



## Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão sistemática

Donisete da Silva Pereira <sup>1</sup>, Romeu e Silva Neto <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestrando em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense, Brasil. (\*Autor correspondente: donisete.pereira@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Professor do Instituto Federal Fluminense, Brasil.

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 09/10/2020 – Revisado em: 03/11/2020 – Aceito em: 27/11/2020

### RESUMO

O planejamento do setor elétrico brasileiro deve se adequar aos novos moldes mundiais de geração de energia, pois as pressões mundiais para que a geração de eletricidade seja cada vez mais sustentável, eficiente e dependa cada vez menos de fontes escassas ou não renováveis, estão cada vez mais incisivas. Portanto, tornam-se essenciais estudos cada vez mais aprofundados sobre a matriz elétrica brasileira, principalmente no que tange às diversas opções de fontes geradoras para a diversificação da mesma, apontando seus prós e contras, além de análises de sua viabilidade. Desta maneira a presente pesquisa tem objetivo de analisar estudos de temas relacionados à diversificação de fontes geradoras da Matriz Elétrica Brasileira – MEB. Para tal foi realizado um estudo bibliométrico na base Scopus utilizando palavras-chave relacionadas ao tema, a fim de obter um conjunto de produções acadêmicas da área. Uma amostra de 109 trabalhos acadêmicos foi relacionada, cuja filtragem resultou numa relação de 19 produções científicas. Com o método de revisão sistemática buscou-se interpretar criticamente estes resultados, identificando-se que, apesar de ocorrer uma breve movimentação em prol dessa diversificação, há necessidade de intensificar ações que promovam menor dependência entre a MEB e o uso dos recursos hídricos, confirmando a necessidade de a MEB ser diversificada.

**Palavras-Chaves:** Diversificação, Fontes geradoras, Matriz elétrica brasileira, Revisão sistemática.

## Diversification of sources generating the Brazilian electric matrix: a systematic review

### ABSTRACT

The planning of the Brazilian electric sector must adapt to the new world-wide forms of energy generation, because the global pressures for the generation of electricity to be more and more sustainable, efficient and depend less and less on scarce or non-renewable sources, are increasingly more incisive. Therefore, more and more in-depth studies on the Brazilian electrical matrix become essential, especially regarding the various options of generating sources for its diversification, pointing out its pros and cons, in addition to analyzes of its feasibility. In this way, this research aims to analyze studies of themes related to the diversification of generating sources of the Brazilian Electric Matrix – BEM (MEB in Portuguese). To this end, a bibliometric study was carried out on the Scopus base using keywords related to the theme, to obtain a set of academic productions in the area. A sample of 109 academic works was listed, whose filtering resulted in a list of 19 scientific productions. The systematic review method sought to critically interpret these results, identifying that, despite a brief movement in favor of this diversification, there is a need to intensify actions that promote less dependence between MEB and the use of water resources, confirming the need for BEM to be diversified.

**Keywords:** Diversification, Generating sources, Brazilian electrical matrix, Systematic review.

Pereira, D. S., Silva Neto, R. (2021). Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão sistemática. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.3, n.1, p.02-21.



Direitos do Autor. A Meio Ambiente (Brasil) utiliza a licença *Creative Commons* - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC.

## 1. Introdução

A cada dia que se passa, cresce o interesse por estudos sobre a geração de energia, com o objetivo de melhor aproveitar os recursos disponíveis. As diversas fontes geradoras de energia transformadas em eletricidade são hoje um recurso indispensável para o desenvolvimento socioeconômico de muitas regiões e países. Com os progressos tecnológicos de geração e transmissão de eletricidade, pode-se observar regiões que anteriormente eram pobres e desocupadas, transformando-se em grandes centros urbanos e industriais. Nesse sentido, nas últimas décadas a sociedade despertou para uma nova abordagem sobre os recursos energéticos que utiliza. Começou a se pensar em fatores como: sustentabilidade, poluição ambiental, custo social e segurança no fornecimento energético, ou seja, uma oferta de energia elétrica capaz de atender à crescente demanda, principalmente nos países emergentes, de forma constante, sustentável e principalmente segura (Morais, 2015).

Pensando nessa segurança de fornecimento de energia elétrica para o país, Goldemberg e Moreira (2005) e Assad (2011) afirmam a importância de que a energia provenha de diversas fontes energéticas, o que garantiria um posicionamento estratégico e maior segurança no abastecimento elétrico para o país. Mas na contramão deste pensamento, o Brasil, apesar de ser um país de dimensões continentais, com potencial de geração elétrica de diversas fontes, principalmente renováveis, possui hoje uma matriz elétrica baseada predominantemente em hidroeletricidade. Nos dias atuais a fonte hídrica é responsável por gerar cerca de 63,38% de todo o potencial elétrico gerado no país, enquanto a segunda colocada, a fóssil, é responsável pela geração de apenas 16,13% desse potencial (ANEEL, 2020). Soma-se a isto a necessidade de tornar cada vez mais sustentáveis as ações humanas, principalmente no que diz respeito a geração de energia elétrica, onde os países deverão optar prioritariamente por fontes renováveis que causem menores impactos ao meio ambiente, com vistas a um futuro mais sustentável, atendendo aos acordos de emissões e reduzindo a dependência de fontes geradoras com prazos de validade.

Especificamente no caso do Brasil, país riquíssimo em recursos naturais, principalmente para a geração de energia elétrica, a diversificação da matriz elétrica a partir de fontes renováveis, além da hídrica, parece não ser difícil, pois o principal ele possui, que são os recursos naturais. Nesse sentido o país apresenta inúmeras condições favoráveis como: enorme dimensão territorial, volume d'água, incidência de vento, irradiação solar, movimentação de ondas, solo fértil para produção de biomassa e biocombustíveis, etc. Diferente de algumas outras nações que apresentam poucos ou quase nenhum recurso que estimule esta diversificação.

Com relação ao cenário econômico nacional, o Brasil encontra-se em um período de desenvolvimento incerto e o que já não estava muito bom, devido às recentes crises financeiras, principalmente no setor petrolífero, com o advento da COVID-19 a economia brasileira se aprofundou ainda mais, principalmente a sua trajetória esperada para os anos de 2020 e 2021 (IPEA, 2020). Ainda no cenário da pandemia, nota-se que em momentos de crises mundiais não se pode contar com suprimentos advindos de importação, como está sendo o caso da dificuldade que o Brasil atualmente enfrenta para adquirir respiradores, mesmo pagando preços acima dos normais, a quantidade que realmente chega até o país é ínfima e insuficiente. Trazendo este cenário para a cadeia de suprimentos de energia, o mesmo pode acontecer com os empreendimentos geradores que dependem de combustíveis importados – a exemplo do Gás Natural. Por este motivo, o Brasil deve acreditar mais no seu potencial de geração a partir de suas próprias fontes disponíveis e depender cada vez menos de importação de suprimentos da cadeia energética.

Portanto, considerando-se a necessidade de expansão e diversificação da matriz elétrica nacional, motivado pelo aumento da demanda de energia elétrica interna, pela necessidade de reduzir impactos ao meio ambiente, de reduzir a dependência de fontes com prazos de validade, de fazer um melhor aproveitamento da riqueza de recursos naturais que o país possui, de diminuir a dependência de outras nações no suprimento eletroenergético e pensando na utilização das principais fontes disponíveis em abundância, justifica-se o interesse sobre o levantamento de estudos que abordam o assunto de diversificação da matriz elétrica brasileira

e principalmente os que incentivem o crescimento da utilização de energia renovável no Brasil.

Neste sentido, a presente pesquisa tem objetivo de analisar criticamente estudos de temas relacionados à diversificação de fontes geradoras da Matriz Elétrica Brasileira – MEB, de forma a obter informações, discussões e posicionamentos acerca do tema, para que no final da pesquisa seja possível fazer apontamentos do que se discute atualmente neste universo temático e a partir disto tirar conclusões relevantes, com o objetivo de contribuir para o setor elétrico brasileiro.

## 2. Material e Método

Nesta seção será apresentada a classificação da pesquisa e também a descrição do passo a passo utilizado para a realização da revisão sistemática.

### 2.1 Classificação da Pesquisa

De acordo com Silva e Menezes (2005), a pesquisa pode ser classificada em quatro vertentes: (i) sua natureza, (ii) forma de abordagem do problema, (iii) seus objetivos e (iv) quanto aos procedimentos técnicos. Quanto a natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada por não se preocupar em desenvolver novos métodos e sim em utilizar conhecimento já existente em um cenário real produzido por outras pesquisas científicas. Quanto a abordagem trata-se de uma pesquisa quantitativa, visto que procura traduzir números para serem analisados de forma estatística. Em relação aos objetivos a pesquisa é exploratória, pois busca maior familiaridade ao assunto abordado e tornando-o mais exposto. Já quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa é fundamentalmente bibliográfica, sendo executada com recursos bibliométricos.

### 2.2 Estratégia de busca e seleção de trabalhos

Procurou-se neste estudo nortear a pesquisa a luz da recomendação PRISMA – Principais Itens para Relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises – a fim de melhorar o relato desta análise sistemática e obter uma maior transparência. Para a coleta da amostra de estudos científicos, a base de dados utilizada para o estudo bibliométrico foi a Scopus. A maior base de dados de publicações científicas, que reúne mais de 75 milhões de registros e quase 25 mil periódicos (Elsevier, 2019). Como técnica de busca elaborou-se o quadro abaixo, contendo as palavras-chave do tema e suas possíveis variações – sinônimo/tesauros.

Quadro 1. Palavras-chave, tesauros/termos correspondentes

DIVERSIFICAÇÃO DE FONTES GERADORAS DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA			
Palavras-chave	Diversificação	Fontes Geradoras	Matriz Elétrica Brasileira
<b>Inglês</b>	Diversification	Generating sources	Brazilian electrical matrix
<b>Tesauros</b>	Diversity	Electricity sources	Brazilian electrical generating matrix
	Assortment	Electrical sources	Brazilian energy matrix
	Diverseness	Power generation sources	Brazilian power matrix
	Heterogeneity		
	Variability		
	Change		

Fonte: Elaboração própria (2020)

Em seguida para se iniciar a pesquisa foram selecionados os termos correspondentes às palavras-chave em diferentes conjuntos, partindo de uma busca mais abrangente para uma mais refinada. Para tanto, após

tentativas, erros e acertos foram pré-definidos oito grupos de busca. Esta estratégia foi adotada para obter melhores resultados, pois por se tratar de um tema bastante restrito, principalmente pela condição de especificar o país, já se esperava obter poucas publicações científicas. Por conta disso optou-se por realizar buscas sequenciais, do panorama mais geral até o mais específico de acordo com o tema, com vistas a “cerca-lo” e obter o máximo de informações possíveis que se relacionassem a ele.

E a critério de definição, vale lembrar que quando se fala em matriz elétrica, é possível analisar por meio de dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018) a diferenciação entre matriz elétrica e matriz energética. A matriz elétrica é uma das espécies da matriz energética, esta última representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, utilizar o fogão e gerar eletricidade. Já a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, podemos concluir que a matriz elétrica é parte da matriz energética. Neste trabalho estes termos foram empregados de diferentes formas, hora como sinônimos, hora com essa diferença, dependerá do contexto e também da forma de uso dos autores citados.

Quadro 2. Estratégias de busca

N° da Busca	Frase de busca	N° Resultados
1	<b>TITLE-ABS-KEY</b> ( brazilian AND electrical AND matrix OR brazilian AND electrical AND generating AND matrix OR brazilian AND energy AND matrix OR brazilian AND power AND matrix )	6
2	<b>TITLE-ABS-KEY</b> ( "brazilian electrical matrix" OR "brazilian electrical generating matrix" OR "brazilian energy matrix" OR "brazilian power matrix" )	97
3	( <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( diversification OR diversity OR assortment OR diverseness OR heterogeneity OR variability OR change ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( brazilian AND electrical AND matrix OR brazilian AND electrical AND generating AND matrix OR brazilian AND energy AND matrix OR brazilian AND power AND matrix ) )	1
4	( <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( diversification OR diversity OR assortment OR diverseness OR heterogeneity OR variability OR change ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( "Brazilian electrical matrix" OR "Brazilian electrical generating matrix" OR "Brazilian energy matrix" OR "Brazilian power matrix" ) )	28
5	( <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( diversification OR diversity OR assortment OR diverseness OR heterogeneity OR variability OR change ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( generating AND sources OR electricity AND sources OR electrical AND sources OR power AND generation AND sources ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( electrical AND matrix OR electrical AND generating AND matrix OR energy AND matrix OR power AND matrix ) )	11
6	( <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( diversification OR diversity OR assortment OR diverseness OR heterogeneity OR variability OR change ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( generating AND sources OR electricity AND sources OR electrical AND sources OR power AND generation AND sources ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( brazilian AND electrical AND matrix OR brazilian AND electrical AND generating AND matrix OR brazilian AND energy AND matrix OR brazilian AND power AND matrix ) )	1

7	( <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( diversification OR diversity OR assortment OR diverseness OR heterogeneity OR variability OR change ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( "generating sources" OR "electricity sources" OR "electrical sources" OR "power generation sources" ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( brazilian AND electrical AND matrix OR brazilian AND electrical AND generating AND matrix OR brazilian AND energy AND matrix OR brazilian AND power AND matrix ) )	0
8	( <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( diversification OR diversity OR assortment OR diverseness OR heterogeneity OR variability OR change ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( generating AND sources OR electricity AND sources OR electrical AND sources OR power AND generation AND sources ) AND <b>TITLE-ABS-KEY</b> ( "Brazilian electrical matrix" OR "Brazilian electrical generating matrix" OR "Brazilian energy matrix" OR "Brazilian power matrix" ) )	1

Fonte: Elaboração própria (2020)

Nota: O termo TITLE-ABS-KEY representa cada linha de busca na base Scopus.

### 2.2.1 Resultados das buscas

Na base onde foram realizadas as buscas, identificou-se na primeira busca, seis publicações; na segunda, noventa e sete; na terceira, uma; na quarta, vinte e oito; na quinta, onze; na sexta, uma; na sétima, nenhuma; e na oitava, uma. Totalizando cento e quarenta e cinco resultados de busca, datados entre 2000 e 2019, porém, algumas buscas apresentaram publicações em comum, por tanto, o resultado líquido das buscas foi cento e nove publicações.

### 2.2.2 Seleção dos trabalhos

Neste momento realizou-se a leitura flutuante das 109 publicações encontradas, ou seja, a leitura do título, das palavras-chave e do resumo, que resultou no primeiro filtro. Caso apresentassem boa relação com o tema pesquisado o trabalho passava a integrar o portfólio de referências para a revisão sistemática da presente pesquisa; caso não apresentassem nenhuma relação com o tema, o mesmo era imediatamente eliminado; caso apresentassem pouca relação, mais alguma, o próximo passo era a leitura da introdução, caso a mesma apresentasse boa relação com o tema da pesquisa, o mesmo passava a integrar o portfólio de referências, caso não, era imediatamente eliminado. Nesta etapa, de 109 publicações, foram filtradas 24.

A próxima etapa foi a leitura integral dos 24 trabalhos, que resultou no filtro de 19, cujos foram considerados efetivos para a realização da revisão sistemática de acordo com o tema proposto nesta pesquisa, foram eles:

Quadro 3. Trabalhos escolhidos para fundamentar a revisão sistemática

<b>Título</b>	<b>Autor (es)</b>	<b>Ano</b>
Analysis of the Topologies of Power Filters Applied in Distributed Generation Units - Review	J. Crepaldi, M. M. Amoroso e O. H. Ando Junior	2018
Assessment of SEGS-Like Power Plants for the Brazilian Northeast Region	E. S. C. Cavalcanti e A. C. G. Petti	2008
Natural-gas-powered thermoelectricity as a reliability fator in the Brazilian electric sector	E. Fernandes, J.C.S. de Oliveira, P.R. de Oliveira, P.S.R. Alonso	2008
Is the success of small-scale photovoltaic solar energy generation achievable in Brazil?	Paula D. Rigo, Julio Cezar M. Siluk, Daniel P. Lacerda, Carmen B. Rosa, Graciele Rediske	2019
An analysis on the inclusion of photovoltaic in	Tiago Rodrigues dos Santos Nogueira e Paulo	2015

Brazil: technical and economic aspects	Fernando Ribeiro	
Analysis of financial impacts caused by pollution from thermal power plants in Brazilian public health system	Mariana Altoé Mendes, Pablo Rodrigues Muniz, Janaína Carneiro Marques, Clainer Bravin Donadel e Jussara Farias Fardin	2016
Assessment of the potential of small hydropower development in Brazil	Jacson Hudson Inácio Ferreira, José Roberto Camacho, Juliana Almansa Malagoli, Sebastião Camargo Guimarães Júnior	2016
Avaliação da sustentabilidade na geração híbrida solar e eólica	Juaceli Araújo de LIMA; Enio Pereira de SOUZA	2015
Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing	Julian T.M. Pinto, Karen J. Amaral, Paulo R. Janissek	2016
Development of Communication System for Wind Turbines	André Jaques Ramos, Juliano Grigulo, Claiton Moro Franchi, Frederico Menine Schaf, Humberto Pinheiro.	2015
Diversification of Brazilian Energy Matrix by Connecting Distributed Generation Sources Fuelled by Biogas from Swine Manure	W. Brignol, L.Canha, D. Maguerroski, R. Azevedo, A. Barin	2016
Environmental degradation costs in electricity generation: The case of the Brazilian electrical matrix	Laura Araujo Alves, Wadaed Uturbey	2010
Evaluation of greenhouse gas emissions avoided by wind generation in the Brazilian energetic matrix: A retroactive analysis and future potential	Danielle Rodrigues Raimundo, Ivan Felipe Silva dos Santos, Geraldo Lúcio Tiago Filho, Regina Mambeli Barros	2018
Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts	Jose Baltazar Salgueirinho Osório De Andrade Guerra, Luciano Dutra, Norma Beatriz Camisão Schwinden, Suely Ferraz de Andrade	2015
Optimization of a tuned liquid column damper subject to an arbitrary stochastic wind	Mansour H. Alkmim, Adriano T. Fabro, Marcus V. G. De Moraes	2018
Uma proposta de mudança do atual modelo hidrotérmico para hidroelétrico no Brasil	Nicorray de Queiroz Santos, Fernando Luiz Marcelo Antunes	2015
Proposal of a methodology to use offshore wind energy on the southeast coast of Brazil	Mateus Sant'Anna de Sousa Gomes, Jane Maria Faulstich de Paiva, Virgínia Aparecida da Silva Moris, Andrea Oliveira Nunes	2019
The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study	F.F. Freitas, S.S. De Souza, L.R.A. Ferreira, R.B. Otto, F.J. Alessio, S.N.M. De Souza, O.J. Venturini, O.H. Ando Junior	2019
Viabilidade da Bioeletricidade a partir da cana-de-açúcar	Thaís Jeruzza Maciel Póvoas Souto, Antônio Carlos Duarte Coelho, Romildo Morant de Holanda, Alex Souza Moraes, Yenê Medeiros Paz e Rivaldo Antônio Jerônimo da Silva	2018

Fonte: Elaboração própria (2020)

### 3. Desenvolvimento

#### 3.1. Análise sistemática

Rocha et al. (2017) citado por Rigo et al. (2019) em sua pesquisa, afirmam existir uma pressão absoluta por mudanças no consumo e produção de energia em todo o mundo, exigindo que as nações busquem o desenvolvimento sustentável. Khoodaruth et al. (2017) citado por Rigo et al. (2019), dizem que diretamente

relacionado a esse desenvolvimento está o consumo de energia elétrica e a necessidade de encontrar soluções sustentáveis capazes de impedir os efeitos nocivos das emissões de gases poluentes que desencadeiam o efeito estufa e outros problemas ambientais e sociais. Brummer (2018) citado por Rigo et al. (2019), afirma que a transição para um sistema diversificado de energia com fontes renováveis mais expressivas está em andamento e é apoiada por avanços tecnológicos e projeções de demanda. Com isso Rigo et al. (2019) veem a integração de diferentes fontes de geração de energia – diversificação da matriz elétrica – como uma estratégia fundamental para alcançar os objetivos da sustentabilidade.

Nesse sentido, Fernandes et al. (2008) em sua pesquisa, dizem que o Brasil, por ser um país de dimensões continentais, apresenta algumas características particulares interessantes em relação à geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Entre elas, eles citam suas condições topográficas e pluviométricas favoráveis, vastos recursos hídricos e abundância em recursos de energias renováveis. Os mesmos criticam o modelo de geração brasileira baseado quase inteiramente em hidroeletricidade, mas explicam o porquê do país adotá-lo, dizendo que após a Segunda Guerra Mundial, a política elétrica brasileira visava à exploração desse potencial por dois motivos: em primeiro lugar, à proximidade de boa parte desses recursos hídricos às áreas de consumo e, em segundo lugar, à percepção naquele momento de que o Brasil era um país relativamente pobre em combustíveis fósseis, especialmente hidrocarbonetos.

Mas agora o momento é outro, de acordo com Crepaldi, Amoroso e Ando (2018) o setor elétrico brasileiro encontra diversas dificuldades para implantação de grandes novas unidades geradoras, principalmente, devido a problemas ambientais e custos de implantação, o que parece ser uma referência às hidroelétricas e termelétricas. Os mesmos prosseguem dizendo que esse cenário está fazendo com que as empresas busquem por fontes de energia alternativas, como a geração eólica e solar fotovoltaica. Diante disso, Tolmasquim (2016) e Santos et al. (2016) citados por Crepaldi, Amoroso e Ando (2018) afirmam que por este motivo, a geração de energia elétrica por fontes renováveis vem ganhando espaço na matriz energética, principalmente com a geração de energia eólica e solar fotovoltaica.

Seguindo esse raciocínio Cavalcanti e Petti (2008) em seu estudo, destacam a importação de energia elétrica de países vizinhos como fonte alternativa para aumentar o suprimento de energia no sistema elétrico brasileiro, mas afirmam que essa solução apresenta grande risco devido à dependência externa, e prosseguem dizendo que o setor elétrico brasileiro deve considerar a possibilidade de usar outros novos recursos de energia alternativa para complementar sua matriz energética, utilizando, por exemplo, a disponibilidade de energia solar. Em seu estudo, eles avaliam o potencial para implementação de usinas de energia solar, na região semiárida localizada no nordeste do Brasil abrangendo toda a bacia do rio São Francisco, mencionando que apesar do Brasil possuir um dos maiores potenciais hidrelétricos do mundo, estimado em 2005 em 263 GW, e sua matriz de energia elétrica ser constituída principalmente por essa fonte, regiões como o Nordeste possui apenas 10% desse potencial, 26,3 GW, dos quais mais de 15,6 GW já foram explorados em usinas hidrelétricas ao longo da bacia do rio São Francisco.

E especificamente a região Nordeste brasileira possui um consumo de energia elétrica que cresce a uma taxa de 4-6% por ano. Com isso os recursos hídricos desta região serão totalmente utilizados em breve e os custos marginais da nova capacidade a ser instalada aumentarão acentuadamente. Dessa maneira, os autores acrescentam que esses fatos contribuirão para tornarem mais competitivos os custos da eletricidade gerada por fontes de energia alternativas. Enfim, concluem sua pesquisa dizendo que bacia do rio São Francisco pode ser considerada um potencial local para projetos solares na região nordeste, o que se apresenta como uma boa alternativa para a diversificação de fontes geradoras de eletricidade naquela região (Cavalcanti e Petti, 2008).

Nogueira e Ribeiro (2015) também apostam na fonte solar fotovoltaica em sua pesquisa, eles fazem uma análise quantitativa da inclusão de energia fotovoltaica em vários países, além de incentivos para a inclusão dessa fonte no Brasil. Eles destacam pesquisas sobre o potencial de radiação solar no país, mudanças no preço da eletricidade e no custo de investimento em geração fotovoltaica. Através desses dados é discutida a inclusão de energia fotovoltaica na matriz elétrica brasileira, analisando aspectos técnicos e econômicos. Ao longo do

estudo eles concordam que a forte dependência da matriz elétrica brasileira pela fonte hídrica torna o país vulnerável, principalmente quando há longos períodos de seca, e complementam dizendo que a diversificação é um elemento estratégico importante para aumentar a confiabilidade do sistema de geração de energia elétrica, seguindo o mesmo raciocínio da presente pesquisa. Os mesmos afirmam que o incentivo do governo é um fator determinante para a inclusão desse tipo de fonte de energia, uma vez que o retorno do investimento é de longo prazo e os custos de instalação ainda são altos. Além disso, afirmam também que os custos associados à instalação fotovoltaica têm sido uma das principais barreiras à disseminação dessa fonte no Brasil, no entanto, citam estudos que indicam vantajosas reduções no setor fotovoltaico ao longo dos próximos anos. E por fim os autores mencionam o quanto que o Brasil é privilegiado em termos de radiação solar, mas que é muito pouco aproveitado, e mostram ainda, que países com potencial muito menor, como a Alemanha, exploram ao máximo este recurso renovável e adquirem enormes benefícios trazidos por ele.

Mendes et al. (2016) também veem a energia solar fotovoltaica como uma boa opção para a diversificação da matriz elétrica brasileira. Reis (2011) citado por Mendes et al. (2016), acredita que a implementação de fontes alternativas permite uma maior diversificação e uma "limpeza" da matriz brasileira, além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa e trazer mais segurança no abastecimento. Embasando sua opinião, Mendes et al. (2016) dizem que de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA em inglês), o sol é a fonte de energia com maior potencial para suprir a crescente demanda mundial de energia, e que aproveitar apenas 0,01% da radiação solar seria suficiente para fornecer toda a energia necessária ao mundo. Os mesmos autores criticam que atualmente, no Brasil, qualquer aumento na geração de energia elétrica implica necessariamente a queima de combustíveis fósseis em usinas termelétricas, mencionando que mesmo a geração de eletricidade no Brasil sendo baseada principalmente em fontes hidráulicas, usinas térmicas são indispensáveis para complementar a geração de energia, principalmente em épocas de baixa pluviosidade.

Sabe-se que ao utilizar as usinas térmicas, o país contribui significativamente para a queima de combustíveis fósseis, uma vez que a queima de gás e carvão corresponde a aproximadamente 64% da geração térmica e, portanto, gera dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e enxofre (ELETROBRAS, 2016 apud Mendes et al., 2016). Favaretto (1997) citado por Mendes et al. (2016), acrescenta que a emissão desses gases intensifica a chuva ácida, o efeito estufa e altera o clima do mundo, causando danos à saúde humana; ademais, Mendes et al. (2016) afirmam ainda que existem inúmeros estudos que correlacionam a escalada da poluição com o aumento de internações devido a problemas respiratórios e cardiovasculares, aumentando os gastos em saúde pública.

Sem contar o aumento significativo no preço da eletricidade no Brasil devido à geração termelétrica que traz consigo a imposição de impostos extras que variam de acordo com o sistema de bandeiras tarifárias: bandeiras verde, amarela e vermelha que indicam se a energia custa mais ou menos, dependendo das condições de geração de eletricidade. Nesse sentido, Mendes et al. (2016) trazem em seu estudo o objetivo de estabelecer um método para estimar as vantagens econômicas da microgeração distribuída por energia solar fotovoltaica para residências, em relação à quantidade evitada de gastos pelo governo para mitigar efeitos negativos, especificamente problemas de saúde, relacionados à poluição causada por usinas termelétricas (lembrando que os autores consideram em seus cálculos os danos à saúde causados por uma termelétrica movida a óleo). E por meio de um estudo de caso, os autores sugerem alguns incentivos que poderiam ser oferecidos aos cidadãos que instalassem sistemas de energia solar em suas casas, uma vez que contribuiriam para reduzir os custos de saúde pública, visto que reduziria o emprego de usinas termelétricas e suas consequentes emissões.

Na mesma linha de raciocínio, Pinto, Amaral e Janissek (2016) também defendem em sua pesquisa a energia solar como uma alternativa para a diversificação da matriz elétrica brasileira. Ordenes et al. (2007), MME (2011), Rüther e Napolini (2011), ANEEL (2014), Pao e Fu (2013), Reuters (2014), Mohammed et al. (2014) e EPE (2014) citados por Pinto, Amaral e Janissek (2016), afirmam que o Brasil é um país em que a intensidade da radiação solar e várias variáveis econômicas favorecem o uso de tecnologias solares. Razykov et al. (2011), Saidur et al. (2011), Moosavian et al. (2013) e Enteria et al. (2014) citados por Pinto, Amaral e



Janissek (2016), afirmam que a crescente demanda por energia, resultante do aumento das atividades socioeconômicas em todo o mundo, deve ser considerada em termos de eficiência, confiabilidade e aspectos ambientais e que nesse sentido, alternativas de energia renovável tornaram-se o foco de muitos estudos que abordam questões ambientais e econômicas.

Nesse contexto, Razykov et al. (2011), Mahesh e Jasmin (2013), Cicea et al. (2014) e Enteria et al. (2014) citados por Pinto, Amaral e Janissek (2016), afirmam que a energia solar possui grande potencial para contribuir com muitos dos aspectos sociais e ambientais da demanda crescente de eletricidade. Pois além de baixas emissões de carbono, a energia solar não requer entrada de combustível fóssil e pode apresentar um tempo de retorno favorável se implantado sob condições adequadas de irradiação. Nesse sentido, Pinto, Amaral e Janissek (2016) demonstram que as irradiações solares consideradas boas para a geração de eletricidade (acima de 4 kW h/m<sup>2</sup> por dia) cobrem mais de 90% do território brasileiro. E mostram ainda, que a favor da implantação de alternativas baseadas em energia solar estão a Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que demonstraram que o potencial brasileiro de energia solar excede aproximadamente 230% de seu atual consumo de eletricidade e também que os custos de implantação de soluções fotovoltaicas tendem a diminuir anualmente na faixa de 3,3 a 6,5% até 2030 (EPE, 2013, 2014 apud Pinto, Amaral e Janissek, 2016). Apesar desse cenário bastante favorável, ao analisar as dificuldades do Brasil em fazer uso desta tecnologia, Bodach e Hamhaber (2010), Silva et al. (2010), Ruiz-Arias et al. (2015), Saidur et al. (2011), Rütther e Zilles (2011), Echegaray (2014) e Moosavian et al. (2013) citados por Pinto, Amaral e Janissek (2016) afirmam que os principais causadores do impedimento do avanço da energia solar no país são a falta de políticas e de programas governamentais que estimulem a instalação fotovoltaica e que contribuam para a criação de um mercado mais competitivo para fabricantes e varejistas.

Também a favor da diversificação da matriz elétrica brasileira, Rigo et al. (2019), realizaram uma pesquisa envolvendo energia solar fotovoltaica. Eles iniciam sua pesquisa dizendo que a energia solar fotovoltaica é uma fonte essencial para a transição da geração de energia não renovável para a geração de energia limpa em todo o mundo. E acrescentam que uma das opções para aumentar a participação da fotovoltaica na matriz energética brasileira é investir em Geração Distribuída de Pequena Escala. Nesse contexto, os autores trazem como objetivo de sua pesquisa, discutir quais são os fatores críticos de sucesso para o crescimento da energia solar fotovoltaica em pequena escala no Brasil. Diante disso, constatam que os principais aspectos favoráveis ao sucesso da energia solar fotovoltaica no país são a alta viabilidade técnica da produção de energia, devido aos altos níveis de irradiação solar no país e o bom equilíbrio com a matriz elétrica brasileira composta principalmente por usinas hidrelétricas, pois quando há secas, enquanto a produção hidrelétrica diminui, a fotovoltaica aumenta.

Em contrapartida, Rigo et al. (2019) mencionam os aspectos impeditivos, que são barreiras para alcançar o sucesso, são eles: falta de produção nacional de módulos fotovoltaicos; logística cara e lenta; altos custos dos sistemas e dificuldades de financiamentos. Contudo, os autores acreditam que essas barreiras podem ser superadas por meio de políticas públicas para incentivar o desenvolvimento do mercado de energia fotovoltaica. Diante disso, os autores identificam como principal barreira para o crescimento da energia fotovoltaica no país, a falta de incentivo de programas e políticas públicas, o que gera uma relação de causa e efeito com as demais barreiras. Com os resultados obtidos na pesquisa, os mesmos autores analisam se o sucesso da energia solar fotovoltaica em pequena escala é possível no Brasil, e trazem como resposta: sim. Eles afirmam que há muito espaço para o crescimento da energia solar fotovoltaica no país, e que o país oferece diversas condições favoráveis para o sucesso da mesma, faltando apenas incentivos governamentais ao seu desenvolvimento.

Agora, considerando uma outra fonte de energia, mas ainda no contexto renovável, Ramos et al. (2015) apostam na geração de eletricidade a partir do vento, chamada energia eólica. Eles afirmam que esta apresenta-se como uma das energias alternativas mais viáveis para diversificar a matriz elétrica brasileira e suprir a crescente demanda por eletricidade no país. Os autores prosseguem sua pesquisa dizendo que a energia

hidrelétrica é a principal fonte de energia elétrica do país. No entanto, com os recentes períodos sem chuva suficiente para sustentar a demanda de produção de energia, passou a não representar tanta segurança no suprimento energético, sendo necessário complementações de outras fontes geradoras de energia. Nesse contexto a energia eólica mostrou-se uma boa fonte de energia alternativa para contribuir com a matriz elétrica nacional, e à medida que novas áreas potenciais são descobertas, sua atração aumenta. Foi destacado os valores de investimentos relativamente altos para esta tecnologia, visto que seus equipamentos são na maioria importados, o que prejudica a expansão dos parques eólicos. Nesse sentido, os autores levantam a necessidade de investimentos em pesquisa nacional, para que o próprio país passe a desenvolver tecnologias do setor. Com isso os custos seriam diminuídos significativamente, o que possibilitaria um maior desenvolvimento do setor eólico no país, fazendo com que a energia eólica contribua de forma bastante significativa na matriz elétrica brasileira.

Também a favor da energia eólica para diversificação da matriz elétrica brasileira, Raimundo et al. (2018) em sua pesquisa avaliam o potencial de emissões evitadas de dióxido de carbono devido ao desenvolvimento da energia eólica no Brasil. Eles iniciam sua pesquisa dizendo que existe uma preocupação crescente com o aquecimento global e com o que a humanidade deixará para as gerações futuras, e que isso inspirou pesquisas sobre métodos alternativos de produção de energia e incentivou o pensamento sobre sustentabilidade e conservação ambiental. Nesse contexto a energia eólica se torna relevante, afirma Carvalho (2017) citado por Raimundo et al. (2018), pois trata-se de uma fonte de energia renovável e limpa – visto que a energia eólica utiliza um recurso natural inesgotável, não gera desperdício durante a operação e apresenta níveis muito baixos de emissão de gases de efeito estufa.

Raimundo et al. (2018) alegam ainda, a existência de vários estudos acerca do fator de emissão do ciclo de vida de um parque eólico em diferentes locais, obtendo valores que variam de 7,1 a 34,1 gCO<sub>2</sub>eq/kWh. Diante disso, puderam notar que esses valores estão bem abaixo dos valores médios de outras fontes de energia como carvão (1,001 gCO<sub>2</sub>eq/kWh), gás natural (469 gCO<sub>2</sub>eq/kWh) e energia solar fotovoltaica (46 gCO<sub>2</sub>eq/kWh) (IPCC, 2012 apud Raimundo et al. 2018). Neste contexto, Raimundo et al. (2018) enfatizam que as diferenças entre as emissões de energia eólica e outras fontes geradoras demonstram o enorme potencial desse tipo de energia em benefício da redução de emissões de CO<sub>2</sub>.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2016) citado por Raimundo et al. (2018), o desenvolvimento futuro de fontes renováveis de energia, como a energia eólica, é um dos principais fatores para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse sentido, Raimundo et al. (2018) afirmam também que a redução de emissões de GEE tem grande relevância social, econômica e ambiental para o Brasil e para o mundo, pois essa minimização combate os impactos das mudanças climáticas. Nesse contexto, Salati et al. (2008) citados por Raimundo et al. (2018), afirmam que as mudanças climáticas podem ter um grande impacto nos recursos hídricos do Brasil, alterando as taxas de evapotranspiração e o balanço hídrico, que vêm apresentando resultados alarmantes para algumas bacias hidrográficas, principalmente na região Nordeste, onde as vazões dos rios podem sofrer reduções bastante significativas.

Schaeffer et al. (2009) citados por Raimundo et al. (2018), dizem que as mudanças climáticas podem afetar a confiabilidade da geração hidrelétrica, reduzindo em até 30% a energia que pode ser gerada nas Regiões Norte e Nordeste. E que além disso, as mudanças climáticas podem aumentar a demanda de energia devido ao aumento do uso de ar condicionado no país em até 6% no setor residencial. Nesse cenário, Huback et al. (2016) citados por Raimundo et al. (2018), afirmam que a questão mais preocupante é que geralmente os agentes públicos e privados do setor elétrico não incorporam os efeitos de futuras mudanças climáticas no planejamento, operação e investimentos. E por fim, Raimundo et al. (2018) afirma que apesar do crescimento recente da energia eólica, ainda há muito potencial eólico a ser desenvolvido no Brasil.

Amarante et al. (2001) citado por Raimundo et al. (2018), afirmam que o potencial total disponível no Brasil é estimado em 143,5 GW para turbinas eólicas que operam a uma altura de 50 m, sem contar o potencial offshore, praticamente inexplorado no Brasil. Nesse contexto, Raimundo et al. (2018) concluem que o

crescimento eólico poderia ajudar a atingir metas de redução de emissões assumidas pelo governo brasileiro no Acordo de Paris de 2016, reduzindo assim os riscos provenientes das mudanças climáticas, além de diversificar a matriz elétrica brasileira, tornando-a mais segura em termos de fornecimento e trazendo outras vantagens ambientais que esta fonte de energia renovável proporciona.

Seguindo o mesmo viés de incentivo à energia eólica Alkmim, Fabro e Morais (2018), em sua pesquisa, afirmam que o atual cenário brasileiro de energia está passando por mudanças impactantes. E que existe uma clara necessidade de ajustar o atual setor de energia que apresenta um desequilíbrio devido à dependência quase que exclusivamente da energia hidrelétrica. Eles afirmam que este cenário traz a necessidade de diversificar a matriz elétrica brasileira, incluindo outras fontes de energia eficientes e renováveis. Entre as opções disponíveis, os autores destacam a energia eólica. Desta forma, os autores fazem em sua pesquisa uma abordagem de otimização para os parâmetros de TLCDC (*tuned liquid column dampers* - amortecedores de coluna líquidos sintonizados), e encontram uma redução satisfatória nos níveis de vibração e mostram que diferentes perfis de vento podem afetar significativamente os resultados de otimização. Desta forma o setor eólico segue se otimizando e se tornando cada vez mais viável.

Também a favor da diversificação da matriz elétrica brasileira, Santos e Antunes (2015) também acreditam que a energia eólica seja o melhor caminho. Em sua pesquisa, eles mencionam que após o acidente nuclear de Chernobyl em 1986 e Fukushima em 2011, países como Dinamarca, Alemanha e China deram relevante importância à implantação de energias renováveis para suprimento energético. No Brasil, a primeira motivação se deu após a última crise energética ocorrida em 2001, quando houve os famosos apagões, racionamento de energia e a necessidade de implantação emergencial de termelétricas. E afirmam que em decorrência disso, em 2002 foi criada a lei 10.438 (PROINFA) com o intuito de ampliar a matriz elétrica Brasileira com a inserção de mais fontes alternativas de energia elétrica, englobando biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e eólica.

Santos e Antunes (2015) enfatizam que a matriz elétrica Brasileira tradicionalmente é composta pelo modelo hidrotérmico, porém, o advento da fonte eólica para geração de energia elétrica nos últimos anos, é destacável, no aspecto técnico, econômico, social e ambiental. E que mesmo não sendo considerada ou reconhecida como uma fonte de energia segura, a geração por meio da fonte eólica, traz questionamentos e reflexões a respeito da possibilidade de mudanças no atual modelo elétrico nacional, especialmente para algumas regiões brasileiras com vantajosa disponibilidade eólica para geração de energia elétrica. Na mesma pesquisa, os autores afirmam que o Brasil está dando um grande passo para o desenvolvimento no setor eólico, a exemplo de países como Alemanha e Dinamarca, mesmo que inconscientemente, ao passo que leilões são celebrados possibilitando a expansão da oferta de energia por meio dessa fonte. E concluem, a favor da fonte eólica, dizendo que os níveis de incerteza são pequenos e perfeitamente possíveis de seu atingimento e conseqüentemente o rompimento do paradigma do atual modelo brasileiro.

Gomes et al. (2019) também consideram a energia eólica como a principal fonte de geração para diversificar a matriz elétrica brasileira, mas diferente dos demais autores, estes incentivam a produção de energia eólica *offshore*. Destacam a disponibilidade de espaço e baixo impacto visual e sonoro como vantagens para o desenvolvimento de aplicações *offshore*; segundo o Conselho Global de Energia Eólica - GWEC (2017) citado por Gomes et al. (2019), afirma que entre 2010 e 2016, a energia eólica *offshore* mostrou um aumento na capacidade instalada global de aproximadamente 250%. Gomes et al. (2019), com a mesma percepção dos demais autores citados anteriormente, também mostram que o Brasil possui uma matriz de energia elétrica composta principalmente por usinas hidrelétricas, e que essa predominância demonstra uma enorme fragilidade no suprimento de energia, devido a sujeição às mudanças climáticas. Além disso, mencionam que muitas vezes é necessário usar fontes de energia mais caras e com maiores impactos ambientais para complementar o suprimento de energia, como por exemplo as termelétricas.

De encontro a esse atual sistema, Gomes et al. (2019) incentivam o uso de outras fontes de energias renováveis para que essa complementação ocorra de maneira limpa e sustentável em períodos de menor

produção de energia nas usinas hidrelétricas. E dentre as energias renováveis, eles apostam na energia eólica *offshore* para realizar esta complementação, principalmente devido ao fato de o Brasil possuir uma vasta costa que se estende ao longo do Oceano Atlântico, cobrindo aproximadamente 8000 km, uma Zona Econômica Exclusiva (ZEE) de aproximadamente  $3,5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> e grandes concentrações populacionais em áreas costeiras e também pelo fato de que o período do ano em que ocorre a seca, coincide com o período de melhor incidência eólica. Os mesmos autores prosseguem sua pesquisa dizendo que, embora atualmente o Brasil esteja entre os maiores produtores de energia eólica *onshore* do mundo, ainda não começou a desenvolver essa fonte de energia no segmento *offshore*. Nesse sentido, os autores buscaram desenvolver uma metodologia que pudesse ser facilmente replicada usando ferramentas de acesso livre, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento da tecnologia eólica *offshore* e pesquisas futuras no país. Os resultados obtidos mostraram um enorme potencial de produção de energia eólica *offshore* na região litoral do estado do Rio de Janeiro, principalmente nos municípios de Cabo Frio e Arraial do Cabo. Também mostraram que, tecnicamente, a região sudeste do Brasil é capaz de complementar sua matriz energética com energia eólica *offshore*. E finalmente concluíram que, com a ajuda de avaliações econômicas e incentivos fiscais, os parques eólicos *offshore* podem contribuir consideravelmente com energia limpa e renovável para a matriz elétrica da região sudeste, tornando-a sustentável, diversificada e segura.

Já Lima e Souza (2015), também preocupados com a questão de diversificação da matriz elétrica brasileira, principalmente diante das crescentes alterações climáticas e ambientais devido ao crescimento tecnológico e à utilização de fontes de geração de energia não sustentáveis, apresentam em sua pesquisa a geração híbrida eólico-solar, como proposta sustentável, para a composição da matriz energética brasileira, contextualizando em nível internacional, mecanismos de viabilização dos sistemas híbridos, através de um estudo bibliográfico, argumentando como este sistema poderia contribuir para o sistema elétrico brasileiro. Os autores afirmam que o mundo atualmente se dedica a pesquisas de novas fontes energéticas, equipamentos, instalações e estratégias, visto que o interesse agora é desenvolver tecnologias que ofereçam suporte para utilizar energias limpas, de maneira mais barata e mais competitiva, e completam dizendo que uma alternativa plausível seria a utilização de um sistema híbrido eólico-solar, alternando o uso da energia eólica com a energia solar, através de uma combinação, onde o uso de um tipo de energia complementar o uso da outra, considerando alterações climáticas e relevo de cada região.

No estudo em questão, Lima e Souza (2015) afirmam que a aplicação HRES (*Hybrid Renewable Energy Systems* - Sistemas Híbridos de Energias Renováveis) deve ser estimulada, principalmente para fornecimento de energia em locais de acesso limitado. Além disso, apresentam também subsídios para analisar como a geração híbrida eólico-solar poderia contribuir para o desenvolvimento sustentável de uma região, aumentando a variabilidade de fontes geradoras na matriz elétrica brasileira. É destacado também os desafios enfrentados no sistema de energia para os países em desenvolvimento, no que tange a limitação de acesso à energia elétrica, sendo este considerado como um fator chave na perpetuação da pobreza em todo o mundo, comprometendo o progresso socioeconômico de uma região, e sugerem um ponto de partida que seria a eletrificação rural, e apontam que um sistema híbrido eólico-solar seria um bom começo.

Sugerindo outra fonte de energia elétrica, mas ainda no contexto de energia renovável, Souto et al. (2018) defendem a energia provinda de biomassa, neste caso da cana-de-açúcar, como uma ótima fonte geradora para a diversificação da matriz elétrica brasileira. Eles afirmam que pesquisas vêm sendo desenvolvidas com atenção voltada para a produtividade energética e garantia da sustentabilidade, de forma a reduzir ao máximo os impactos ao meio ambiente. Neste sentido Himmel et al. (2007) citado por Souto et al. (2018), afirmam que com a iminência da escassez das reservas de petróleo, principal fonte energética mundial, juntamente com as preocupações geradas pelas graves consequências causadas pelo efeito estufa ao meio ambiente, a procura por melhorias nos sistemas energéticos existentes e a busca por novas fontes de produção de energia têm sido cada vez maiores.

Viana (2011) citado por Souto et al. (2018), acrescenta que tanto no mercado internacional, como no

Brasil, a biomassa vem sendo uma das principais escolhas para a diversificação da matriz eletroenergética e diminuição da utilização dos combustíveis fósseis. Além disso, Souto et al. (2018) ressaltam que a preocupação com o melhor aproveitamento energético da biomassa da cana-de-açúcar vem sendo estimulada pelas recentes crises hídricas, pois neste cenário se torna uma possibilidade para atendimento complementar da demanda energética. Com isso, os autores acreditam num cenário de busca contínua pelo aumento da eficiência eletroenergética nas operações das usinas de cana-de-açúcar. Como prova disso, os autores afirmam que a cada ano que passa, vem sendo rompida a cultura de que as usinas de cana-de-açúcar têm como seu principal produto o açúcar e o etanol, visto que a bioeletricidade também passa a ser interessante aos olhos dos produtores, pelo grande potencial de cogeração e a autossuficiência elétrica das usinas.

Souto et al. (2018) comentam que a bioenergia através da biomassa da cana-de-açúcar no Brasil destaca-se entre as fontes energéticas renováveis, especialmente, por este país ser considerado o maior produtor de cana-de-açúcar (MAPA, 2014 *apud* Souto et al. 2018). Cardoso (2012) citado por Souto et al. (2018), acrescenta outras vantagens que o Brasil possui para a exploração do uso da biomassa como fonte de energia, são elas: grande extensão de terras agricultáveis e clima e solo propícios para esse fim. Além do mais, Silva (2009) citado por Souto et al. (2018) afirma que a geração de energia através da biomassa da cana-de-açúcar se adequa perfeitamente como complemento às hidrelétricas, pois o período da safra brasileira da cana-de-açúcar coincide com o período de seca no país. E em paralelo, Souto et al. (2018) citam ainda, mais uma vantagem, quando afirmam que o aumento do setor sucroenergético ocasiona o fim da queima de canaviais com vistas a garantir uma maior produção de biomassa, suficiente para gerar bioeletricidade, e consequentemente evitando emissões de poluentes atmosféricos.

Freitas et al. (2019) também veem a biomassa como uma fonte potencial de energia renovável para a diversificação da matriz eletroenergética brasileira. Silva (2014) citado por Freitas et al. (2019), afirma que entre as fontes alternativas utilizadas no Brasil, destacam-se a solar, a eólica e a biomassa. Embora todas elas tenham um papel significativo na matriz de energia renovável, o interesse de Freitas et al. (2019) em sua pesquisa é o setor de biomassa, especialmente a produção de biogás. Ferreira et al. (2018) e Mathias e Mathias (2015) citados por Freitas et al. (2019), afirmam que o biogás produzido a partir da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos é um recurso renovável relevante que desempenha um papel importante na mitigação de problemas ambientais, além de contribuir significativamente para gerar eletricidade no Brasil.

Além disso, Freitas et al. (2019) citam outros efeitos positivos como a descentralização da distribuição territorial de energia, a prevenção da poluição ambiental, a redução do consumo de combustíveis fósseis, a criação de fontes de renda e emprego e também a recuperação de resíduos de biomassa. Freitas et al. (2019) prosseguem sua pesquisa dizendo que a composição do biogás produzido a partir da digestão anaeróbica está diretamente relacionada ao tipo de matéria orgânica decomposta. Assim, considerando a amplitude da biomassa existente, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) classifica o biogás usado para produzir eletricidade em quatro grandes grupos: (i) resíduos florestais, (ii) resíduos sólidos urbanos, (iii) resíduos animais e (iv) resíduos agroindustriais. Nesta classificação, os autores afirmam que a fonte predominante de biogás para geração de eletricidade no Brasil são os resíduos sólidos urbanos. Através dessa percepção, os autores veem a geração de biogás como além de uma alternativa à diversificação da matriz elétrica brasileira, também como uma alternativa à diminuição ou mitigação dos impactos globais decorrentes da geração de resíduos sólidos urbanos. Nesse sentido, é afirmado que o método mais atraente de converter esses resíduos em combustível útil, é através da digestão anaeróbica, que produz biogás que pode ser usado para alimentar motores de combustão interna ou pequenas turbinas a gás. Com isso, os resíduos que eram vistos como uma produção negativa ou passivo ambiental, agora têm o potencial de gerar diferentes produtos, como o biogás e posteriormente energia em forma de calor ou eletricidade – uma energia limpa, que limpa. Os autores mencionam que embora os benefícios da produção de biogás e sua vinculação à geração de energia sejam tecnicamente validados em pesquisas e já tenham sido aplicados em áreas rurais e urbanas, algumas lacunas precisam ser preenchidas. Atualmente, o maior obstáculo é a falta de políticas e regulamentos públicos que

subsidiem esses projetos para viabiliza-los economicamente.

Brignol et al. (2016) também acreditam no biogás como uma fonte para auxiliar na diversificação da matriz elétrica brasileira, principalmente por meio da conexão de geração distribuída (GD) utilizando o biogás proveniente de esterco suíno. Os autores trazem como objetivo estimar o potencial de geração de energia a partir de biogás derivado de esterco suíno e analisam também o impacto da conexão de GD em uma rede de distribuição. Na mesma pesquisa os autores afirmam que nos últimos anos, o aumento do consumo de eletricidade no Brasil ocorre mais rapidamente do que a melhoria necessária para a capacidade adequada de geração, transmissão e distribuição, acrescentando que no Brasil, o sistema elétrico é predominantemente composto por usinas enormes e centralizadas, principalmente térmicas e hidrelétricas – cujos processos de construção são demorados – e, que se for para atender à crescente demanda num futuro próximo com este tipo de empreendimento, poderão ser ocasionados períodos de escassez e consequentes crises energéticas, devido à demora em sua implantação. Nesse contexto é afirmado que uma maneira de minimizar esse problema é diversificar a matriz energética brasileira utilizando fontes de energia renováveis, e nesse trabalho em específico eles enfatizam o biogás como uma possível alternativa. Os autores dizem que a geração de eletricidade a partir do biogás proveniente de esterco suíno é renovável e pode ser armazenada, tornando-se uma possibilidade cada vez mais atraente, com potencial de promover o desenvolvimento econômico das regiões rurais. Concluem-se que a conexão de uma GD alimentada por biogás ao sistema de distribuição é positiva para distribuidores de energia, para suinocultores e até para o meio ambiente: para os distribuidores de energia, a geração distribuída pode adiar investimentos na rede; para os criadores de suínos, além da autossuficiência energética, a instalação de uma geração distribuída pode permitir a venda de excesso de energia aos distribuidores, obtendo outro recurso de lucro, e para o meio ambiente, passa a existir um melhor destino para o esterco suíno e também sua recuperação de energia.

Seguindo um outro pensamento, mas ainda favorável à diversificação da Matriz Elétrica Brasileira, Fernandes et al. (2008) acreditam que usinas termelétricas a gás natural sejam uma boa opção para diversificar o sistema de suprimento elétrico brasileiro. Nesse estudo eles mostram a necessidade de o país implementar projetos de eletricidade térmica a gás natural, de maneira a permitir flexibilidade e garantir maior confiabilidade de fornecimento para todo o setor elétrico brasileiro. Considerando a tendência mundial de energia renovável, os autores também analisam as perspectivas de uso de biocombustíveis na matriz energética brasileira e na geração de energia elétrica. Os estudos realizados pelos órgãos de planejamento do Ministério de Minas e Energia (MME) em relação aos cenários mais prováveis de crescimento da indústria brasileira, mostram claramente o importante papel reservado ao gás natural (GN) como uma resposta rápida à crescente demanda por energia, necessária para viabilizar o desenvolvimento sustentável no país, visto que o uso de gás natural apresenta-se como uma alternativa mais econômica e menos agressiva à natureza se comparado a outros combustíveis fósseis – o que é comprovado no estudo de Mendes et al. (2016) apresentado anteriormente, que apesar de fazer pesadas críticas às termelétricas, ao se tratar destas quando utilizam como combustível o Gás Natural a ciclo combinado, não apresentam emissão de SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>, apenas CO<sub>2</sub> e em baixa quantidade.

Fernandes et al. (2008) sugerem como saída caso surjam problemas com o fornecimento de gás natural, principal impedimento, a possibilidade de transformar usinas termelétricas movidas a gás em termelétricas movidas a biocombustível (combustível duplo), usando diesel, álcool ou óleo combustível, demonstrando desta forma maior segurança no fornecimento. Os autores também fazem críticas às hidrelétricas, dizendo que os pesados investimentos necessários para a construção de usinas hidrelétricas, associados à crescente pressão internacional para minimizar a agressão ambiental, não favorecerem a continuidade de projetos hidrelétricos futuros, e acrescentam ainda, que o fato de a localização geográfica dessas usinas ser em sua maioria longe dos grandes centros urbanos, implica no aumento de gastos em sistemas de transmissão, que é hoje o principal fator limitante no desempenho do sistema elétrico brasileiro. No mesmo estudo os autores também incentivam a implementação de biocombustíveis como uma alternativa segura e diversificada ao país em muitos segmentos de atividades econômicas. No entanto, no que diz respeito à geração de energia elétrica, eles dizem que fontes

alternativas renováveis atualmente não são competitivas em comparação ao gás natural, trazendo desta forma, como única alternativa viável à complementação da geração hídrica, a geração termoelétrica a gás natural. Por fim eles atribuem esse destaque às termelétricas devido ao uso das turbinas a gás natural, pois sempre há a possibilidade de avanços em seu desempenho tecnológico, o que praticamente não ocorre com as turbinas hidráulicas, o que confere às termelétricas movidas a GN outros horizontes de possibilidades. E considerando esse avanço e também que é quase impossível implementar novas hidrelétricas no país devido ao tempo de construção e aos impactos ambientais, a quantidade de investimento de capital necessário em usinas termelétricas se torna uma janela de oportunidade.

Já na contramão do viés desta pesquisa, que visa principalmente embasar a necessidade de diversificação das fontes geradoras da matriz elétrica brasileira devido à sua enorme dependência pela fonte hídrica, Ferreira et al. (2016) em sua pesquisa, trazem como objetivo mostrar o contexto atual das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) no Brasil, apresentando e discutindo os atos institucionais, regulamentos, políticas públicas e privadas e perspectivas para o crescimento das PCHs no setor elétrico brasileiro. Eles afirmam que o uso de fontes renováveis é a solução mais valiosa para reduzir os problemas ambientais associados à geração de energia baseada em combustíveis fósseis e alcançar um desenvolvimento energético limpo e sustentável. Eles também apontam que as fontes: hídrica, eólica, biomassa, solar e geotérmica estão entre as fontes renováveis mais importantes para geração de energia. Com foco na fonte de geração hídrica, os autores mencionam que apesar do Brasil possuir um enorme potencial hidroelétrico, apenas cerca de 30% deste potencial foi explorado.

Nesse contexto, a EPE (2006) citada por Ferreira et al. (2016) afirma que muitos estudos argumentam que a base da expansão do suprimento de eletricidade no Brasil será, mesmo em uma perspectiva de longo prazo, a hidroeletricidade, devido às dimensões do potencial hidrelétrico brasileiro, especialmente porque a taxa de utilização deste potencial é relativamente pequena em comparação com outras nações industrializadas (Alemanha, Japão, Estados Unidos e Noruega). Portanto, Ferreira et al. (2016) afirmam que a expansão do suprimento de eletricidade no Brasil possa realmente se basear na hidroeletricidade mais uma vez. Nesse cenário, os mesmos autores defendem as pequenas centrais hidrelétricas, destacam vários motivos que fazem destas um elemento essencial para o desenvolvimento sustentável, e as definem como uma forma alternativa de produzir energia hídrica que vem ganhando destaque na matriz energética brasileira, devido ao grande potencial hidrelétrico disponível, e principalmente pelo fato dos locais de exploração de usinas hidrelétricas de grande porte já estarem escassos, portanto, a forma mais viável de buscar esse potencial existente é através de pequenas explorações utilizando as PCHs.

Os autores acrescentam ainda, que entre as tecnologias de energia renovável, a pequena central hidrelétrica é uma das mais atraentes e provavelmente a mais antiga tecnologia de energia limpa. Kosnik (2010) citado por Ferreira et al. (2016), diz que a maioria das instalações de PCHs são a “fio d'água”, o que significa que o fluxo natural do rio é mantido e que não é necessário a criação de reservatórios represados para gerar energia. Então, sem uma barragem permanente para bloquear o fluxo do rio, nem um grande reservatório para inundar terras, perturbar os níveis de temperatura e alterar a composição do rio, muitos dos efeitos negativos causados pelas hidrelétricas tradicionais são evitados. Desta forma, projetos de PCHs podem ser instalados em rios, pequenos riachos e canais, com efeitos ambientais aparentemente desprezíveis. Desta forma Ferreira et al. (2016) finalizam sua pesquisa dizendo que deve ser dada uma maior atenção pelas políticas governamentais do setor elétrico às PCHs, para que seja possível alcançar no futuro, todo seu potencial disponível no Brasil.

Alves e Uturbey (2010) também incentivam a diversificação da Matriz elétrica brasileira, eles realizaram uma importante pesquisa, que traz como objetivo enfatizar a importância de incluir os custos de degradação ambiental no planejamento de longo prazo do setor elétrico brasileiro. Para este objetivo, eles investigam os custos externos ambientais associados à geração de energia hidrelétrica e termelétrica. E ao contrário do que diz Ferreira et al. (2016) sobre a expansão futura do suprimento de eletricidade no Brasil se basear mais uma vez na hidroeletricidade, eles afirmam que devido aos variados efeitos negativos ambientais e sociais, o setor

elétrico brasileiro enfrenta importantes desafios. E nesse contexto, eles mencionam o processo de licenciamento ambiental, que está muito mais rigoroso com empreendimentos hidrelétricos do que com empreendimentos termelétricos baseados em combustíveis fósseis. E como consequência, não é possível construir grandes reservatórios de água e, portanto, a matriz elétrica predominantemente hídrica deve ser diversificada para garantir a segurança do suprimento de energia elétrica. Assim, Alves e Uturbey (2010) acreditam que há uma forte tendência de que a expansão da geração elétrica no Brasil seja realizada com uma matriz energética mais diversificada.

E para finalizar, Guerra et al. (2015) em sua pesquisa, afirmam que o Brasil é sem dúvidas um país com considerável capacidade de geração de energia, e sua diversidade permite melhorar sua matriz energética implementando o uso de fontes de energia renováveis. Afirmam também que o desenvolvimento de tecnologias e incentivos ao uso de energias renováveis, juntamente com ações em eficiência energética, certamente confirmarão o Brasil em uma posição de destaque entre os geradores de energia limpa mais eficientes, levando o país a se destacar, em um futuro próximo, como um dos mais baixos geradores de carbono do mundo. Acrescentam ainda que em comparação com o resto do mundo, a matriz de produção de eletricidade do Brasil é altamente limpa e eficiente, porém muito dependente de recursos hídricos, o que traz grande preocupação, devido à questão da escassez de chuva em certas épocas do ano, que pode exigir atenção especial para esse tipo de suprimento. Eles prosseguem sua pesquisa dizendo que a capacidade eólica e solar do Brasil merece destaque, e esperam que o uso dessas fontes aumente no futuro. Nesse sentido, eles acreditam que deverá haver uma prevalência de energia solar por causa das grandes reservas disponíveis de silício no país, uma matéria-prima essencial usada para produzir células fotovoltaicas. E por fim, fazem uma afirmação alarmante, dizendo que excedendo as questões relacionadas à produção de eletricidade, não é possível verificar a redução do consumo de derivados de petróleo e, pelo contrário, é esperado um aumento contínuo desse consumo, com graves implicações para o meio ambiente. E que por esse motivo, é importante que o Brasil adote medidas de eficiência e mitigação de energia ainda mais profundas e mais abrangentes.

#### 4. Considerações finais

O Brasil, apesar de ser um país de dimensões continentais, com potencial de geração elétrica de diversas fontes, possui hoje uma matriz elétrica baseada predominantemente em hidroeletricidade, e isso traz grande preocupação aos autores, devido aos diversos fatores negativos que incidem sobre a fonte hídrica, principalmente, sobre as hidrelétricas. Alguns deles são: (i) altos custos de implantação, (ii) alta vulnerabilidade, principalmente quando há longos períodos de seca – sujeição às variações climáticas, (iii) processos de construção muito demorados, (iv) localização geográfica das usinas, que na sua maioria são longe dos grandes centros urbanos, o que implica no aumento de gastos em sistemas de transmissão e (v) causa de diversos impactos ambientais e sociais, principalmente durante a sua instalação, o que dificulta no processo de licenciamento ambiental, que está muito mais rigoroso com empreendimentos hidrelétricos do que com empreendimentos termelétricos baseados em combustíveis fósseis. Portanto, vistas por muitos como uma fonte de “energia limpa”, as hidrelétricas do ponto de vista ambiental não podem ser consideradas uma ótima solução ecológica, pois elas interferem drasticamente no meio ambiente devido à construção de represas, que provocam inundações em imensas áreas de matas, interferem no fluxo de rios, destroem espécies vegetais, prejudicam a fauna e interferem na ocupação humana. As inundações fazem com que a vegetação encoberta entre em decomposição, alterando a biodiversidade e provocando a liberação de metano, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa e pela rarefação da camada de ozônio. Diante deste cenário, as empresas passaram a buscar cada vez mais por fontes de energia alternativas, e dessa forma a geração de energia elétrica por fontes renováveis vem ganhando espaço na matriz elétrica brasileira.

Diante dos diversos fatores negativos que a fonte hídrica vem apresentando, principalmente as grandes hidrelétricas, os autores são unânimes frente à necessidade de diversificação da matriz elétrica brasileira,



principalmente para garantir a segurança no fornecimento energético. Visto que os recentes períodos sem chuva suficiente para sustentar a demanda de produção de energia, fizeram com que a fonte hídrica passasse a não representar tanta segurança no suprimento elétrico, sendo necessário complementações de outras fontes geradoras de energia, que muitas vezes são empregadas fontes de energia mais caras e com maiores impactos ambientais – as termelétricas. De encontro a esse atual sistema, a maioria dos autores incentivam o uso de fontes de energia renováveis para que essa complementação ocorra de maneira limpa e sustentável em períodos de menor produção de energia nas usinas hidrelétricas. Neste sentido, foi possível perceber um forte movimento de incentivo à diversificação da matriz elétrica brasileira através de fontes renováveis de energia, tratada por muitos autores como uma modificação necessária para que o país continue a se desenvolver, de forma segura e sustentável. Destacaram-se entre as fontes de energia renováveis, a eólica, solar, biomassa (biogás e biocombustível) e a hídrica por meio das PCHs. Dentre estas percebeu-se um movimento muito intenso a favor principalmente das fontes de energia solar e eólica, o que fazem destas as preferidas para a diversificação da matriz elétrica do país e consequente complementação à hídrica.

Mas alguns autores, a minoria, incentivam a diversificação da matriz elétrica brasileira através de fontes não renováveis, mostrando a necessidade de o país implementar projetos termelétricos movidos a gás natural, de maneira a permitir flexibilidade e garantir maior confiabilidade de fornecimento para todo o setor elétrico brasileiro, ao considerarem que as energias renováveis não são tão seguras a ponto de depositar tanta confiança, visto que elas também se sujeitam às variações climáticas, assim com a fonte hídrica.

Diante disso eles acreditam haver um importante papel reservado ao gás natural (GN), como uma resposta rápida à crescente demanda por energia, necessária para viabilizar o desenvolvimento sustentável no país, visto que o uso de gás natural se apresenta como uma alternativa mais econômica e menos agressiva à natureza se comparado a outros combustíveis fósseis. Porém, considerando que o GN utilizado é em sua maioria importado, surge o impasse da dependência de suprimentos advindos de importação, que como experiência negativa, o Brasil vive no cenário da pandemia (COVID-19), ao enfrentar enorme dificuldade para adquirir respiradores, mesmo pagando preços muito elevados, a quantidade que realmente chega até o país é insuficiente, mostrando que em cenários de crises mundiais é cada um por si. E trazendo este cenário para a cadeia de suprimentos de energia, o mesmo pode acontecer. Por este motivo, o Brasil deve acreditar mais no seu potencial de geração, usando suas próprias fontes renováveis, disponíveis em abundância, e com isso depender cada vez menos de importação de suprimentos da cadeia energética. Mas diante dessa problemática, os mesmos autores que incentivam o uso de termelétricas a gás, sugerem estrategicamente como saída, caso surjam problemas com o fornecimento de gás natural, a possibilidade de transformar usinas termelétricas movidas a gás em termelétricas movidas a biocombustível, que de alguma forma transformam as termelétricas em fontes de energias renováveis, caso utilizem por exemplo etanol ou biodiesel, demonstrando desta forma maior segurança no fornecimento. E ao considerarem as vantagens e possibilidades que as termelétricas a gás natural oferecem, e que é quase impossível implementar novas hidrelétricas no país devido ao tempo de construção e aos impactos ambientais, a quantidade de investimento de capital necessário em usinas termelétricas se torna uma janela de oportunidade. Já outros autores veem as termelétricas com maus olhos, mesmo as movidas a GN, pois causam um aumento significativo no preço da eletricidade no Brasil, pois trazem consigo a imposição de impostos extras que variam de acordo com o sistema de bandeiras tarifárias: bandeiras verde, amarela e vermelha que indicam se a energia custa mais ou menos, dependendo das condições de geração de eletricidade.

E já numa outra linha de pensamento, também em minoria, alguns autores preferem acreditar que a base da expansão do suprimento de eletricidade no Brasil será, mesmo em uma perspectiva de longo prazo, a hidroeletricidade, devido às dimensões do potencial hidrelétrico brasileiro, especialmente porque a taxa de utilização deste é relativamente pequena em comparação com outras nações industrializadas (Alemanha, Japão, Estados Unidos e Noruega), e que se não for possível o aproveitamento deste potencial através de grandes hidrelétricas, devido aos diversos impedimentos já citados, será através de PCHs, bem menos

impactantes que as hidrelétricas e com maiores níveis de aceitação, principalmente por não requererem a construção de barragens e nem a formação de enormes reservatórios, visto que a maioria das PCHs trabalham a “fio d’água”.

Independente das fontes de geração a serem aplicadas, mas com predileção às renováveis, uma certeza foi adquirida diante desta pesquisa: a matriz elétrica brasileira precisa ser diversificada, como apontam alguns autores: trata-se de uma necessidade para o desenvolvimento seguro, sustentável e eficiente do Brasil. Pois depender predominantemente de uma única fonte geradora é um grande risco para o país, e para uma nação que passa por tantas dificuldades, adicionar outra numa cadeia tão importante como a de geração de energia, poderia abalar seriamente sua economia. Mas tudo indica que o Brasil está caminhando na direção certa, a passos curtos, mas seguro de seus objetivos, pois tem incentivado a diversificação de sua matriz elétrica, prova disso é o PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica e também as curvas crescentes de fontes renováveis na participação da geração de eletricidade conforme demonstram dados da ANEEL (2020).

#### 4.1. Conclusão

Diante de diferentes posicionamentos quanto às fontes geradoras a serem empregadas, mas com a prevalência de fontes renováveis de energia, um mesmo pensamento converge entre os autores: a necessidade de diversificar a matriz elétrica brasileira. O que permite que esta pesquisa conclua que há uma forte tendência de que a expansão da geração de energia elétrica no Brasil seja realizada com uma matriz energética mais diversificada, constituída principalmente por fontes de energia renováveis. Visto que os autores veem a diversificação como um elemento estratégico e necessário para aumentar a confiabilidade do sistema de geração de energia elétrica e torna-lo ainda mais sustentável, seguro e eficiente.

Conforme muitos autores relatam, o maior obstáculo para o crescimento de fontes renováveis no Brasil é a falta de políticas e programas públicos que as incentivem e que subsidiem projetos para viabilizá-las economicamente. Portanto, para que esta diversificação realmente aconteça, o incentivo do governo é extremamente necessário, uma vez que para instalações destes tipos de empreendimentos os retornos dos investimentos são de longo prazo e os custos ainda são relativamente altos. Neste sentido, foi possível perceber que o país não está totalmente inerte frente a essa problemática, mas seus passos deveriam se alargar mais, pois alguns autores afirmam que nos últimos anos, o aumento do consumo de eletricidade no Brasil ocorre mais rapidamente do que a melhoria necessária para a capacidade adequada de geração elétrica.

Então, o planejamento do setor elétrico brasileiro deve se adequar para esta nova realidade, pois as pressões mundiais para que a geração de eletricidade seja cada vez mais sustentável, causando os menores impactos possíveis ao meio ambiente, e dependa cada vez menos de fontes com prazos de validade, serão cada vez mais incisivas. Portanto, tornam-se essenciais estudos cada vez mais aprofundados sobre a matriz elétrica brasileira. Logo, faz-se necessário analisar as fontes renováveis e alternativas de energia, bem como a geração distribuída, que tem ganhado força nos últimos anos. Objetivando principalmente a autossuficiência do Brasil em geração de energia, pois os recursos, a capacidade e o potencial ele já possui, só faltam incentivos e a vontade de fazer.

Este estudo tem o desejo de contribuir para que o setor de geração elétrica avance utilizando fontes diversificadas na matriz elétrica brasileira, principalmente as renováveis. Com isso, conclui-se que a utilização de outras fontes renováveis, além da hídrica, podem e devem ser inseridas de maneira significativa na matriz elétrica brasileira e não apenas como complemento às hidrelétricas, mas também como fontes bases.

## 5. Referências

Alkmim, M. H.; Fabro, A. T.; Morais, M. V. G. (2018). Optimization of a tuned liquid column damper

subject to an arbitrary stochastic wind. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 40, n. 11, p. 551.

Alves, L. A.; Uturbey, W. (2010). Environmental degradation costs in electricity generation: The case of the Brazilian electrical matrix. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 6204–6214.

Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica. (2020). BIG: **Banco de Informações de Geração**. 2020. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 14/mar/2020.

Assad, L. (2011). Matriz energética diversificada é opção mais segura para o país. **Cienc. Cult.** [online]. Vol.63, n.2, p. 6-8. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/scielo>>. Acesso em: 22/mar/2020.

Brignol, W. et al. (2016). Diversification of Brazilian energy matrix by connecting distributed generation sources fuelled by biogas from swine manure. 2016 51st **International Universities Power Engineering Conference (UPEC)**. Coimbra: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8113992/>>. Acesso em: 25/abr/2020.

Cavalcanti, E. S. C.; Petti, A. C. G. (2008). Assessment of SEGS-Like Power Plants for the Brazilian Northeast Region. **Journal of Solar Energy Engineering**, v. 130, n. 1, p. 014501.

Crepaldi, J.; Amoroso, M. M.; Ando, O. H. (2018). Analysis of the Topologies of Power Filters Applied in Distributed Generation Units - Review. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 7, p. 1892–1897.

Elsevier. (2019). **Scopus**. Disponível em: <[https://www.elsevier.com/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/114533/Scopus\\_GlobalResearch\\_Factsheet2019\\_FINAL\\_WEB.pdf](https://www.elsevier.com/__data/assets/pdf_file/0017/114533/Scopus_GlobalResearch_Factsheet2019_FINAL_WEB.pdf)>. Acesso em: 20/mar/2020.

Epe – Empresa de Pesquisa Energética. (2018). **Matriz Energética e Elétrica**. Brasília. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em 10/mai/2020.

Fernandes, E. et al. (2008). Natural-gas-powered thermoelectricity as a reliability factor in the Brazilian electric sector. **Energy Policy**, v. 36, n. 3, p. 999–1018.

Ferreira, J. H. I. et al. (2016). Assessment of the potential of small hydropower development in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 380–387.

Freitas, F. F. et al. (2019). The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, p. 146–157.

Goldemberg, J.; Moreira, J. R. (2005). Política energética no Brasil. **Revista Estudos Avançados**, v. 19, n.55. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 15/mar/2020.

Gomes, M. S. S. et al. (2019). Proposal of a methodology to use offshore wind energy on the southeast coast of Brazil. **Energy**, v. 185, p. 327–336.

Guerra, J. B. S. O. A. et al. (2015). Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 197–210.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. (2020). **Atividade econômica: revisão das previsões de crescimento 2020/2021**. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/tag/crescimento-economico/>>. Acesso em: 07/nov/2020.

Lima, J. A.; Souza, E. P. (2015). **Avaliação da sustentabilidade na geração híbrida solar e eólica**. v. 36, p. 10.

Mendes, M. A. et al. (2016). Analysis of financial impacts caused by pollution from thermal power plants in Brazilian public health system. 2016 12th **IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)**. Curitiba, PR, Brazil: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7874499/>>. Acesso em: 25/abr/2020.

Morais, L. C. D. (2015). **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. Dissertação. Faculdade de Engenharia de Bauru/Unesp. p. 136.

Nogueira, T. R. S.; Ribeiro, P. F. (2015). An analysis on the inclusion of photovoltaic in Brazil: Technical and economic aspects. 2015 **IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM)**. Montevideo: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7381215/>>. Acesso em: 25/abr/2020.

Pinto, J. T. M.; Amaral, K. J.; Janissek, P. R. (2016). Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing. **Solar Energy**, v. 133, p. 73–84.

Raimundo, D. R. et al. (2018). Evaluation of greenhouse gas emissions avoided by wind generation in the Brazilian energetic matrix: A retroactive analysis and future potential. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 137, p. 270–280.

Ramos, A. J. et al. (2015). Development of communication system for wind turbines. 2015 **IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)**. Rome, Italy: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7165360/>>. Acesso em: 25/abr/2020.

Rigo, P. D. et al. (2019). Is the success of small-scale photovoltaic solar energy generation achievable in Brazil? **Journal of Cleaner Production**, v. 240, p. 118243.

Santos, N. Q.; Antunes, F. L. M. (2015). Proposal for the replacement of hydrothermal power generation for hydro/wind one in the Brazilian power system. 2015 **CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)**. Santiago: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7400441/>>. Acesso em: 25/abr/2020.

Silva, E. L.; Menezes, E. M. (2005). **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC. Disponível em: <[https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia\\_de\\_pesquisa\\_e\\_elaboracao\\_de\\_teses\\_e\\_dissertacoes\\_4ed.pdf](https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf)>. Acesso em: 10/mar/2020.

Souto, T. J. M. P. et al. (2018). Viabilidade da bioeletricidade a partir da cana-de-açúcar. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 2, p. 409.