmobilização dos canteiros no estado, descumprindo os prazos de conclusão anteriormente mencionados, o que se verifica é o agravamento do quadro de oferta de energia na região.

O processo de construção de parques e usinas não tem sido acompanhado na mesma medida pela implantação de linhas de transmissão para o escoamento da energia gerada até os consumidores finais

Fica patente, portanto, o grande desafio a ser enfrentado pelo país, de forma imediata, no que se refere ao sistema de transmissão, o qual demandará grandes esforços e um amplo debate, de forma a analisar seus gargalos e identificar possibilidades viáveis de equacionamento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Acompanhamento das centrais geradoras eólicas: expansão da oferta de energia elétrica*. jul. 2017a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/acompanhamento-da-expansao-da-oferta-de-geracao-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 7 ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Banco de Informações de Geração*. Brasília: ANEEL, 2017b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/ResumoEstadual.cfm>>. Acesso em: 7 ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução normativa nº 583, de 22 de outubro de 2013. Estabelece os procedimentos e condições para obtenção e manutenção da situação operacional e definição de potência instalada e líquida de empreendimento de geração de energia elétrica. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 05 nov. 2013. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013583.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2017.

BALANÇO ENERGÉTICO DA BAHIA 2016: série 1999-2015. Salvador: CODEN, 2016. Disponível em: <<http://www.infraestrutura.ba.gov.br/arquivos/File/publicacoes/beeba2016.zip>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

BOLETIM ANUAL DE GERAÇÃO EÓLICA. São Paulo: ABEEólica, 2013.

BOLETIM ANUAL DE GERAÇÃO EÓLICA. São Paulo: ABEEólica, 2014.

BOLETIM ANUAL DE GERAÇÃO EÓLICA. São Paulo: ABEEólica, 2015.

BOLETIM ANUAL DE GERAÇÃO EÓLICA. São Paulo: ABEEólica, 2016.

BRASIL. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. *Informações ao mercado: dados individuais*. 2016. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado?_adf.ctrl-state=nqm5qnc4b_4&_afLoop=856345238417714>. Acesso em: 13 fev. 2017.

BRASIL. Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Boletim mensal de geração eólica*: 2012-2016. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/pt/paginas/conhecimento/acervo-digital/documentos-e-publicacoes?categoria=Boletim+Mensal+de+Geraçã+Eólica>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

NORMAS PARA PUBLICAÇÃO

A revista *Bahia Análise & Dados*, editada pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), órgão vinculado à Secretaria do Planejamento do Estado da Bahia (Seplan), aceita colaborações originais, em português, inglês e espanhol, de artigos sobre os temas definidos nos editais publicados no site da SEI, bem como resenhas de livros inéditos que se enquadrem no tema correspondente.

Os artigos e resenhas são submetidos à apreciação do conselho editorial, instância que decide sobre a publicação. A editoria da SEI e a coordenação editorial da edição reservam-se o direito de sugerir ou modificar títulos, formatar tabelas e ilustrações, dentre outras intervenções, a fim de atender ao padrão editorial e ortográfico adotado pela instituição, constante no Manual de Redação e Estilo da SEI, disponível no site www.sei.ba.gov.br, menu “Publicações”. Os artigos ou resenhas que não estiverem de acordo com as normas não serão apreciados. O autor terá direito a um exemplar do periódico em que seu artigo for publicado.

PADRÃO PARA ENVIO DE ARTIGOS OU RESENHAS

- Artigos e resenhas devem ser enviados, preferencialmente, através do site da revista, opção “Submissão”, ou pelo e-mail definido no edital, para a coordenação editorial daquele número.
- Devem ser apresentados em editor de texto de maior difusão (Word), formatados com entrelinhas de 1,5, margem esquerda de 3 cm, direita e inferior de 2 cm, superior de 3 cm, fonte Times New Roman, tamanho 12.
- Devem ser assinados, preferencialmente, por, no máximo, três autores.
- É permitido apenas um artigo por autor, exceto no caso de participação como coautor.
- O autor deve incluir, em nota de rodapé, sua identificação, com nome completo, titulação acadêmica, nome da(s) instituição(ões) a que está vinculado, e-mail, telefone e endereço para correspondência.
- Os artigos devem conter, no mínimo, 15 páginas e, no máximo, 25, e as resenhas, no máximo, três páginas.
- Devem vir acompanhados de resumo e *abstract* contendo de 100 a 250 palavras, ressaltando o objetivo, a metodologia, os principais resultados e a conclusão. Palavras-chave e *keywords* devem figurar abaixo, separadas por ponto e finalizadas também com ponto.
- Apresentar padronização de título, de forma a ficar claro o que é título e subtítulo. O título deve se constituir de palavra, expressão ou frase que designe o assunto ou conteúdo do texto. O subtítulo, apresentado em seguida ao título e dele separado por dois pontos, visa esclarecê-lo ou complementá-lo.
- As tabelas e demais ilustrações (desenhos, esquemas, figuras, fluxogramas, fotos, gráficos, mapas etc.) devem estar numeradas consecutivamente, com algarismos arábicos, na ordem em que forem citadas no texto, com os títulos, legendas e fontes completas, e localizadas o mais próximo possível do trecho a que se referem.
- Tabelas e gráficos devem ser enviados em programa de planilhas de maior difusão (Excel). Fotografias e ilustrações escaneadas devem apresentar resolução de 300 dpi (CMYK), com cor real e salvas na extensão TIFF.
- As citações de até três linhas devem estar entre aspas, na sequência do texto. As citações com mais de três linhas devem constar em parágrafo próprio, com recuo da margem de 4 cm, fonte 10, espaço simples, sem aspas e identificadas pelo sistema autor-data (NBR 10520 da ABNT).
- Quando da inclusão de depoimentos dos sujeitos, apresentá-los em parágrafo distinto do texto, entre aspas, com letra e espaçamento igual ao do texto e recuo esquerdo, de todas as linhas, igual ao do parágrafo.
- As notas de rodapé devem ser explicativas ou complementares, curtas, numeradas em ordem sequencial, no corpo do texto e na mesma página em que forem citadas.
- As referências devem ser completas e precisas, segundo as Normas Brasileiras para Referências Bibliográficas – NBR 6023 da ABNT.

Todos os números da Bahia Análise & Dados podem ser visualizados no site da SEI (www.sei.ba.gov.br) no menu “Publicações”.

Colaboraram nesse número:

ALDO DE FREITAS PINHEIRO

ALESSANDRA M. L. BARROS

ANDERSON GOMES DE OLIVEIRA

ARTHUR DE OLIVEIRA UCHOA

CARINE TONDO ALVES

CLEIDE DAIANE SOUSA DA CRUZ

DANILO LAERT LAGO BRITO

EDNILDO ANDRADE TORRES

EMANUELLA OLIVEIRA DIAS

FÁBIO MATOS FERNANDES

FELIPE BARROCO FONTES CUNHA

FRANCK DANTAS SANTOS

GABRIEL CARVALHO DÜRR

JOÃO VICTOR BRICIDIO ARARIBA

JOSÉ AIRTON DE MATTOS CARNEIRO JUNIOR

JOSÉ ALEXANDRE FERRAZ DE ANDRADE SANTOS

JOSÉ ÂNGELO SEBASTIÃO ARAÚJO DOS ANJOS

JOSÉ ANTONIO LOBO DOS SANTOS

LUANA F. G. PAIVA

LUÍS OSCAR MARTINS

MARCELA MAGALHÃES MARCELINO

MARCELO SANTANA SILVA

MARIA CRISTINA FEDRIZZI

MARIANA TRALDI

OSVALDO SOLIANO PEREIRA

PASCOAL DO SACRAMENTO ARAÚJO JÚNIOR

PAULO ROBERTO FERREIRA DE MOURA BASTOS

ROBERTO ANTÔNIO FORTUNA CARNEIRO

SAULO J. N. CISNEIROS

SÍLVIO ALEXANDRE BEISL VIEIRA DE MELO

TEREZA MOUSINHO REIS

THIAGO AWAD PRUDENTE



Estado da Bahia