

## **Barreiras e estratégias para a implementação de tecnologias de energias renováveis em sistemas isolados no Brasil: Proposta para o desenvolvimento da energia eólica e solar fotovoltaica**

### **Barriers and strategies for the implementation of renewable energy technologies in isolated systems in Brazil: Proposal for the development of wind and solar photovoltaic energy**

**Anny Key de Souza Mendonça, Doutora em Engenharia de Produção, PPGE/UFSC**  
anny.mendonca@posgrad.ufsc.br

**Antonio Cezar Bornia, Doutor em Engenharia de Produção, PPGE/UFSC**  
cezar.bornia@gmail.com

#### **Resumo**

A crescente demanda por geração de energia elétrica e a busca pelo aproveitamento de fontes renováveis, para geração de eletricidade, e diante da limitação dos recursos hídricos, fazem com que os recursos renováveis sejam objeto de pesquisa cada vez mais relevantes. A energia eólica, a solar, a biomassa, a de mares, a geotérmica, dentre outros, são foco de muitos estudos. Essas fontes possuem ampla disponibilidade e sua utilização para a geração de energia não produz poluição por queima de combustíveis fósseis e emissões de gases que provocam o efeito estufa. Este artigo tem por objetivo contextualizar a matriz energética brasileira e abordar as tecnologias com maior potencial de instalação em sistemas isolados, expondo ações que possam resolver problemas econômicas, técnicas e regulatórias 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.

**Palavras-chave:** Energia Eólica; Aerofólios Cabeados; Energia Solar; Política Energética; Sistemas Isolados

#### **Abstract**

*The growing demand for electricity generation and the search for the use of renewable sources, for electricity generation, and in the face of the limitation of water resources, make renewable resources an increasingly relevant research object. Wind, solar, biomass, seas, geothermal, among others, are the focus of many studies. These sources have wide availability and their use for power generation does not produce pollution by burning fossil fuels and emissions of greenhouse gases. This article aims to contextualize the Brazilian energy matrix and to address the technologies with the greatest potential for installation in isolated systems, exposing actions that can solve economic, technical and regulatory problems that may be obstacles to the generation of electric energy in isolated locations. Stimulating the business of the energy sector, with benefits to the development of the country as a whole.*

**Keywords:** 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 no dia a dia, 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, 2015).

Em virtude da crescente necessidade de eletricidade nas sociedades, sobretudo, nos países em desenvolvimento, o estabelecimento de novas políticas energéticas passam a ser um grande desafio (Baños, 2011). Se por um lado o crescimento populacional e das economias dos países exige um aumento na oferta de energia, por outro lado a crescente preocupação com o meio ambiente e com as mudanças climáticas causadas pela ação do homem sobre o planeta, impõe restrições na nova composição da matriz energética, sobretudo com ênfase nas estratégias de economia de energia e na sustentabilidade (Dovi 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 (WEO, 2017), estima-se que 1,1 bilhão de pessoas, 14% da população mundial não tem 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 comunidade rurais, exploram a madeira, velas e querosene para suprir suas necessidades energéticas e a biomassa para cozinhar (WEO, 2017).

No Brasil, o acesso à eletricidade é um direito de toda a população e estabelecido pela Lei 10.438 de abril de 2002 (BRASIL, 2002). 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 abordar as tecnologias com maior potencial de instalação em sistemas isolados, expondo ações que possam resolver problemas econômicas, técnicas e regulatórias 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 literatura. Embora muitos artigos se concentre 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, e seus principais agentes, o ambiente de comercialização, os modelos utilizados para avaliar o comportamento estratégico de agentes de mercado e sua regulamentação e incentivos são apresentados na Seção 3; e na Seção 4, é apresentada uma proposta para desenvolvimento

de sistemas híbridos em sistemas isolados. Finalmente, na seção 5 é apresentado a conclusão.

## 2. Descrição dos 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 fotovoltaico são uma das mais poderosas e promissoras fontes de energia renováveis e ambientalmente amigável, sem custos com combustíveis (ARGATOV, 2016). Os sistemas de energia 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, 2012). 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, 2009; ARCHER et al., 2014). Mundialmente, a energia eólica vem ganhando destaque. Ahrens et al., (2014) aponta três principais razões para o seu desenvolvimento:

- O vento, assim como o sol, é uma das poucas fontes de energia renováveis que pode 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 do sistema.

À medida que mais e maiores parques eólicos são construídos e a tecnologia avança, os custos da tecnologia lentamente serão reduzidos (SWISHER, 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, 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 com 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 (BRASIL, 2009) e com resolução normativa n. 493 de 2012, que estabelece 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 (ANEEL, 2012). 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 (BRASIL, 2012).

## 2.2. Sistemas fotovoltaicos

O Brasil é um mercado bem desenvolvido para energia renovável 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 combustível fósseis, ou até eliminá-lo quase por completo ao incorporar sistemas de armazenamento. A resolução normativa n. 482 de 2012 da ANEEL (BRASIL, 2012), permitiu o acesso de microgeração 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 ISE, 2018). A energia solar representa na matriz energética brasileira, aproximadamente 1% de capacidade total de geração (ANEEL, 2018a). 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/m<sup>2</sup>. 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 de utilizam mais de uma fonte de geração de energia 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, 2015, p.1135). 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 energia 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, 2004).

### **3. Mercado de energia elétrica**

Segundo Zucarato (2009), o mercado de energia elétrica 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., 1998; SCHWEPPE et al., 1998).

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 apresentado na Tabela 1, dois modelos econômicos de mercado de eletricidade para formação de preço, que permitem aos agentes controle sobre as atividades comerciais.



**Tabela 1** – Modelos econômicos de mercado de eletricidade.

<p>Modelo de mercado <i>Pool</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• 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 fechamentos diários e a antecedência)</li> <li>• O <i>pool</i> tem como objetivo minimizar o custo total do sistema, podendo ser classificado como dois mecanismo distintos, modelo de despacho e formação de preço: a) baseado em custos e b) baseado em ofertas.</li> <li>• No modelo de despacho e formação de preço baseado em custo - 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/sistema, sendo que nenhuma oferta de preço é considerada.</li> <li>• No modelo de despacho e formação de preço baseado em oferta - 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.</li> </ul>
<p>Modelo Bilateral</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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 nenhuma outra interferência, onde as quantidades e os preços são especificados entre as partes.</li> <li>• Todas as transações bilaterais devem ser comunicados ao operador do sistema OM e/ou OIS, 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.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de (CONEJO et al. 2010; SILVA, 2012; ZUCARATO, 2003).

### 3.1. Principais Agentes do Setor Elétrico Brasileiro

O sistema elétrico brasileiro, foi reestruturado sob um ideal de equilíbrio institucional entre agentes de governo, agentes públicos e privados. Os principais agentes do setor elétrico brasileiro é apresentado:

**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 (CNPE, 2018);

**Ministério de Minas e Energia (MME)** - órgão da administração do Governo Federal 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 desequilíbrios entre oferta e demanda de energia de acordo com as diretrizes definidas pelo CNPE (MME, 2018);

**Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)** - 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 (ANEEL, 2018);

**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).

**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 CNPE 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)** - entidade privada sem fins lucrativos e sob regulação e fiscalização da ANEEL, 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

No setor elétrico brasileiro, a comercialização de energia elétrica é realizada em dois níveis de mercado: no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e no 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:

- 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.
- Ambiente de Contratação Livre (ACL) – os participantes são geradoras, comercializadoras, consumidores livres e especiais. A contratação possui livre negociação entre os compradores e vendedores e o contrato é estabelecido livremente entre as partes que também define o preço

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

**Modelo de Cournot – (competição por quantidade)** Este modelo estabelece que os agentes produzem produtos homogêneos e decidem a quantidade a ser ofertada, 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 através 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 empresa, até se alcançar uma situação de equilíbrio, onde nenhuma empresa consegue elevar seus lucros dadas as quantidade ofertadas pelos empresas. De acordo com Kelman (1999); Kelman et al., (2001) e 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 e Incentivos

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) - criado 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 apresenta algumas regulamentações a mini e microgeração do setor elétrico e sua intensão.

**Tabela 2** – Regulamentação a microgeração e minigeração de energia elétrica.

Regulamentação	Procedimentos	Intensão
Normas brasileiras - Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu normas para micro e minigeração de energia elétrica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabeleceu normas para Turbinas eólicas;</li> <li>- Estabeleceu normas para inversores fotovoltaicos</li> </ul>	<p>A ABNT apresentou um conjunto de requisitos para projetos eólico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• IEC 61400-2:2006 parte 2: Requisitos de projeto para pequenas turbinas eólicas;</li> <li>• IEC 61400-12-1 parte 12-1: Medições do desempenho de potência de aerogeradores;</li> <li>• IEC 61400-21:2012 parte 21 – Medição e avaliação das características da qualidade da energia de aerogeradores conectados à rede;</li> <li>• IEC 61400-22:2010 parte 22 – Teste de conformidade e certificação;</li> <li>• IEC 61400-13:2015 parte 13 - Medição de cargas mecânicas</li> </ul> <p>A ABNT apresentou um conjunto de requisitos para projetos fotovoltaicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• IEC 62116:2012 – Tem como objetivo fornecer procedimento anti-ilhamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> </ul>
Nota Técnica nº 0004/2011SRD/ANEEL	Analizou as contribuições recebidas na Consulta Pública n.	Diminuir os obstáculos para o acesso de pequenas centrais geradoras aos sistemas de distribuição



	15/2010, visando reduzir as barreiras para a instalação de geração de energia de pequeno porte, com fontes incentivadas.	
Resolução normativa n. 482, de 17 de abril de 2012	Estabeleceu condições para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de energia elétrica e de compensação de energia elétrica.	Estabelecer acesso de mini e microgeração aos sistemas de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
Resolução normativa n. 517, de 11 de dezembro de 2012	Alterou a Resolução Normativa no 482, de 2012, e o Módulo PRODIST.	Estabelece o sistema de compensação de energia elétrica, no qual a energia é injetada por uma unidade consumidora com mini ou microgeração distribuída
Resolução normativa n. 481, de 17 de abril 2012	Altera a Resolução Normativa no 77, de 18 de agosto de 2004.	Para a fonte solar, fica estipulado desconto de 80%, para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, aplicável nos 10 (dez) primeiros anos de operação da usina, nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição – TUST e TUSD.
Resolução normativa n. 493, de 5 julho de 2012	Estabeleceu procedimentos e condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI.	Estabelecer os procedimentos e as condições de fornecimento de energia elétrica por meio de microssistema isolado de geração e distribuição de energia elétrica – MIGDI ou sistema individual de geração de energia elétrica com fonte intermitente – SIGFI.
Resolução normativa n. 502, de 7 de agosto de 2012	Regulamentou os sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B (incluindo usuários residenciais, comerciais, rurais e demais classes de baixo consumo, exceto famílias de baixa renda e sistemas de iluminação pública)	Permitiu a contabilização da energia excedente gerada pelos consumidores em sistemas eólicos ou solares pelo uso de dois equipamentos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- sistema de medição das unidades consumidoras enquadradas na modalidade tarifária branca;</li> <li>- sistema de medição capaz de fornecer cumulativamente informações como: valor de energia elétrica consumida por posto tarifário; identificação do posto tarifário;</li> </ul>

**Fonte:** Elaborado pelos autores com base na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e por meio das resoluções normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

O setor de microgeração e minigeração isolado de energia no Brasil conta com programas de incentivos para o seu desenvolvimento tecnológico e econômico, proporcionados por instituições governamentais e privadas, apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Incentivos do setor de microgeração e minigeração isolado de energia elétrica.**

Incentivos	Incentivadores ou Financiadores	Objetivo
Plano Inova Energia	BNDES, ANEEL e FINEP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoiar o desenvolvimento e a difusão de dispositivos eletrônicos, microeletrônicos, sistemas, soluções integradas e padrões para implementação de redes elétricas inteligentes (<i>smart grids</i>) no Brasil;</li> <li>• Apoiar as empresas brasileiras no desenvolvimento e domínio tecnológico das cadeias produtivas das seguintes energias renováveis alternativas: solar fotovoltaica, termossolar e eólica para geração de energia elétrica;</li> </ul>
Fundo do clima, criado pela Lei 12.114 de 2009 e regulamentado pelo Decreto 7.343, de 2010.	BNDES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cidades Sustentáveis e mudança do clima - Apoio a projetos que aumentem a sustentabilidade das cidades, melhorando sua eficiência global e reduzindo o consumo de energia e de recursos naturais;</li> <li>Energias Renováveis - Apoio a investimentos 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;</li> </ul>
Instalação de	FINEP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitir que imóveis comerciais e residenciais, comuniquem-se com a rede</li> </ul>



medidores na comunidade, Barueri - SP		elétrica; <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer em tempo real, o quanto seu imóvel consumiu de energia no mês;</li> <li>• Detectar e solucionar falhas na distribuição de energia, remotamente.</li> </ul>
Cadernos Temáticos Micro e Minigeração Distribuída	ANEEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trata da geração distribuída;</li> <li>• 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.</li> </ul>
Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica	ANEEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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;</li> <li>• 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;</li> <li>• Promover a modicidade tarifária.</li> </ul>
Projeto 50 telhados	Econova e Instituto IDEAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar em edificações 50 micro ou minigeradores fotovoltaicos;</li> <li>• Incentivar clientes e empresários a investirem em ações para a geração de eletricidade solar.</li> </ul>
Fundo Solar	Instituto IDEAL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprimorar a Resolução Normativa 482, publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica em 2012;</li> <li>• Conceder apoio financeiro a consumidores residenciais e empresários na instalação de microgeradores fotovoltaicos com uma potência de até 5 kW.</li> </ul>
Estádios Solares	Instituto IDEAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarizar todos os estádios que receberiam os jogos da Copa do Mundo 2014</li> <li>• Incentivar a difusão da tecnologia solar.</li> </ul>
Selo solar	Instituto IDEAL e CCEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionar meios para que os consumidores de energia reconheçam empresas que apoiam e consomem eletricidade produzida a partir do sol.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4. Proposta para desenvolvimento de sistemas híbridos em sistemas isolados

As ações são propostas à Agência Nacional de Energia Elétrica, às distribuidoras de energia, às universidades, às organizações sem fins lucrativos, e/ou a outros agentes relacionados à regulamentação do setor elétrico em sistemas isolados. As ações apresentadas na Tabela 4, podem auxiliar no desenvolvimento do 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 custos destinados à 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.



**Tabela 4. Propostas para o desenvolvimento de agentes regulatórios, de incentivos, de desenvolvimento tecnológico e profissional.**

Proposta		Sistema elétrico	Fabricantes nacionais	População	Cientes de minigeração	Cientes de microgeração	Distribuidora de energia
Agentes regulatórios	Redução de tributação sobre a atividade						
	Tarifa diferenciada para energia injetada e consumida						
	Isonomia da Tarifa do uso do sistema de transmissão e de distribuição – TUST e TUSD						
	Ampliação do mercado livre						
	Ampliação do prazo para entrada de operação previsto para 31/12/2017 - Resolução Normativa no 481						
	Regulamentação para sistemas híbridos						
	Regulamentação para miniredes isoladas						
	Dedução no imposto de renda						
	Crear meios de divulgação, informação e conscientização						
	Criação de projetos ecológicos com financiamento						
Incentivos	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 da Cadeia produtiva						
	Desenvolvimento nacional de turbinas eólicas e placas solares						
	Cursos de aperfeiçoamento técnico						
	Desenvolvimento Tecnológico						
Desenvolvimento profissional							

Proporciona aumento de atratividade aos agentes	Nenhum	Médio	Alto

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 5. Considerações finais

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. Este incentivos abriu novas perspectivas para a geração distribuída no Brasil, reduzindo barreiras para a conexão de pequenos geradores de energia elétrica em sistema isolados. Os sistemas fotovoltaicos são 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 isolado no Brasil, concluindo que o seu desenvolvimento, e do setor elétrico como um todo, são falhos na composição de 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 expressiva população em comunidades isoladas.

### Referências

- ANEEL. Matriz de energia elétrica. 2018(a). Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: outubro de 2018.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2018(b). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Acesso em setembro de 2018.
- ANEEL. Agentes de Geração. 2018(c). Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/AgenteGeracao/agentegeracao.cfm>. Acesso em setembro de 2018.
- ANEEL. Resolução Normativa n. 493, de 2012. Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. 2012. Disponível em:< <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>>. Acesso em setembro de 2018.
- 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/legislação>.
- ANEEL. Resolução Normativa no 481. Altera a Resolução Normativa n. 77, de 18 de agosto de 2004. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012481.pdf>.
- Archer, C.L; Caldeira, K. Global assessment of high-altitude wind power, *Energies*. 2009; 307-19.
- Archer, C.L; Monache, L.D; Rife, D.L. Airborne wind energy: optimal locations and variability, *Renewable Energy*. 2014; 180-86.
- Argatov, Ivan; Shafranov, Valentin. Economic assessment of small-scale kite wind generators. *Renewable Energy*. 2016; 89: 125–34.
- Brasil. Lei 12.111 de dezembro de 2009. Presidência da República. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Lei/L12111.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12111.htm)>. Acesso em setembro de 2018.
- Brasil. Lei 10.438 de abril de 2002. Governo Federal. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/L10438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm)>. Acesso em setembro de 2018.
- Baños, R; Manzano-Agugliaro, F; Montoya, F; Gil, C; Alcayde, A; Gómez, J. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15(4):1753–66.
- CCEE. História. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/> Acesso em setembro 2018.
- CONEJO, A. J., Carrión, M., & Morales, J. M. Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets. *International Series in Operations Research & Management Science*. 2010, Boston, MA: Springer US.

- CNPE . Conselho Nacional de Políticas Energética. CNPE, Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cnpe>. Acesso em setembro 2018.
- De Lellis, M; Mendonça, A.K; Saraiva, R; Trofino, A. Lezana, A . Electric power generation in wind farms with pumping kites: An economical analysis. *Renewable energy*. 2016, 86: 163-72.
- Dovi, V.G; Friedler, F; Huisingh, D; Klemes, J.J. Cleaner energy for sustainable future. *Journal of Cleaner Production*. 2009; 17 (10): 889–95.
- Elhadidy, M.A; Shaahid, S.M. Parametric study of hybrid (wind + solar + diesel) power generating systems. *Renew Energy* 2000; 21:129 - 39.
- Elhadidy, M.A; Shaahid, S.M. Promoting applications of hybrid power systems in hot regions. *Renew Energy* 2004; 29:517–28.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Institucional. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/aceesoainformacao/Paginas/institucional.aspx>. Acesso em setembro 2018.
- Friedler, F. Process integration, modelling and optimisation for energy saving and pollution reduction. *Appl Thermal Eng* 2010; 30: 2270 – 80.
- FRAUNHOFER ISE. FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS ISE. Photovoltaics Report. 2014. Freiburg, p.7. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Acesso em: outubro 2018.
- HOGAN, W. W. Competitive electricity market design: A wholesale primer. December, John F. Kennedy School of Government, Harvard University. 1998.
- IBGE. Censo Demográfico 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:< <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em setembro de 2018
- IDEAL. Potencial solar no Brasil. América do Sol. Disponível em: < <http://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/> >. Acesso em setembro de 2018.
- IRENA. Global energy transformation: a roadmap to 2050. International Renewable Energy Agency, 2018. Disponível em:< [www.irena.org/publications](http://www.irena.org/publications)> acesso em: setembro de 2018.
- ILIC, M. D.; GALIANA, F.; FINK, L. Power systems restructuring: engineering and economics. Springer. v.448. 1998.
- Khare, Vikas et al. Solar-wind hybrid renewable energy system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 58: 23–33.
- Kaygusuz, K. Energy and environmental issues relating to greenhouse gas emissions for sustainable development in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13: 253 – 70.
- Luthra, S; kumar, S; Garg, D; Haleem, A. Barriers to renewable/sustainable energy technologies adoption: Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015; 41:762–76.
- Mahesh, Aeidapu; Sandhu, Kanwarjit Singh. Hybrid wind/photovoltaic energy system developments: Critical review and findings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015; 52: 1135–47.
- MME. HISTÓRICO. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/aceeso-a-informacao/institucional/o-ministerio>. Acesso em setembro 2018.
- ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Disponível em: [http://www.ons.org.br/institucional\\_linguas/o\\_que\\_e\\_o\\_ons.aspx](http://www.ons.org.br/institucional_linguas/o_que_e_o_ons.aspx). Acesso em setembro 2018.
- Swisher, R; Azua, C.R. de; Clendenin, J. Strong winds on the horizon: wind power comes of age, *Proceedings of the IEEE*. 2001; 89:1757-64.
- WEO. Energy Access Outlook 2017: World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency - IEA. 2017.
- SCHWEPPE, F.; CARAMANIS, M.; TABORS, R.; BOHN, R. Spot price of electricity. 1998.
- SILVA, E. L. D. Formação de preços em mercados de energia elétrica. Edição do Autor. 2012.
- ZUCARATO, A. N. Simulação de mercados de energia elétrica com predominância de geração hidrelétrica. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- \_\_\_\_\_. Mecanismos de Capacidade em Sistemas de Energia Elétrica com Predominância de Geração Hidrelétrica. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.