

OPORTUNIDADES PARA A DIFUSÃO DA ENERGIA EÓLICA E SOLAR EM SISTEMAS ISOLADOS NO BRASIL: BARREIRAS E FACILIDADES EVIDENCIADOS NA LITERATURA

OPPORTUNITIES FOR THE DIFFUSION OF WIND AND SOLAR ENERGY IN SYSTEMS ISOLATED IN BRAZIL: BARRIERS AND FACILITIES EVIDENCED IN THE LITERATURE

ANNY KEY DE SOUZA MENDONÇA, Dra. | UFSC
ANTONIO CEZAR BORNIA, Dr. | UFSC

RESUMO

Com a intenção de ampliar a produção de energia limpa e sustentável, o Brasil adotou várias estratégias para incentivar a geração de energia renovável. Esta pesquisa tem como objetivo analisar as oportunidades para a difusão da energia eólica e solar em sistemas isolados no Brasil, bem como mapear os instrumentos regulatórios, e de incentivos do setor elétrico. Para a consecução destes objetivos, realiza-se pesquisa bibliográfica e documental, bem como a revisão da literatura relacionada ao tema. Conclui-se que embora o Brasil tenha desenvolvido várias regulamentações para o setor elétrico, à falta de planejamento do setor e de execução das políticas públicas, dificulta o desenvolvimento de cadeia produtiva nacional, criando várias barreiras para sua difusão.

PALAVRAS CHAVE: Energia eólica; Aerofólios cabeados; Energia solar; Política energética; Sistemas isolados

ABSTRACT

With the intention of increasing the production of clean and sustainable energy, Brazil has adopted several strategies to encourage the generation of renewable energy. This research aims to analyze the opportunities for the diffusion of wind and solar energy in isolated systems in Brazil, as well as to map the regulatory instruments and incentives of the electric sector. In order to achieve this objective, bibliographical and documentary research is carried out, as well as the literature review related to the theme. It is concluded that although Brazil has developed several regulations for the electric sector, lack of planning of the sector and implementation of public policies, it hinders the development of the national productive chain, creating several barriers for its diffusion.

KEY WORDS: Wind Energy; Wired airfoils; Solar energy; Energy Policy; Isolated Systems



1. INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial está passando por profundas transformações. Os recursos convencionais de combustível, estão esgotando-se rapidamente, e parecem não ser capazes de atender à demanda crescente de eletricidade no futuro, além de que, a poluição causada por esses recursos trazem preocupações ambientais (MAHESH E SANDHU, 2015).

Em virtude da crescente necessidade de eletricidade pela sociedade, sobretudo, nos países em desenvolvimento, o estabelecimento de novas políticas energéticas passam a ser um grande desafio (BANOS *et al.*, 2011). Se por um lado o crescimento populacional e das economias dos países exigem um aumento na oferta de energia, por outro lado a crescente preocupação com o meio ambiente e com as mudanças climáticas causada pela ação do homem sobre o planeta, impõem restrições na nova composição da matriz energética, sobretudo com ênfase nas estratégias de economia de energia e na sustentabilidade (DOVÍ *et al.*, 2009; KAYGUSUZ, 2009; FRIEDLER, 2010).

O acesso à eletricidade está profundamente ligada ao desenvolvimento humano. No entanto, um grande percentual da população mundial ainda não tem acesso à eletricidade e seu potencial benefício. De acordo com dados presentes no Energy Access Outlook 2017 (IEA, 2017), estima-se que 1,1 bilhão de pessoas, 14% da população mundial não tenha acesso à eletricidade. Aproximadamente 84% da população que não têm acesso à eletricidade, residem em áreas rurais e vivem em países em desenvolvimento. Inúmeros são os benefícios que a eletrificação rural pode trazer a uma comunidade com forte influência no índice de desenvolvimento humano (IDH). Hoje, muitas comunidades rurais, exploram a madeira, velas e querosene para suprir suas necessidades energéticas e a biomassa para cozinhar (IEA, 2017).

No Brasil, o acesso à eletricidade é um direito de todos e estabelecido pela Lei 10.438 de abril de 2002 (ANEEL, 2003). Em novembro de 2003, foi criado o Decreto n. 4.873 que instituiu o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, "LUZ PARA TODOS" com o objetivo de suprir 100% da população brasileira até 2008 (ANEEL, 2003). No entanto, este objetivo não foi alcançado. De acordo com o último censo demográfico brasileiro realizado em 2010, cerca de 716.000 residências ainda não tinham acesso à eletricidade (IBGE, 2010). O programa "LUZ PARA TODOS" foi prorrogado para 2018, agora com o objetivo restrito à eletrificação de comunidades isoladas através de sistemas off-grid.

Este artigo tem por objetivo contextualizar a matriz energética brasileira e analisar as oportunidades para a difusão da energia eólica e solar em sistemas isolados, bem como mapear os instrumentos regulatórios, e de incentivos do setor elétrico, expondo ações que possam resolver problemas econômicos, técnicos e regulatórios que talvez sejam entraves para a geração de energia elétrica em localidades isoladas. Estimulando os negócios do setor energético, com benefícios ao desenvolvimento do país como um todo.

A metodologia é baseada em levantamento de pesquisa bibliográfica e documental. Embora muitas pesquisas se concentrem em sistemas fotovoltaicos, muitas conclusões podem ser úteis para outros sistemas de energia renovável. O artigo está organizado da seguinte forma: em primeiro lugar, é feita uma descrição dos sistemas de energias renováveis em sistemas isolados – sistemas eólicos, solar fotovoltaico e híbrido na Seção 2; o mercado de energia elétrica, a estrutura política funcional dos agentes do setor elétrico brasileiro, o ambiente de comercialização, os modelos utilizados para avaliar o comportamento estratégico de agentes de mercado e sua regulamentação, incentivos e barreiras são apresentados na Seção 3; e na Seção 4, é apresentada uma proposta para o desenvolvimento de sistemas híbridos em sistemas isolados. Finalmente, na seção 5 é apresentada a conclusão.

2. SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM SISTEMAS ISOLADOS

Os sistemas de energias renováveis são fontes que possuem ampla disponibilidade na natureza, como por exemplo, a energia eólica, a solar, a biomassa, a de mares, a geotérmica, dentre outros, e que sua utilização para a geração de energia não produz poluição por queima de combustíveis fósseis, emissões de gases de efeito estufa ou radiação. A geração de energia eólica e solar fotovoltaica são uma das mais poderosas e promissoras fontes de energias renováveis e ambientalmente amigável, sem custos com combustíveis (ARGATOV E SHAFRANOV, 2016). Os sistemas de energias renováveis em sistemas isolados são sistemas de energia elétrica que não estão conectados à rede de distribuição, nomeadamente, ao Sistema Interligado Nacional -SIN. Normalmente, no Brasil os sistemas isolados são microrredes de energia elétrica que operam de maneira ilhada e apresentam como principal solução o uso de sistemas de geração a diesel (ANEEL, 2012a). No entanto, com a evolução nos custos dos sistemas de geração de energia eólica e solar fotovoltaica criou-se a oportunidade de reduzir os custos gerais de suprimento e implantar uma alternativa ambientalmente correta e mais sustentável.

2.1. Sistemas de energia eólica

A energia cinética do vento pode ser explorada na geração de eletricidade por meio de turbinas eólicas ou aerofólios cabeados acoplados a geradores elétricos embarcados ou em solo. A geração de energia eólica é uma poderosa e promissora fonte de energia renovável, seu potencial energético global foi avaliado em (ARCHER E CALDEIRA, 2009; ARCHER *et al.*, 2014). Mundialmente, a energia eólica vem ganhando destaque e (AHRENS *et al.*, 2013) aponta três principais razões para o seu desenvolvimento:

- O vento, assim como o sol, é uma das poucas fontes de energias renováveis que podem suprir a necessidade energética da humanidade como um todo;
- Dispositivos eólicos (turbinas e mais expressivamente aerofólios cabeados) podem atingir altitudes maiores aproveitando-se de ventos mais fortes e constantes;
- Mudanças tecnológicas nas turbinas eólicas e o avanço das pesquisas com aerofólios cabeados desempenharam um papel fundamental para a redução dos custos dos sistemas.

À medida que mais e maiores parques eólicos são construídos e a tecnologia avança, os custos da tecnologia lentamente serão reduzidos (SWISHER *et al.*, 2001). É bem conhecido na literatura que a energia disponível no fluxo de vento para a geração de energia, não aumenta apenas linearmente com a velocidade do vento, mas sim, com o cubo da velocidade do vento (ARCHER E CALDEIRA, 2009; ARCHER *et al.*, 2014). Uma importante avaliação econômica da geração de energia eólica está associada à quantidade de energia que pode ser extraída do fluxo de vento a uma altura específica (por exemplo, à 80, à 150 metros do solo ou mais). Recentemente, uma avaliação econômica de um sistema de turbinas eólicas e aerofólios cabeados em grande escala foi desenvolvido por (DE LELLIS *et al.*, 2016) com base em métodos estabelecidos para sistemas convencionais de conversão de energia eólica.

A expansão da oferta de energia elétrica foi estimulada com a criação da Lei 10.438 (BRASIL, 2002), e ampliado pelo decreto nº 4.873 que instituiu o programa nacional de universalização do acesso e uso da energia elétrica, denominado “Luz para todos” (ANEEL, 2003). Os sistemas isolados de energia obtiveram seus primeiros incentivos com a Lei nº 12.111 de 2009, que determinou o atendimento da totalidade dos seus mercados por meio de licitação, na modalidade de concorrência ou leilão, a ser realizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL (BRASIL,

2009). Outro incentivo foi a resolução normativa n. 493 de 2012, que estabeleceu os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de microsistemas isolados de geração e distribuição de energia elétrica ou sistema individual de geração de energia elétrica com fonte intermitente (ANEEL, 2012a). A energia eólica recebeu incentivos em 2012 através da possibilidade de conexão à rede de distribuição e com a participação no sistema de compensação de energia elétrica, regulamentados pela REN 482/12 (ANEEL, 2012b).

2.2 Sistemas fotovoltaicos

O Brasil é um mercado bem desenvolvido para energias renováveis em geral e em desenvolvimento para a energia solar fotovoltaica em particular. Os painéis solares podem ser combinados com geração a diesel para redução do consumo de combustíveis fósseis, ou até eliminá-los quase por completo ao incorporar sistemas de armazenamento. A resolução normativa n. 482 de 2012 da ANEEL (ANEEL, 2012b), permitiu o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de energia elétrica nacional. A microgeração e a minigeração de energia compreende um sistema gerador de energia elétrica próprio, oriundo de fontes renováveis como solar, eólica, biomassa, hidráulica ou cogeração quantificada com potência:

- Microgeração distribuída: Sistema gerador de energia elétrica, com potência instalada inferior ou igual a 75 kW (Redação dada pela REN ANEEL 687, de novembro 2015);
- Minigeração distribuída: Sistema gerador de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW (Redação dada pela REN ANEEL 786, de outubro de 2017).

Os painéis fotovoltaicos produzidos em larga escala são desenvolvidos com silício mono-cristalino e multi-cristalino, sua eficiência de conversão aumentou aproximadamente de 12 para 17% nos últimos dez anos (FRAUNHOFER, 2014). A energia solar representa na matriz energética brasileira, aproximadamente 1% de capacidade total de geração (ANEEL, 2018b). Apesar de possuir um grande potencial para geração de energia a partir da radiação solar, muito pouco é aproveitado. Para exemplificar, no local menos ensolarado no Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, que é um dos líderes no uso da energia solar fotovoltaica no mundo (IDEAL, 2018). Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, a incidência

diária de radiação solar que poderia ser aproveitada para geração de energia no país é de aproximadamente 4.444 a 5.483 Wh/m². A energia solar pode ser considerada uma opção para alimentar a indústria, nossas casas, edifícios e sistemas isolados.

2.3 Sistemas híbridos eólico/solar fotovoltaico

Sistemas híbridos são sistemas que utilizam mais de uma fonte de geração de energia elétrica como por exemplo, turbinas eólicas, aerofólios cabeados, módulos fotovoltaicos, gerador a diesel, baterias, e etc. Os sistemas de energia eólica e solar funcionam normalmente em modo isolado, ou conectado à rede, sendo o sistema mais difundido devido à sua natureza de geração limpa que favorece ao meio ambiente (MAHESH E SANDHU, 2015). No entanto, a eficiência dessas fontes de geração de energia é menor devido à natureza estocástica dos recursos eólicos e solares.

Os Sistemas híbridos de energias renováveis (HRES) são uma combinação de duas ou mais fontes de energia renovável incorporado à rede de distribuição ou em sistemas isolados (off-grid) que superam a desvantagem de ser uma fonte de natureza imprevisível. De acordo com (KHARE *et al.*, 2016), estes sistemas tem capacidade de operação com menor risco de interrupção, assegurando maior confiabilidade quando comparados aos sistemas que possuem um único tipo de gerador, pois tem a possibilidade de uma fonte de geração suprir a falta da outra ou mesmo à menor geração temporária de outra fonte devido as características de complementaridade. Normalmente, os sistemas híbridos apresentam características de sistemas isolados e incorporam os seguintes equipamentos:

- Aerogeradores, turbinas hidráulicas, módulos fotovoltaicos – tecnologias de conversão de fontes renováveis;
- Geradores a diesel, a gás natural ou a gasolina – tecnologia de conversão de fontes não renováveis;
- Banco de baterias – subsistema de armazenamento de energia elétrica;
- Controladores de carga, Inversores de tensão e retificadores – sistema de condicionamento de potência.

O HRES, que combina recursos de energia eólica e solar, opera em dois modos, simultâneo e sequencial. No modo simultâneo, o sistema de geração eólico e solar produzem energia simultaneamente, enquanto que no modo sequencial, a geração ocorre alternadamente (ELHADIDY E SHAAHID, 2004).

3. MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA

O mercado de energia elétrica no Brasil de acordo com (ZUCARATO, 2003), enfrenta desafios diários para se desenvolver e melhorar, de modo a oferecer eficiência e desenvolvimento econômico por meio da competitividade e da sustentabilidade. O preço da eletricidade, deixou de ser praticado em função dos custos, e começou a ser guiado por forças econômicas, onde a eletricidade passou a ser analisada como uma commodity competitiva, dos quais os preços são resultados de leis de mercado (HOGAN, 1998; ILIC *et al.*, 2013; SCHWEPPE *et al.*, 2013).

O mercado apresenta diferentes arranjos competitivos de formação de preços, os quais estão ligados a sua própria característica de mercado. No entanto, os mercados de energia desregulamentados, independentemente do arranjo competitivo, possuem necessidades de métodos quantitativos e qualitativos orientados para avaliar o mercado, incluindo a investigação do comportamento de seus agentes e como suas relações induzem o desempenho do mercado. São apresentados na Tabela 1, dois modelos econômicos de mercado de eletricidade para formação de preço, que permitem aos agentes controle sobre as atividades comerciais.

| | |
|-------------------------------|---|
| <p>Modelo de mercado Pool</p> | <p>Neste modelo as transações envolvendo a eletricidade são feitas no curto prazo, já no mercado futuro as transações envolvidas são feitas no médio e longo prazo. O ambiente de mercado <i>pool</i> envolve basicamente três tipos de sub-mercados: mercados do dia seguinte (fechado com 24 ou 38 horas de antecedência), mercados de ajuste intra-diários, e os mercados de tempo real ou equilíbrio (divergem quanto ao número de fechamento diários e a antecedência) O <i>pool</i> tem como objetivo minimizar o custo total do sistema, podendo ser classificado como dois mecanismos distintos, modelo de despacho e formação de preço: a) baseados em custos e b) baseados em ofertas. No modelo de despacho e formação de preço baseados em custos - os agentes de geração fornecem dados técnicos sobre suas usinas, que incluem os custos variáveis de operação e suas disponibilidades, ou indicam a disponibilidade de suas usinas ao operador do mercado, sendo que nenhuma oferta de preço é considerada. No modelo de despacho e formação de preço baseados em ofertas - os agentes vendedores submetem ao <i>pool</i>, suas ofertas de preço e quantidade de energia que estão dispostos a vender. Os vendedores competem pelo direito de suprir energia ao sistema. Os consumidores também podem participar fazendo ofertas de preço e quantidade a que estão dispostos a comprar de energia.</p> |
| <p>Modelo Bilateral</p> | <p>Os agentes estabelecem contratos de compra e venda de energia sem a necessidade de submetê-los ao <i>pool</i>, os contratos são estabelecidos diretamente entre consumidores e geradores, sem interferência, onde as quantidades e os preços são especificados entre as partes. Todas as transações bilaterais devem ser comunicadas ao operador do sistema, que analisa as contratações para cada período e determina sob certas regras, quais contratos são viáveis para serem despachados de acordo com as configurações e restrições da rede de transmissão.</p> |

Tabela 1 – Modelos econômicos de mercado de eletricidade para formação de preço.
 Fonte: Adaptado de (ZUCARATO, 2003; CONEJO *et al.*, 2010)

3.1. Estrutura Política Funcional dos Agentes do Setor Elétrico Brasileiro

A reestruturação do sistema elétrico brasileiro, foi concebida sob um ideal de equilíbrio institucional entre agentes de governo, agentes públicos e privados. Esta reestruturação introduziu novas instituições na estrutura política do setor elétrico brasileiro como mostra a Figura 1.

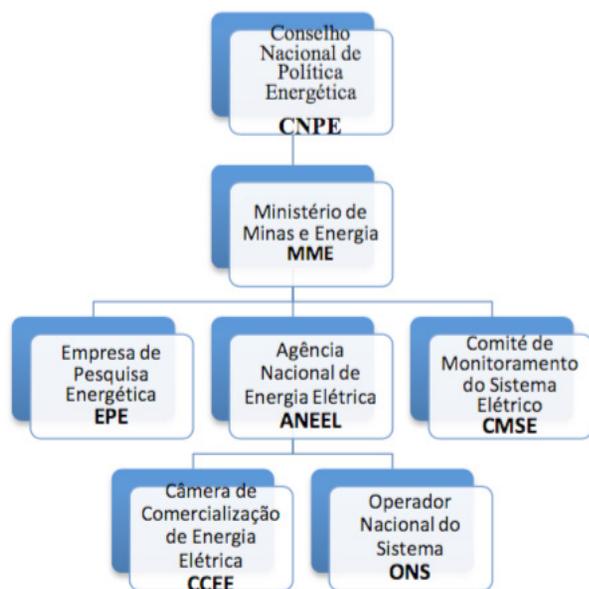


Figura 1 – Estrutura Organizacional do Setor Elétrico Brasileiro.
Fonte: Adaptado de (CCEE, 2018).

As principais alterações e funções atribuídas às instituições existentes são:

- Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) - órgão vinculado à Presidência da República e presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, tem como principais atribuições formular políticas e diretrizes de energia e assegurar o suprimento energético em todas as regiões no país, sendo responsável por revisar periodicamente as matrizes energéticas das diversas regiões do país e estabelecer diretrizes para programas específicos, como os de uso do gás natural, do álcool, da biomassa, do carvão e da energia termonuclear, além de estabelecer diretrizes para a importação e exportação de petróleo e gás natural (CNPE, 2018);
- Ministério de Minas e Energia (MME) - órgão da administração do Governo Federal representa a União como Poder Concedente, criou por meio da Lei n.9.478 o CNPE, é responsável pela condução das políticas energéticas do país, tendo como principais competências a formulação e implementação de políticas para o setor energético, bem como estabelecer o

planejamento do setor energético nacional, monitorar a segurança do suprimento energético e definir ações preventivas para restauração da segurança de suprimento no caso de desequilíbrio entre oferta e demanda de energia de acordo com as diretrizes definidas pelo CNPE (MME, 2018);

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)- criada pela Lei nº 9.427/1996, é uma entidade governamental vinculada ao Ministério de Minas e Energia, encarregada da regulação e fiscalização das atividades voltadas ao setor elétrico, como geração, transmissão, distribuição, comercialização, entre outras. Permite outorgas de concessões, permissões e autorizações de novas instalações e serviços de energia elétrica, sendo responsável por garantir a modicidade tarifária, por estimular a competição e o uso eficiente da energia elétrica pelos agentes de mercado (ANEEL, 2018a);
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) - entidade privada sem fins lucrativos, cujas principais atribuições foram definidas como operar, supervisionar e controlar a operação do sistema, efetuar o despacho centralizado da geração, propor ampliações e reforços nas instalações que compõem o Sistema Interligado Nacional (ONS, 2018).

As principais alterações e funções atribuídas às novas instituições são:

- Empresa de Pesquisa Energética (EPE) - tem como função principal elaborar estudos de longo prazo no que se refere a definição da Matriz Energética, incluindo também, elaborar estudos de planejamento da expansão do setor elétrico - geração e transmissão, elaborar estudos de viabilidade de empreendimentos de geração e obtenção de Licença Prévia Ambiental junto aos órgãos competentes (EPE, 2018);
- Comitê de Monitoramento de Setor Elétrico (CMSE) - responsável pelo monitoramento das atividades relacionadas ao setor elétrico, tais como, acompanhar o desenvolvimento das atividades de geração, transmissão, distribuição, comercialização, bem como propor ações ao Comitê Nacional de Política Energética no sentido de otimizar o uso da energia e minimizar o seu custo aos consumidores finais (CMSE, 2018);
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) - foi criada pela Lei nº 10.848/2004, é uma entidade privada sem fins lucrativos e sob regulação e fiscalização da ANEEL, sucedeu ao Mercado Atacadista

de Energia - MAE, absorvendo todas as suas funções, tem por finalidade possibilitar a comercialização de energia elétrica entre concessionários, permissionários, autorizados de serviços e instalações de energia elétrica, bem como promover leilões de compra e venda de energia elétrica para as distribuidoras, exercer as funções de contabilização e liquidação do mercado de curto prazo nos ambientes de contratação livre e regulado (CCEE, 2018).

3.2 Ambiente de Comercialização

Com a finalidade de garantir a expansão da oferta de energia elétrica, o atual setor elétrico brasileiro, estabeleceu a contratação obrigatória, prévia e integral da demanda projetada pelas distribuidoras. Para a comercialização de energia elétrica dois níveis de mercado distintos foram criados, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Todos os contratos realizados no ACR ou no ACL, têm seus registros na CCEE. A diferença entre os dois ambientes são apresentados a seguir.

- No Ambiente de Contratação Regulada (ACR), os participantes são geradoras, distribuidoras e comercializadoras. As comercializadoras podem negociar energia somente nos leilões de energia existente. A contratação é realizada por meio de leilões de energia promovidos pela CCEE, sob delegação da ANEEL, com contrato de comercialização de energia elétrica no ambiente regulado pela ANEEL, e o preço da energia é negociado em leilão.
- No Ambiente de Contratação Livre (ACL), são atendidos os consumidores livres e especiais, as geradoras, e comercializadoras. A contratação possui livre negociação entre os compradores e vendedores que também definem o preço, e o contrato é estabelecido via Contratos de Compra de Energia no Ambiente Livre – CCEAL.

3.3. Modelos para avaliar o comportamento estratégico de agentes de mercado

Vários modelos podem ser utilizados para avaliar o comportamento estratégico dos agentes de mercado, aqui apresentam-se três modelos:

Modelo de Equilíbrio de Cournot (competição por quantidade) - Este modelo estabelece que os agentes produzem produtos homogêneos e decidem as quantidades a serem ofertadas, já o preço de mercado é determinado pela relação entre a oferta e

a curva de demanda do mercado. Os agentes competem por ofertas de quantidade de energia produzida. Na competição por quantidade (Cournot) ou por preço (Bertrand), o mecanismo de mercado é simulado por meio de um jogo. A empresa líder escolhe seu preço ou a quantidade produzida de forma a maximizar seu lucro, assumindo como conhecidas as decisões das outras empresas. O processo é repedido para cada empresa, que refaz sua decisão baseada nas decisões atualizadas das empresas, até se alcançar uma situação de equilíbrio, onde nenhuma empresa consegue elevar seus lucros dada as quantidades ofertadas pelas empresas. De acordo com (KELMAN *et al.*, 2001; FLACH *et al.*, 2010), o modelo de Cournot foi muito utilizado no setor de energia elétrica e continua sendo utilizado depois da reestruturação do mercado.

Modelo de Stackelberg (competição por quantidade) - Este modelo é semelhante ao de Cournot, pois a competição baseia-se em uma liderança de quantidade produzida. Considera a existência de um agente dominante, denominado agente líder, suas decisões devem levar em consideração as reações de agentes seguidores, os quais não possuem o conhecimento de como suas decisões afetam o agente líder.

Modelo de Bertrand (competição por preço) - Como no modelo de Cournot, os produtos são homogêneos e as decisões são simultâneas, o que os distingue é que a decisão de produção neste modelo, são tomadas em função do preço dos produtos. As empresas competem pelos preços, sendo que a quantidade gerada representa o resultado do equilíbrio, também conhecido como Equilíbrio de Nash.

3.4. Regulamentação, Incentivos e barreiras
Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) - criada pela Lei nº 9.427/1996 é uma entidade governamental vinculada ao Ministério de Minas e Energia, encarregada da regulação e fiscalização das atividades voltadas ao setor elétrico, como geração, transmissão, distribuição e comercialização. Autoriza outorgas de concessões, permissões e autorizações de novas instalações e serviços de energia elétrica, sendo responsável por garantir a modicidade tarifária, por estimular a competição e o uso eficiente da energia elétrica pelos agentes de mercado (ANEEL, 2018b). A Tabela 2 e a Figura 2 apresentam algumas regulamentações do setor elétrico.



Figure 2 – Regulamentações do sistema elétrico Brasileiro. Fonte: Elaborado pelos autores.

| | |
|----------------------|--|
| Lei 10.438 | Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária e cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) |
| Lei 10.762 | Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica |
| Decreto 4.873 | Cria o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS" |
| Lei 10.848 | Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica - A comercialização de energia elétrica entre concessionários, permissionários e autorizados de serviços e instalações de energia elétrica, bem como destes com seus consumidores, no Sistema Interligado Nacional - SIN, dar-se-á mediante contratação regulada ou livre. |
| Decreto 6.048 | Alterado o Decreto nº 5163 de 2004 para permitir a realização de leilões de energia proveniente de fontes alternativas para atendimento ao ACR. |
| Lei 11.977 | Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas |
| Lei 12.490 | Altera as leis que dispõem sobre as políticas e as fiscalizações das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis, garantindo o fornecimento de biocombustíveis em todo o território nacional; a redução de emissão de poluentes por veículos automotores - incentiva a geração de energia a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis, em razão do seu caráter limpo, renovável e complementar à fonte hidráulica; |
| REN 481 | Estipula para a fonte solar um desconto de até 80% nas tarifas dos sistemas de transmissão e distribuição de energias desde que a usina tenha entrado em operação até 2017. |
| REN 488 | Estabelece as condições para revisão dos planos de universalização dos serviços de distribuição de energia elétrica na área rural. |
| REN 493 | Estipula os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente |
| REN 502 | Dispõe sobre o sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B. |
| REN 517 | Altera a Resolução Normativa no 482/2012, e o Módulo 3 dos PRODIST, adequando o sistema de compensação de energia elétrica. |
| Decreto 8.387 | Altera o Decreto nº 7.520/2011, que institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS". |
| REN 687 | Altera a Resolução Normativa no 482/2012, e o Módulo 1 e 3 do PRODIST - que aborda sobre a microgeração distribuída, sobre a minigeração distribuída e sobre o sistema de compensação de energia. |

Tabela 2 – Regulamentação a micro e minigeração de energia elétrica. Fonte: Elaborado pelos autores com base nas leis e resoluções normativa da ANEEL.

Outras regulamentações do sistema de micro e minigeração de energia elétrica são apresentadas na Tabela 3.

| Regulamentação/ Procedimentos | Intensão |
|--|--|
| Normas brasileiras - Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu normas para micro e minigeração de energia elétrica; | A ABNT apresentou um conjunto de requisitos para projetos eólico: IEC 61400-2:2006 parte 2: Requisitos de projeto para pequenas turbinas eólicas; IEC 61400-12-1 parte 12-1: Medições do desempenho de potência de aerogeradores; IEC 61400-21:2012 parte 21 - Medição e avaliação das características da qualidade da energia de aerogeradores conectados à rede; IEC 61400-22:2010 parte 22 - Teste de conformidade e certificação; IEC 61400-13:2015 parte 13 - Medição de cargas mecânicas |
| Estabeleceu normas para Turbinas eólicas; | A ABNT apresentou um conjunto de requisitos para projetos fotovoltaicos: IEC 62116:2012 - Tem como objetivo fornecer procedimento anti-ilhamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica; |
| Estabeleceu normas para inversores fotovoltaicos. | ABNT NBR 16149:2013 - Estabelece recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica e estabelece seus requisitos. ABNT NBR 16159:2013 - Estabelece procedimentos para verificar se os equipamentos utilizados na conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia estão em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16149. |
| Nota Técnica nº 0004/2011SRD/ANEEL - Analisou as contribuições recebidas na Consulta Pública n. 15/2010, visando reduzir as barreiras para a instalação de geração de energia de pequeno porte, com fontes incentivadas. | Diminuir os obstáculos para o acesso de pequenas centrais geradoras aos sistemas de distribuição |

Tabela 3 – Outras Regulamentação. Fonte: Elaborado pelos autores com base na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

| Incentivos dos Programas de Energias Renováveis | Incentivadores ou Financiadores | Objetivo | Barreiras dos Programas de Energias Renováveis |
|---|---------------------------------|---|---|
| Plano Inova Energia | BNDES, ANEEL e FINEP | Apoiar o desenvolvimento e a difusão de dispositivos eletrônicos, microeletrônicos, sistemas, soluções integradas e padrões para implementação de redes elétricas inteligentes (smart grids) no Brasil; Apoiar empresas brasileiras no desenvolvimento e domínio tecnológico das cadeias produtivas das fontes de energias renováveis alternativas: solar fotovoltaica, termossolar e eólica; | Implantação de redes elétricas inteligentes apenas em uma cidade no interior de SP. O prazo de instalação desse sistema era até final de 2017 e não foi cumprido, bem como, pouco foi feito com relação a expansão de sistemas inteligentes pelo país. |
| Fundo do clima, criado pela Lei 12.114 de 2009 e regulamentado pelo Decreto 7.343, de 2010. | BNDES | Desenvolver Cidades Sustentáveis e apoiar a mudança do clima - Apoiar projetos que aumentem a sustentabilidade das cidades, melhorando sua eficiência global e reduzindo o consumo de energia e de recursos naturais; Energias Renováveis - Investir em atividades voltadas para o desenvolvimento tecnológico dos setores de geração e distribuição local de energia renovável a partir do uso de biomassa, da energia solar, dos oceanos, da energia eólica no caso de sistemas isolados; | |
| Instalação de medidores na comunidade, Barueri - SP | FINEP | | |
| Cadernos Temáticos Micro e Minigeração Distribuída | ANEEL | Dedicado a geração distribuída - Permite que o consumidor gere energia elétrica a partir de pequenos geradores de fontes renováveis (como eólica ou solar) ou mesmo combustíveis fósseis para consumo próprio. | |
| Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica | ANEEL | Alocar recursos humanos e financeiros em projetos que demonstrem a originalidade, aplicabilidade, relevância e a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais de energia; Promover a cultura da inovação, estimular a pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico brasileiro, criando novos equipamentos e aprimorando a prestação de serviços que contribuam para a segurança do fornecimento de energia elétrica; Promover a modicidade tarifária. | Por ser um programa de chamada pública com tema de pesquisa específico, acaba limitando o número de empresas participantes. Assim como os demais projetos e programas, o enfoque das pesquisas estão voltados a energia solar, tanto no consumo consciente quanto em melhorias na cadeia produtiva. |
| Projeto 50 telhados | Econova e Instituto IDEAL | Divulgar a geração distribuída a partir da geração de energia solar fotovoltaica, dando publicidade a Resolução Normativa 482/12. Este projeto busca instalar em edificações 50 telhados de micro ou minigeradores fotovoltaicos em diversas cidades brasileiras; Incentivar clientes e empresários a investirem em ações para a geração de eletricidade solar. O intuito inicial era atender 20 cidades até 2015, entretanto, o programa superou a meta. Os Estados que mais se beneficiaram foram: Ceará, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, com mais de 60 instalações. | O projeto foi inserido e atendeu as metas pré-estabelecidas, no entanto devido a benefícios fiscais locais, algumas regiões brasileiras tiveram melhores desempenho. |
| Fundo Solar | Instituto IDEAL | Aprimorar a Resolução Normativa 482, publicada pela ANEEL em 2012; Conceder apoio financeiro a consumidores residenciais e empresários que queiram fazer uma instalação de microgeradores fotovoltaicos com uma potência de até 5 kW. O sistema deverá ser conectado à rede local, participar do sistema de compensação energética e ter o projeto desenvolvido por empresas com experiência em sistemas solares. | O projeto apoia exclusivamente o uso de sistemas fotovoltaicos. O projeto deverá participação no sistema de compensação de energia, que acabam ampliando os custos, sendo um empecilho para difusão da geração de energia renovável alternativa. |
| Estádios Solares | Instituto IDEAL | Solarizar todos os estádios que receberam os jogos da Copa do Mundo 2014; Incentivar a difusão da tecnologia solar. | Terminado o período da Copa do Mundo, não houve mais incentivos fiscais para as empresas que quisessem construir ou reformar outros estádios. |
| Selo solar | Instituto IDEAL e CCEE | Proporcionar meios para que os consumidores de energia reconheçam empresas que apoiam e consomem eletricidade produzida a partir do sol. Estimular novos projetos, promovendo o uso da energia fotovoltaica no país. | Envolve o uso exclusivo da energia solar. O projeto, apesar de ser bem divulgado entre as empresas, é pouco conhecido pela população. |
| Programa Luz para Todos | Governo Federal | Levar energia elétrica à áreas remotas para atender toda a população brasileira, com tarifas subsidiadas pelo Governo Federal, governos estaduais e distribuidoras | Falta de políticas públicas eficientes para cumprir a meta de levar eletricidade a toda população brasileira com prazo definido até 2018. |
| Sistema de compensação de energia | | Permitir que qualquer pessoa gere energia elétrica e que a energia gerada em excedente pela unidade consumidora seja injetada na rede da distribuidora local. Permitir o uso do crédito gerado pela energia excedente disponibilizada na rede local. | Muitas exigências e demora na aprovação dos projetos para conexão à rede local. |
| Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD) | MME, ANEEL, EPE, CEPEL e CCEE | Gerar energia através de painéis solares instalados em unidades residenciais, comerciais, indústrias e órgãos públicos de forma a atender com energia solar até 2030 a metade do que é gerado pela usina hidrelétrica Itaipu. | Estímulo somente a geração de energia através de sistemas fotovoltaico, desestimulando o uso de outras fontes de energias renováveis. |

Tabela 4 – Incentivos do setor de micro e minigeração de sistemas isolados de energia elétrica

Fonte: Elaborado pelos autores.

O setor de micro e minigeração de energia no Brasil conta com programas de incentivos para o seu desenvolvimento tecnológico e econômico, proporcionado por instituições governamentais e privadas, apresentadas na Tabela 4.

Embora muitas regulamentações e incentivos tenham sido desenvolvido, barreiras foram identificadas e classificadas como, barreiras tecnológicas, de mercado e barreiras sociais, apresentadas na sequência.

Barreiras Tecnológicas

Identificou-se que a indústria brasileira é dependente da tecnologia externa e há falta de tecnologias para melhorar a qualidade da energia e dos mecanismos de proteção para conexão à rede. O uso de baterias não específicas para sistemas de micro e minigeração é um dos principais entraves, pois existe uma redução significativa da vida útil da mesma e um alto custo em aquisição e manutenção. Além disso, a tecnologia para sistemas híbridos são insuficientes, não há controle dos sistemas e nem banco de baterias com conexão à rede de distribuição. A falta de capacitação e investimento em pesquisas tecnológicas são uma das principais barreiras técnicas enfrentada pelo país. Apesar da ANEEL investir em projetos voltados ao desenvolvimento de tecnologias de energias renováveis, o investimento tecnológico das empresas brasileiras é pequeno, e há falta de mão de obra capacitada para este mercado. Os cursos técnicos e superiores oferecidos no Brasil, não atendem as necessidades da cadeia produtiva e os estímulos para este setor ainda é pequeno.

Barreiras de Mercado

Algumas distribuidoras tem uma certa preocupação com a disseminação dos sistemas de micro e minigeração de energia elétrica entre a população, principalmente pela incerteza gerada na hora da contratação de energia. As distribuidoras precisam realizar a contratação de energia até 5 anos antes (exigência da regulamentação) o que amplia o risco de contratar além do necessário e impactar no aumento dos custos. O alto custo dos equipamentos, projetos e instalações tornam os investimentos em sistemas de micro e minigeração elevados. Estes custos estão vinculados a cadeia produtiva brasileira incompleta, onde não há domínio tecnológico e os suprimentos essenciais são importados e não há subsídios ou incentivos fiscais aos produtos adquiridos externamente, desestimulando a indústria brasileira. Existem poucas empresas brasileiras produzindo equipamentos voltados a micro e minigeração, que tornam os preços dos produtos altos e o tempo de entrega longo. Os equipamentos estrangeiros

chegam ao mercado brasileiro com preços altíssimos por conta das taxas de importação, e por muitas vezes encarecem o produto em mais de 50%, o que desestimula consideravelmente os potenciais consumidores a investirem em sistemas de micro e ou minigeração.

Barreiras Sociais

O desconhecimento técnico e comercial dos consumidores é uma das principais barreiras a expansão da geração de energias renováveis. A grande maioria da população desconhece os tipos de energias renováveis e a possibilidade de instalação de sistemas de micro e minigeração em suas residências, bem como, as condições para avaliar o investimento e retorno do projeto, ou seja, se vale a pena o investimento ou não. A falta de conscientização do consumidor está vinculada a falta de divulgação destes sistemas para o grande público, apresentando as vantagens do uso das energias renováveis e as formas de melhor avaliarem o investimento.

4. PROPOSTA PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS HÍBRIDOS EM SISTEMAS ISOLADOS

As ações são proposta a Agencia Nacional de Energia Elétrica, as distribuidoras de energia, as universidades, as organizações sem fins lucrativos, e ou a outros agentes relacionados a regulamentação do setor elétrico em sistema isolados. As ações apresentadas na Tabela 5, podem auxiliar no desenvolvimento o setor no Brasil, com base em discussões existentes no setor e na análise dos aspectos mais relevantes para esta atividade, ou seja, os agentes regulatórios, de incentivos, de desenvolvimento tecnológico e profissional. Os agentes:

Regulatórios - devem criar meios para corrigir falhas de mercado, para maximizar ganhos a população, para produzir resultados positivos, para garantir robustez e para evitar incertezas em relação a custos.

De Incentivos – buscam o desenvolvimento de um ambiente que possibilite o crescimento do mercado de energia, promovendo o crescimento da demanda, e o desenvolvimento de novos modelos de negócios inovadores pelas empresas envolvidas no setor.

Desenvolvimento tecnológico – busca a competitividade entre as empresas que constituem a cadeia produtiva de sistemas eólicos e solar fotovoltaicos de pequeno porte no Brasil e o incentivo ao surgimento de novas empresas. Busca ações para melhorias de preço da tecnologia eólica e solar e a redução dos impostos destinados a importação de equipamentos por meio do desenvolvimento técnico e econômico do setor nacional.

Desenvolvimento profissional - para o desenvolvimento profissional, a CNI (2013) determina a ampliação da oferta de profissionais técnicos qualificados; da oferta de cursos superiores tecnológicos e da ampliação do número de alunos formados em cursos de engenharia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos grandes desafios do Governo Federal consiste em fornecer energia elétrica a toda população brasileira, principalmente em localidades isoladas e áreas rurais. Ao tornar o acesso e uso da eletricidade um direito básico da população, o Brasil promoveu programas de eletrificação e criou regulamentações. Os primeiros incentivos de órgãos públicos, privados e da publicação de regulações voltadas para o crescimento do setor elétrico ressaltando-se a Resolução Normativa no 482 da ANEEL, ocorreu nos últimos anos. Estes incentivos propiciaram novas perspectivas para a geração de energia distribuída no Brasil, reduzindo barreiras para a conexão de pequenos geradores de energia elétrica em sistemas isolados. O sistema fotovoltaico é uma tecnologia comprovada e uma das mais adequadas para o fornecimento de energia em sistemas isolados, devido à sua modularidade e disponibilidade de recursos. No entanto a energia eólica com turbinas e com aerofólios cabeados tem se mostrado promissores. Com a análise do mercado de energia elétrica envolvendo aspectos relevantes ao desenvolvimento do setor como regulação, incentivos, desenvolvimento tecnológico e profissional, foi possível identificar possíveis barreiras que dificultam o rápido desenvolvimento do setor de energia em sistemas isolados no Brasil, concluindo que o seu desenvolvimento, e do setor elétrico como um todo, são falhos na composição de um ambiente favorável. Mas, é importante notar, que apesar das barreiras encontradas, o programa brasileiro de eletrificação é um dos mais ambiciosos do mundo, e tem vários méritos, já tendo atingido uma grande parte da população em comunidades isoladas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento deste projeto de pesquisa.

Proporcional aumento de atratividade aos agentes

| Agentes regulatórios | Incentivos | Desenvolvimento Tecnológico | Desenvolvimento profissional | Proposta | | | | | | |
|--|---|-----------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| | | | | Sistema elétrico | Fabricantes nacionais | População | Clientes de distribuição | Clientes de distribuição | Distribuidora de energia | |
| Barreiras | Redução de tributação sobre a atividade | | | | | | | | | |
| | Tarifa diferenciada para energia injetada e consumida | | | | | | | | | |
| | Isenção da Tarifa do uso do sistema de transmissão e de distribuição – TUST e TUSD | | | | | | | | | |
| | Ampliação do prazo para entrada de operação previsto para 31/12/2017 - Resolução Normativa no 481 | | | | | | | | | |
| | Regulamentação para sistemas híbridos | | | | | | | | | |
| | Regulamentação para multirredes isoladas | | | | | | | | | |
| | Dedução no imposto de renda | | | | | | | | | |
| | Char meios de divulgação, informação e conscientização | | | | | | | | | |
| | Criação de projetos ecológicos com financiamento | | | | | | | | | |
| | Desenvolvimento de projetos guiados | | | | | | | | | |
| Parceria entre Universidade - Empresa | | | | | | | | | | |
| Criação de um instituto de eficiência energética | | | | | | | | | | |
| Criação de um instituto de energias renováveis | | | | | | | | | | |
| Criação de metas para micro e minigeradores em sistemas isolados | | | | | | | | | | |
| Aquisição de equipamentos com incentivos fiscais | | | | | | | | | | |
| Desenvolvimento nacional de turbinas eólicas e placas solares | | | | | | | | | | |
| Cursos de aperfeiçoamento técnico | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 5 –Indicações para o desenvolvimento de agentes regulatórios, de incentivos, tecnológico e profissional.

Fonte: Elaborado pelos autores.

REFERÊNCIAS

AHRENS, U.; DIEHL, M.; SCHMEHL, R. **Airborne wind energy**. Springer Science & Business Media, 2013. ISBN 3642399657.

ANEEL. **DECRETO no 4.873**, de 2003. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso da Energia Elétrica - “LUZ PARA TODOS”, 2003. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/D4873.htm>. Acesso em setembro de 2018.

_____. **Resolução Normativa n. 493**, de 2012. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2012a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>>. Acesso em setembro de 2018.

_____. **Resolução normativa No 482**, DE 17 DE ABRIL DE 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em

novembro de 2018. 2012b.

_____. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2018(b). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/a-aneel>>. Acesso em setembro de 2018.

_____. **Matriz de energia elétrica**, 2018(a). Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em outubro de 2018.

ARCHER, C.; CALDEIRA, K. **Global assessment of high-altitude wind power**. *Energies*, v. 2, n. 2, p. 307-319, 2009.

ARCHER, C. L.; DELLE MONACHE, L.; RIFE, D. L. **Airborne wind energy: Optimal locations and variability**. *Renewable Energy*, v. 64, p. 180-186, 2014. ISSN 0960-1481.

ARGATOV, I.; SHAFRANOV, V. **Economic assessment of small-scale kite wind generators**. *Renewable Energy*, v. 89, p. 125-134, 2016. ISSN 0960-1481.

BANOS, R. et al. **Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review**. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 15, n. 4, p. 1753-1766, 2011. ISSN 1364-0321.

BRASIL. **Lei 10.438**, de 26 de abril de 2002, Presidência da República, 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10438.htm>. Acesso em setembro de 2018.

_____. **Lei 12.111**, de 9 de dezembro de 2009, Presidência da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12111.htm>. Acesso em setembro de 2018.

CCEE. **História**. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2018. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quem-somos/historia?_adf.ctrl-state=3a2zfw58l_4&_afLoop=72550898324040>. Acesso em novembro de 2018.

CMSE. **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico**, CMSE, 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cmse>>. Acesso em novembro de 2018.

CNPE. **Conselho Nacional de Políticas Energética**, CNPE, Ministério de Minas e Energia, 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cnpe>>. Acesso em novembro de 2018.

CONEJO, A. J.; CARRIÓN, M.; MORALES, J. M. **Decision making under uncertainty in electricity markets**. Springer, 2010.

DE LELLIS, M. et al. **Electric power generation in**

wind farms with pumping kites: An economical analysis. *Renewable energy*, v. 86, p. 163-172, 2016. ISSN 0960-1481.

DOVI, V. G. et al. **Cleaner energy for sustainable future**. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 10, p. 889-895, 2009. ISSN 0959-6526.

ELHADIDY, M.; SHAAHID, S. **Promoting applications of hybrid (wind+ photovoltaic+ diesel+ battery) power systems in hot regions**. *Renewable Energy*, v. 29, n. 4, p. 517-528, 2004. ISSN 0960-1481.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. Institucional, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/acessoainformacao/Paginas/institucional.aspx>>. Acesso em novembro de 2018.

FLACH, B.; BARROSO, L.; PEREIRA, M. **Long-term optimal allocation of hydro generation for a price-maker company in a competitive market: latest developments and a stochastic dual dynamic programming approach**. *IET generation, transmission & distribution*, v. 4, n. 2, p. 299-314, 2010. ISSN 1751-8695.

FRAUNHOFER. **Photovoltaics report**, 2014. Fraunhofer ISE,

FRIEDLER, F. **Process integration, modelling and optimisation for energy saving and pollution reduction**. *Applied Thermal Engineering*, v. 30, n. 16, p. 2270-2280, 2010. ISSN 1359-4311.

HOGAN, W. W. **Competitive electricity market design: A wholesale primer**. December, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**, 2010.

IDEAL. **Potencial solar no Brasil. América do Sol**, 2018. Disponível em: <<http://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>>. Acesso em setembro de 2018.

IEA. **Energy Access Outlook 2017: World Energy Outlook Special Report**. IEA: Paris, France, 2017.

ILIC, M.; GALIANA, F.; FINK, L. **Power systems restructuring: engineering and economics**. Springer Science & Business Media, 2013. ISBN 1475728832.

KAYGUSUZ, K. **Energy and environmental issues relating to greenhouse gas emissions for sustainable development in Turkey**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 1, p. 253-270, 2009. ISSN 1364-0321.

KELMAN, R.; BARROSO, L. A. N.; PEREIRA, M. V. F. **Market power assessment in hydrothermal systems**. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 16, n. 3, p. 354-359, 2001. ISSN 0885-8950.

KHARE, V.; NEMA, S.; BARENDAR, P. **Solar-wind hybrid renewable energy system: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, p. 23-33, 2016. ISSN 1364-0321.

MAHESH, A.; SANDHU, K. S. **Hybrid wind/photovoltaic energy system developments: Critical review and findings.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 1135-1147, 2015. ISSN 1364-0321.

MME. **Histórico do Ministério de Minas e Energia**, Ministério de Minas e Energia, 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/institucional/o-ministerio>>. Acesso em novembro de 2018.

ONS. **Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS**, 2018. Disponível em: <http://www.ons.org.br/institucional_linguas/o_que_e_o_ons.aspx>. Acesso em novembro de 2018.

SCHWEPPE, F. C. et al. **Spot pricing of electricity.** Springer Science & Business Media, 2013. ISBN 1461316839.

SWISHER, R.; DE AZUA, C. R.; CLENDENIN, J. **Strong winds on the horizon: wind power comes of age.** *Proceedings of the IEEE*, v. 89, n. 12, p. 1757-1764, 2001. ISSN 0018-9219.

ZUCARATO, A. N. **Simulação de mercados de energia elétrica com predominância de geração hidrelétrica.** 2003, p. 81. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) –Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1640-8935>

ANNY KEY DE SOUZA MENDONÇA, Dra. | Universidade Federal de Santa Catarina | Engenharia de Produção | Florianópolis, SC - Brasil | Correspondência para: Universidade Federal de Santa Catarina, CP 476, Campus Universitário - Trindade - Florianópolis, SC, CEP 88040970 | E-mail: anny.mendonca@posgrad.ufsc.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3468-7536>

ANTONIO CEZAR BORNIA, Dr. | Universidade Federal de Santa Catarina | Engenharia de Produção | Florianópolis, SC - Brasil | Correspondência para: Universidade Federal de Santa Catarina, CP 476, Campus Universitário - Trindade - Florianópolis, SC, CEP 88040970 | E-mail: cezar.bornia@ufsc.br COMO CITAR ESTE ARTIGO

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MENDONÇA, Anny Key de Souza; BORNIA, Antonio Cezar. Oportunidades para a difusão da energia eólica e solar em sistemas isolados no Brasil: barreiras e facilidades evidenciados na Literatura. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 81-92, jul. 2019.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n3.81-92>

DATA DE ENVIO: 18/07/2018

DATA DE ACEITE: 26/06/2019