



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA



PAOLA ANTUNES AGUIAR

Trabalho de Conclusão de Curso

Viabilidade ambiental de fontes renováveis no cenário energético brasileiro.

Limeira, SP

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Tecnologia

PAOLA ANTUNES AGUIAR

Viabilidade ambiental de fontes renováveis no cenário energético brasileiro.

Dissertação apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Dissertation presented to the Faculty of Technology of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Environmental Engineer.

Orientador: **Prof. Dr. Marco Aurélio Soares de Castro**

Limeira, SP

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus.

Aos meus pais, familiares e amigos por todo o apoio prestado durante todo o meu período acadêmico.

Ao Prof. Dr. Marco Aurélio Soares de Castro por acreditar em mim, nas minhas ideias e por ter me orientado nesse trabalho.

Agradeço a todos os docentes e funcionários da Faculdade de Tecnologia e da Universidade Estadual de Campinas.

RESUMO

O crescimento da população mundial e de seus níveis de consumo implica em um correspondente aumento da geração de energia. Atualmente, ainda existe uma grande dependência da energia proveniente de fontes esgotáveis, especialmente os combustíveis fósseis que, junto com seus derivados, são responsáveis por grande parte da produção de gases de efeito estufa (GEE). Este contexto requer o desenvolvimento e utilização de formas de geração de energia menos agressivas, poluentes e que conservem os recursos naturais: as chamadas energias de fontes renováveis como a solar, eólica, hídrica e de biomassa. Contudo, deve-se observar os aspectos e impactos dos sistemas desde a concepção, operação até a desativação, a fim de estabelecer formas de evitá-los ou mitigá-los. Com relação ao desenvolvimento de estudos de viabilidade, no Brasil são elaborados e divulgados os chamados Planos Decenais de Energia, que apresentam uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta de fontes energéticas em um período de dez anos.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as fontes renováveis de energia no cenário brasileiro, apontando possíveis aspectos e impactos de sua utilização e destacando a evolução da oferta e consumo de cada uma. Para isso, foi realizada revisão bibliográfica em artigos e trabalhos acadêmicos, além de uma análise de documentos oficiais (Planos Decenais de Energia) e dados do setor elétrico. Considerando as análises das premissas demográficas apresentadas nos planos 2008 à 2017 e 2010 à 2019 e os dados oficiais divulgados, constatou-se que o aumento da população e do número de domicílios foi bem estimado. Quanto à oferta de energia elétrica e o consumo final energético por fonte, observou-se que a participação das fontes renováveis na matriz energética aumentou, com exceção da energia hidrelétrica, e a tendência é que com os projetos em desenvolvimento e os planejados essa contribuição continue aumentando. Concluiu-se que as projeções feitas nos planos aproximaram-se bastante dos dados oficiais nos anos de 2017 e 2019, não passando de 9,1% de diferença dos cenários reais. Para maior participação das energias renováveis na matriz energética nacional necessita-se da elaboração e efetivação de políticas públicas e da atuação das empresas particulares no setor para o aproveitamento máximo do potencial brasileiro de geração, além de estudos técnicos detalhados e precisos para evitar, diminuir e ou mitigar os impactos ambientais potenciais de cada tipo de fonte de energia.

Palavras-chave: fontes renováveis, matriz energética, Planos Decenais de Energia.

ABSTRACT

Global population and consumption growth implies an equivalent increase of power generation. Today, our society still relies on power generated using exhaustible resources, especially fossil fuel that, alongside its by-products, are responsible for the emission of greenhouse gases. This context requires improvement and use of less aggressive, polluting power generation methods allowing natural resourcing conservation: known as renewable energy sources such as solar energy, wind energy, hydroelectric energy and biomass energy. However, system aspects and impacts since design, during operation and until deactivation must be observed, in order to establish ways to avoid or mitigate such impacts. Regarding viability study development, in Brazil, 10-year Energy Plan is produced and disclosed, presenting an integrated vision on supply and demand expansion of energy sources over a ten-year period.

Present study aims to evaluate renewable energy sources in Brazilian scenario, indicating potential aspects and impacts of their usage, emphasizing their supply and consumption. For this purpose, a bibliographic review of academic articles and official documents (10-year Energy Plan) including electricity sector data was carried out. Taking into account reviews of demographic assumptions introduced in 2008 to 2017 and 2010 to 2019 plans and disclosed official data, population and number of homes was correctly estimated. Regarding energy supply and energy consumption sources, renewable energy sources share in energy matrix increased, except for hydroelectric energy and development projects and planned projects tend to increase. Plan forecasts came closer to official data in the years 2017 and 2019, keeping discrepancies under 9,1% when compared to the true picture. In order to increase renewable energy share in national energy matrix, it is necessary to elaborate and establish public policies and private companies in industry to co-operate for maximum utilization of power generation, as well as detailed and accurate studies aiming to avoid, reduce or mitigate potential environmental impacts for every energy source.

Keywords: renewable sources, energy matrix, 10-year Energy Plan.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Histórico da Energia	8
1.1.1 Energia na Pré-História à Idade Antiga	8
1.1.2 Energia na Antiguidade à Idade Média	9
1.1.3 Energia na Idade Moderna e Contemporânea	9
1.2 Cenário energético no Brasil e no mundo	10
2. OBJETIVO	13
3. METODOLOGIA	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4.1 Tipos de energias renováveis	13
4.1.1 Energia Solar	14
4.1.2 Energia Eólica.....	16
4.1.3 Biomassa	18
4.1.4 Energia Hídrica.....	19
4.2 Aspectos e impactos ambientais	20
4.2.1 Energia Solar	21
4.2.2 Energia Eólica.....	21
4.2.3 Biomassa	22
4.2.4 Energia Hídrica.....	23
4.3 O mercado de energia renovável e os leilões de energia	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1 Aspectos e impactos ambientais: estudos de caso	26
5.1.1 Energia Eólica: Impactos no interior do Ceará.	26
5.1.2 Energia Solar: Usina de energia solar queima pássaros em pleno voo nos EUA... 29	
5.1.3 Energia Hídrica: Impactos Ambientais da Usina de Belo Monte no Estado do Pará31	
5.2 Planos Decenais de Energia (PDE).....	32
5.2.1 Plano Decenal de Energia 2008 – 2017	32

5.2.2	<i>Plano Decenal de Energia 2010 – 2019</i>	36
5.3	O setor energético renovável brasileiro de 2017 à 2019.....	39
6	CONCLUSÕES	47
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

O número de habitantes do planeta Terra previsto para o século XXIV, com a taxa de crescimento atual, gira em torno de 70 bilhões de habitantes e junto com a população, também crescem o consumo de energia e a degradação ambiental (PIKETTY, 2014) .

A sociedade atual ainda é dependente de fontes de energia provenientes de combustíveis fósseis, principalmente o petróleo. Essa fonte de energia e seus derivados são responsáveis por grande parte da produção de gases de efeito estufa (GEE) além de serem uma ameaça para a humanidade em relação à oferta de energia para o futuro, já que não se tratam de uma fonte inesgotável (MARTINS, 2010).

Uma forma de geração de energia que elimina o problema das emissões de gases na atmosfera é a nuclear que, no entanto, deixa como passivos seus resíduos nucleares, que ainda não possuem uma solução ambientalmente adequada de tratamento, ou seja, são deixados como herança para as futuras gerações (MARTINS, 2010).

Para atender a demanda energética e impactar minimamente o planeta, faz-se necessário a pesquisa, desenvolvimento e a utilização de formas menos agressivas de geração de energia, menos poluentes, conservando os recursos naturais. Algumas alternativas para redução da dependência de fontes convencionais poluidoras são as fontes renováveis de geração de energia, sendo algumas delas: hidráulica, eólica, solar e biomassa (MARTINS, 2010).

1.1 Histórico da Energia

1.1.1 Energia na Pré-História à Idade Antiga

Na Idade da Pedra, por volta de 30.000 A.C., o homem dispunha como meio energia a sua própria força bruta. Com a descoberta do fogo desenvolvia-se ali uma forma de obter luz artificial, também utilizada para o homem aquecer-se e realizar mais atividades no período após o pôr do sol (FONSECA, 1972).

Com o aparecimento das grandes civilizações, a partir de 4.000 A.C., explorava-se o

potencial dos solos férteis, armazenando quantidades cada vez maiores de energia na forma de alimentos. Logo após desenvolveram-se os carros de combate, carroças agrícolas, diques e canais para a navegação, além do uso de escravos como força motriz e do avanço do uso do vento para navegação com barcos à vela pelos egípcios, fenícios e romanos entre outros povos (HÉMERY; BEBIER; DELÉAGE, 1993).

1.1.2 Energia na Antiguidade à Idade Média

Com o desenvolvimento das Ciências, Matemática, Geometria e Engenharia, a transformação das formas de energia disponíveis na natureza foi potencializada. Arquimedes (287-212 A.C.) criou alavancas e mecanismos para movimentar objetos muito pesados, descobrindo os princípios da hidrostática e, a partir de então, tornava-se possível a multiplicação da força (FARIAS, 2011).

Já na Antiguidade, em civilizações como na China e na Pérsia, desenvolviam-se máquinas para o aproveitamento do vento para a moagem de grãos, como os moinhos de vento, e na irrigação, através do bombeamento de água. Posteriormente, na Europa passou-se a utilizar o moinho para drenagem de pântanos e lagos, além da fabricação de papel e extração de azeites (DUTRA, 2001).

Tempos depois, com a descoberta da utilização do vapor, a força do homem podia ser multiplicada para a realização de trabalhos pesados através de máquinas mecânicas de grande complexidade; a energia a vapor passou a acionar navios, locomotivas, serrarias, cerâmicas, drenagens e outros tipos de atividades (FARIAS, 2011).

1.1.3 Energia na Idade Moderna e Contemporânea

A era dos combustíveis fósseis iniciou-se com a Revolução Industrial. O carvão mineral foi o primeiro desses combustíveis; utilizado para substituir a lenha usada na produção de vapor, foi a principal fonte primária de energia no mundo até 1961, sendo então ultrapassado pelo petróleo (FARIAS, 2011).

A industrialização do petróleo começou em 1859, quando Edwin Drake descobriu

petróleo a uma profundidade de 21 metros em Tutsville, nos EUA, antes disso o petróleo era aproveitado em afloramentos na superfície. Com o mercado automotivo superaquecido e o desenvolvimento da indústria petroquímica em 1930 surgiram vários outros subprodutos do petróleo para produção de equipamentos, objetos, produtos, entre outros, sendo a gasolina o principal deles (FARIAS, 2011).

A partir do momento em que estudos confirmaram que o petróleo não era uma fonte inesgotável e renovável e com as crises do petróleo em 1973 e 1978 começou-se a rever o seu uso, iniciando-se uma série de discussões e pesquisas sobre fontes alternativas de energia (FARIAS, 2011).

As revoluções energéticas ocorridas ao longo do tempo foram motivadas pela identificação de uma nova fonte de energia com qualidades superiores e custos inferiores. Fatores como a disponibilidade de recursos, interesses comerciais, domínio de tecnologias e a preservação do meio ambiente levaram os países à diferentes escolhas para a composição de suas matrizes (SACHS, 2007).

1.2 Cenário energético no Brasil e no mundo

Os padrões atuais de produção e consumo de energia, baseados nas fontes fósseis, são prejudiciais ao meio ambiente pois geram emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa além de colocarem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. É necessário substituir esses padrões estimulando pesquisa e desenvolvimento das energias renováveis, e o Brasil apresenta diversos fatores positivos que o coloca à frente do resto do mundo (GOLDENBERG; LUCON, 2007).

Entre 1980 e 2002 a geração de eletricidade no Brasil cresceu a uma taxa média anual de 4,2%, onde a energia hidráulica sempre foi dominante já que o país é um dos mais ricos do mundo em recursos hídricos. Em 2003, segundo os dados da Agência Internacional de Energia (IEA), as energias renováveis representavam 41,3% do consumo total no Brasil, enquanto no mundo eram apenas 14,4% (VICHI, 2009).

Apesar da energia hidráulica ser predominante, existem outros tipos de geração de energia aplicados no Brasil, como o carvão, a termonuclear, as termelétricas a gás natural e a óleo diesel, biomassa, energia nuclear e gás natural. Dentre essas, a produção de energia com

gás natural reduziu a porcentagem da hidreletricidade de 92% em 1995 para 83% em 2002. Já a geração com biomassa (resíduos vegetais e bagaço de cana) em 2002 correspondia a uma capacidade instalada de 992 MW ou 8% da energia elétrica de origem térmica do país, essa tecnologia está concentrada no Estado de São Paulo uma vez que usa o bagaço de cana, um subproduto da fabricação de açúcar e álcool (VISHI, 2009).

Segundo Tiepolo, et al. (2012) o crescimento populacional, industrial e da renda per capita, são fatores que impulsionarão os investimentos na matriz energética global. O cenário brasileiro ainda terá como principal fonte geradora de energia elétrica e impulsionadora do desenvolvimento as usinas hidroelétricas porém, com as pressões sociais e ambientais cada vez mais intensas, existe a necessidade de apoio governamental e da iniciativa privada para pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e o fortalecimento políticas públicas de apoio a investimentos em outras fontes renováveis de energia.

Atualmente, está ocorrendo no mundo uma transição energética, visto que o preço de fontes renováveis (especialmente a solar) segue em queda e com recordes de investimentos, enquanto a indústria global de carvão apresenta-se em declínio e o preço do petróleo está cada vez mais instável, tornando os investimentos nesta fonte arriscados. Segundo o Greenpeace (2016), contanto que haja planejamento e políticas públicas nas próximas décadas, a tendência é de que os combustíveis fósseis fiquem no passado e que as energias renováveis se fortaleçam cada vez mais.

Em 2015, durante a 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP 21), 195 nações participaram das negociações para limitar o aumento da temperatura do planeta para no máximo 1,5 graus Celsius. O combate às mudanças climáticas é prioridade e um desafio global, para alcançar os objetivos estabelecidos deverá ocorrer uma diversificação e descentralização da forma como a energia é gerada a fim de garantir mais segurança para a matriz energética e tornar a economia de baixo carbono cada vez mais competitiva (GREENPEACE, 2016).

Nesse evento o Brasil assinou a agenda 2030 e ratificou o Acordo de Paris e com isso selou compromissos de esforços globais coordenados pela Organização das Nações Unidas (ONU). O Acordo de Paris tem como foco a mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e a adaptação de países que possam sofrer os impactos negativos das mudanças climáticas. Já a Agenda 2030 é composta por 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas abrangendo desde o combate à pobreza até a energia limpa e acessível (CASTILHA, 2016). O Acordo de Paris e a Agenda 2030 são complementares entre si e de

extrema importância para a mudança profunda de aspectos ligados tanto à população quanto ao meio ambiente e à economia mundial.

O ODS 7 apresenta como objetivo “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos”. As metas associadas ao ODS 7 são:

7.1 Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia

7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global

7.3 Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética

7.a Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa

7.b Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio (ONUBR, 2018).

Segundo Castilha (2016), 98,5% da população brasileira tem acesso a eletricidade; a matriz energética do país é considerada uma das mais ‘limpas’ do mundo com 39.4 % da energia consumida em 2014 oriunda de fontes renováveis, com interesse da ANEEL de estabelecer modicidade tarifária (mais baixas). Porém, em 2014 estimava-se que aproximadamente 25% da energia consumida nas residências era de lenha e a participação das renováveis vinha diminuindo. Foram 74 apagões em 2014 e as tarifas relativas à eletricidade cresceram em média 50% para os consumidores residenciais em 2015.

As decisões e acordos firmados em 2015 são um passo importante na reorientação da economia mundial, o crescimento econômico terá de se separar do aumento de emissões, ou seja, sem combustíveis fósseis a forma como a energia é produzida e consumida mudará. Com isso a eficiência energética e os investimentos nas energias solar, eólica e nos combustíveis renováveis irão de aumentar (GREENPEACE, 2016).

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho consiste em realizar um levantamento das principais formas de energia renovável no contexto brasileiro, analisando suas contribuições individuais na matriz energética do país, os impactos ambientais já identificados de cada uma, bem como as perspectivas de expansão.

3. METODOLOGIA

Os dados para este estudo foram levantados através de pesquisas em artigos e revistas científicas, sites do setor elétrico e relatórios oficiais do Governo. Com o levantamento foi possível o aprofundamento no tema proposto a elaboração das discussões que se seguem nos próximos tópicos.

Os resultados abordam estudos de caso de aspectos e impactos ambientais das fontes de energia renováveis estudadas neste trabalho e, também se analisa as projeções dos dados dos Planos Decenais de Energia 2008 – 2017 e 2010 – 2019 comparadas com os dados reais do setor elétrico brasileiro nos anos de 2008, 2010, 2017 e 2019, baseando-se em relatórios oficiais.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Tipos de energias renováveis

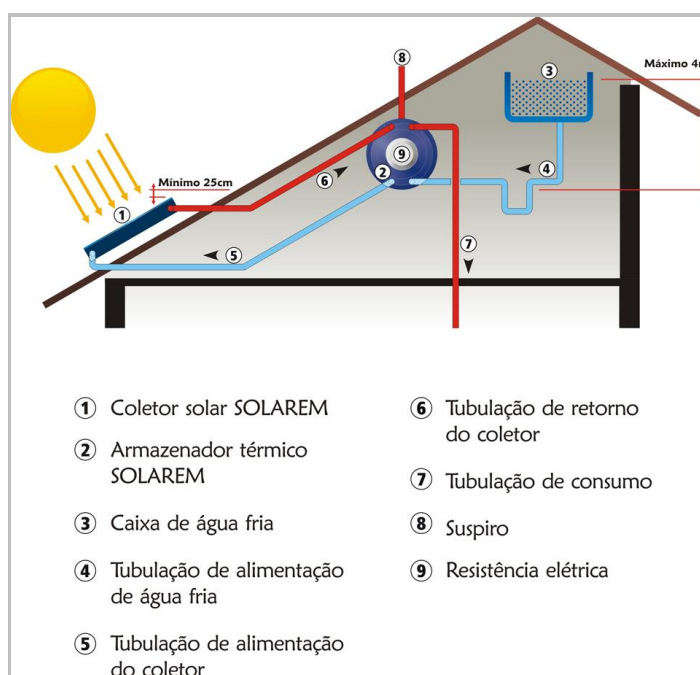
Existem diversas formas de produção de energia consideradas renováveis, o presente trabalho focou no estudo da geração de energia solar, eólica, biomassa e hídrica. Este tópico apresenta características e possíveis usos das fontes de geração de energia escolhidas para estudo neste trabalho e os seus mecanismos para produção de energia.

4.1.1 Energia Solar

Pode-se dizer que a energia solar origina todas as outras energias renováveis pois é ela que auxilia a proporcionar as condições favoráveis para a obtenção dos outros tipos de energias renováveis, seja aquecendo a atmosfera da terra e dos mares para dar origem às zonas de baixa e alta pressão para movimentar as massas de ar e possibilitar a geração da energia eólica, seja aquecendo a água para auxiliar no seu ciclo e com isso fazer movimentar as turbinas para obtenção da energia hidrelétrica, ou ainda auxiliando na fotossíntese das plantas para obtenção da energia de biomassa (MARQUES, 2007 apud VERNIER, 2005¹; MARTINS, 2010).

O aproveitamento da energia solar pode ocorrer por sistemas solares térmicos ou por sistemas fotovoltaicos. Nos Sistemas Solares Térmicos para aquecimento de água ocorre a captação, armazenamento e utilização direta a energia do Sol. O painel capta a luz solar e a transforma em calor aproveitável que é absorvido pela água dentro do painel, então é transportado por tubos devidamente isolados até ao depósito de água quente. A água quente fica então em depósito acumulador que por possuir material isolante, mantendo a água quente em períodos onde não existe sol, como por exemplo, durante a noite. Este sistema pode ser utilizado para diversos fins, como aquecimento de água para banheiros, apoio para aquecimento central, aquecimento de piscinas, aplicações industriais, dentre outros. Na Europa ele é muito utilizado pois oferece conforto térmico equivalente às fontes convencionais de energia porém com consumo menor de energia e benefícios financeiros significativos (MARQUES, 2007; MARTINS, 2010).

¹ VERNIER, J.; *L'environnement: «Que sais-je?»* n° 2667. Presses universitaires de France, 2011.

Figura 1: Funcionamento dos sistemas solares térmicos.

Fonte: SOLAREM (2019).

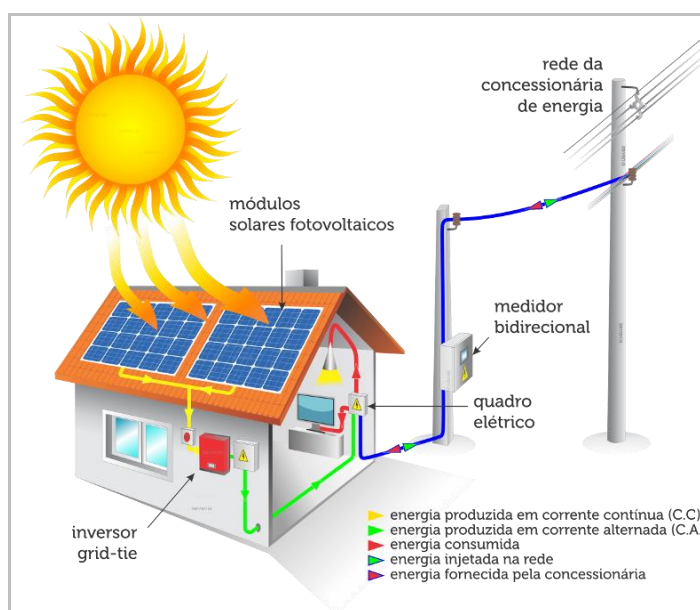
Já nos Sistemas Fotovoltaicos a luz do Sol é transformada diretamente em eletricidade pelos painéis fotovoltaicos. Por causa da sua flexibilidade e facilidade de instalação, esta energia é considerada uma solução técnica e econômica para praticamente todas as situações e pode ser uma alternativa para países que ainda estão em via de desenvolvimento. Segundo Schmidt (1999) as primeiras aplicações destes sistemas foram para alimentação permanente de energia a equipamentos instalados em satélites espaciais. Por ser considerada uma tecnologia que pode ser instalada em quase todos os lugares, a energia solar fotovoltaica está sendo cada vez mais utilizada em “telhados solares”, fachadas de prédios, coberturas de estacionamento, usinas de geração de energia solar, dentre outros (MARTINS, 2010).

O sistema é constituído basicamente pela placa fotovoltaica, bateria, controlador de carga e inversor de tensão. A placa fotovoltaica é formada por células fotovoltaicas que geram energia elétrica, essas células funcionam com efeito fotoelétrico, que ocorre nos materiais condutores de corrente elétrica. Atualmente as placas fotovoltaicas mais encontradas no mercado são as de silício monocristalino, silício policristalino e silício amorfo. A bateria do sistema transforma a energia elétrica gerada durante o dia em energia química e à noite essa energia química é convertida em energia elétrica para utilização, de acordo com Souza, et al. (2010) uma bateria possui durabilidade próxima de quatro anos. Com o passar do tempo a quantidade de energia elétrica armazenada na bateria vai diminuindo e para evitar que ela

descarregue por completo nos períodos longos sem insolação e de grande consumo usa-se o chamado controlador de carga para monitorar a carga da bateria e impedir que a mesma descarregue completamente, e, desta forma, aumentando a sua vida útil. Por fim, o inversor de tensão altera a tensão e a frequência da determinada corrente, transformando a energia gerada através pelas placas e armazenadas nas baterias, de Corrente Contínua (CC) 12 V em Corrente Alternada (CA) 220 V (SOUZA, et al., 2010).

A geração fotovoltaica pode ser off-grid ou on-grid. A geração off-grid, também é conhecida como sistema isolado, funciona independente da rede elétrica, armazenando sua energia gerada em baterias. A geração on-grid ou sistema conectado à rede, precisa da existência da rede elétrica local para funcionamento, tendo a produção de energia entregue diretamente a ela (SOUZA, et al., 2010).

Figura 2: Funcionamento dos sistemas solares fotovoltaicos.



Fonte: LUZ SOLAR (2019).

4.1.2 Energia Eólica

A energia eólica já era utilizada antigamente para bombear água ou para moer o milho para obtenção da farinha através dos cata-ventos, hoje em dia esta fonte de energia é utilizada principalmente para geração de eletricidade com a utilização de aerogeradores de pequeno e grande porte. Com o aumento dos preços das energias convencionais, a energia eólica passou

a ser muito mais competitiva, sendo cada vez mais estudada e aperfeiçoada (MARQUES, 2007 apud CARAPETO, 1998²; MARTINS, 2010).

A energia dos ventos começou a ser utilizada para a geração de eletricidade há pouco mais de 30 anos; a aplicação dos conhecimentos da indústria aeronáutica permitiu uma evolução rápida para produtos de alta tecnologia (MARQUES, 2007 apud SANTOS, 2005³; MARQUES, 2007 apud SCHMIDT, 1999⁴; MARTINS, 2010).

Atualmente existem dois tipos de turbinas eólicas modernas, as de sistema de eixo horizontal e as de eixo vertical. As de eixo horizontal são as mais conhecidos, formadas por uma estrutura sólida elevada, tipo torre, possuem duas ou três pás aerodinâmicas que são orientadas de acordo com a direcção do vento, já os os sistemas de eixo vertical são menos comuns, porém apresentam a vantagem de captarem vento de qualquer direcção (MARQUES, 2007 apud RAMAGE, 1997⁵; MARTINS, 2010). Os sistemas eólicos podem ser utilizados em sistemas isolados, híbridos, off-shore e interligados à rede. Os sistemas isolados utilizam alguma forma de armazenamento de energia, como baterias, os sistemas híbridos apresentam várias fontes de geração de energia além de serem desconectados da rede convencional, os sistemas interligados à rede utilizam vários aerogeradores e não necessitam de sistemas de armazenamento de energia já que toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica. Por fim, os sistemas off-shore são instalados em alto mar e possuem maior custo de transporte, instalação e manutenção, apesar desses fatores elas têm crescido a cada ano principalmente com o esgotamento de áreas de grande potencial eólico em terra (CRESESB, 2008).

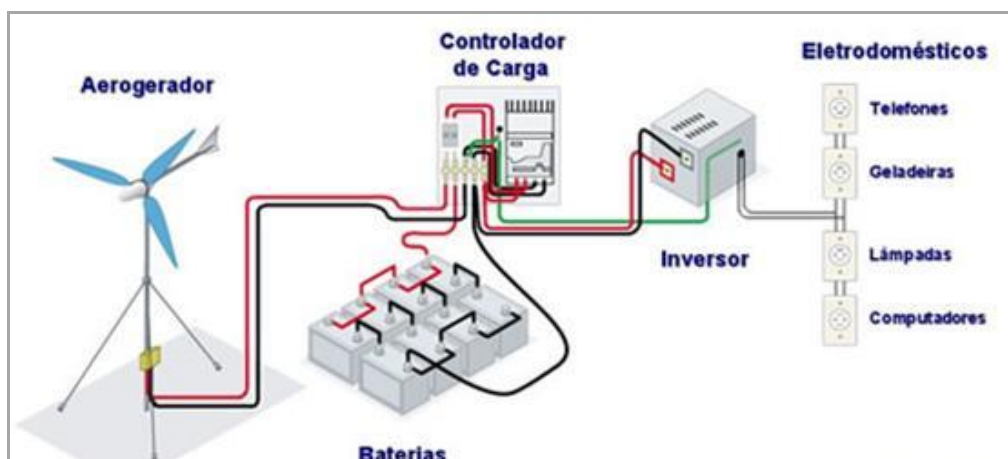
² CARAPETO, C.; **Educação Ambiental**. Universidade Aberta, páginas 19-30, 1998.

³ SANTOS, M. E.; **Para uma pedagogia da mudança conceptual. Estudo de orientação epistemológica**. 1989. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

⁴ SCHMIDT, L. **Portugal ambiental: casos & causas**. 1999.

⁵ RAMAGE, J.; **Guia da Energia**. Lisboa – Portugal, 1997.

Figura 3: Funcionamento dos sistemas eólicos.



Fonte: CRESESB (2008).

Atualmente a energia eólica está em crescimento no mercado, evidenciado principalmente pela queda nos preços dos aerogeradores ao longo das últimas décadas e concomitantemente com a melhora das características das tecnologias aplicadas à ela vem tornando-se mais competitiva com outras fontes de geração de energia. Sua instalação exige pouco tempo e sua operação é imediata, possui custo “zero” de combustível, baixo custo de manutenção, entre outros motivos, são fatores pelos quais a energia eólica tem consolidado seu espaço entre as demais fontes na geração de eletricidade (TOLMASQUIM, 2004; MARQUES, 2007).

4.1.3 Biomassa

A massa total de organismos vivos numa dada área é chamada de Biomassa e ela é considerada uma importante reserva de energia por causa da sua constituição de hidratos de carbono. Entre os tipos de biomassa, as fontes de energia com potencial considerável são a madeira (e seus resíduos), os resíduos agrícolas, os resíduos sólidos urbanos, os resíduos dos animais, os resíduos da produção alimentar, as plantas aquáticas e as algas (MARQUES, 2007 apud RODRIGUES, 2004⁶; MARTINS, 2010).

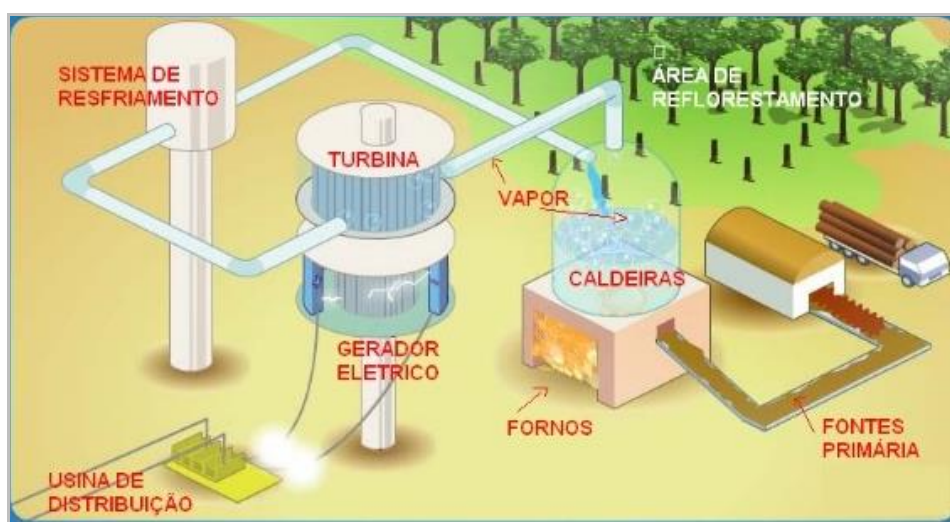
A lenha, foi amplamente utilizada no Brasil, tendo papel importante até a primeira metade do século XX, quando correspondia a mais de 50% da oferta de energia no país. Era utilizada como combustível para usos domésticos, industriais e também para a produção de

⁶ RODRIGUES, M.; **Energias Renováveis**. In Enciclopédia Activa e Multimédia de consulta, páginas 172-184, Lisboa – Portugal, 2004.

carvão vegetal (TOLMASQUIM, 2004; ROSILLO-CALLE et al., 2005; MARQUES, 2007).

Por causa de sua constituição, a biomassa pode ser utilizada de diversas maneiras para obtenção de energia, de forma indireta ou indireta. Diretamente, é utilizada para a combustão, assim gera calor que pode ser utilizado tanto para aquecimento doméstico como para processos industriais, os resultados deste processo são, principalmente, dióxido de carbono e vapor de água. Indiretamente, pode-se citar o uso da biomassa para produção de eletricidade e dos biocombustíveis, como o etanol, metanol, biodiesel e o biogás (MARTINS, 2010).

Figura 4: Funcionamento de geração de energia por biomassa.



Fonte: PORTAL ENERGIA (2016).

3.1.4 Energia Hídrica

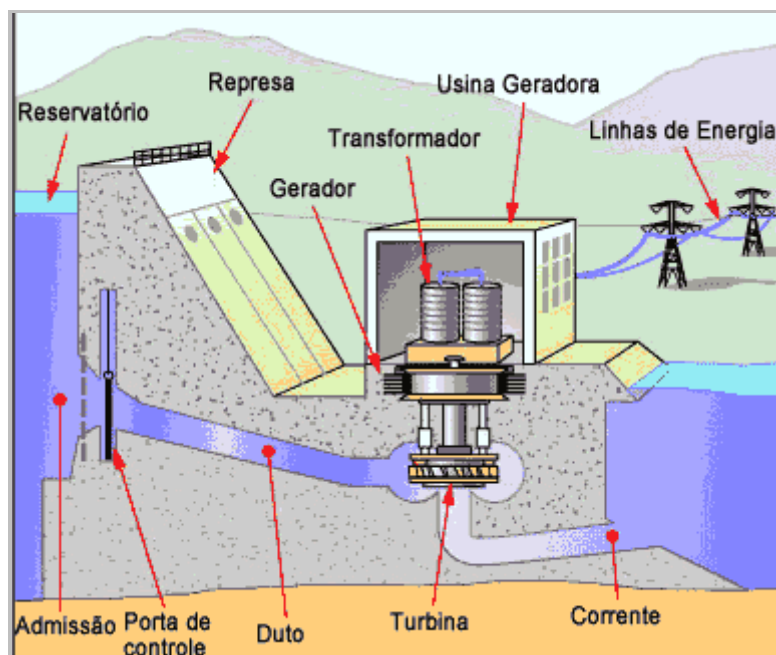
A energia hídrica é considerada uma fonte de energia abundante, de baixo custo e é atualmente a principal fonte geradora de energia elétrica no Brasil. Apesar de seus impactos ambientais de sua implantação, devido às vastas áreas inundadas necessárias, elas ainda recebem grandes investimentos (TIEPOLO et al., 2012).

Para a geração de energia hidrelétrica, no século XX, foram construídas diversas barragens de grande ou média capacidade que funcionavam com o objetivo de converter a energia gravitacional em cinética e finalmente em energia elétrica que, posteriormente, era transportada por grandes distâncias para utilização pela população. As barragens são construídas para aumentar o potencial do curso de água, já que retêm uma maior quantidade de água através de um desnível acentuado (MARTINS, 2010; MARQUES 2007 apud

MARCHAND, 1994⁷).

Nas centrais hidrelétricas utilizam-se turbinas hidráulicas que, associadas a geradores e alternadores, tornam possível a transformação da energia hídrica em energia eléctrica, segundo Martins (2010) na maioria dos casos as centrais hidrelétricas podem apresentar rendimento global superior a 90%.

Figura 5: Funcionamento dos sistemas hídricos.



Fonte: AZEHEB (2019).

4.2 Aspectos e impactos ambientais

De acordo com a Norma ABNT NBR ISO 14001 (ABNT, 2015), os aspectos ambientais são entendidos como elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que interage ou pode interagir com o meio ambiente, sendo assim um aspecto ambiental pode causar impacto(s) ambiental(is). Os impactos ambientais são a concretização dos aspectos ambientais, ou seja, quando ocorre a modificação no meio ambiente, podendo ser tanto adversa como benéfica, total ou parcialmente resultante dos aspectos ambientais de uma ação.

No caso das energias renováveis, este tópico visa identificar os possíveis aspectos e

⁷ MARCHAND,; **Energia**. In Enciclopédia Larousse Jovem – Volume 5, páginas 1889-1901, Publicações Alfa, Lisboa – Portugal, 1994.

impactos das fontes de energia em questão.

4.2.1 Energia Solar

O sistema solar fotovoltaico é conhecido por não emitir poluentes em sua operação, sendo considerado muito promissor como alternativa energética sustentável; porém, há impactos ambientais associados à sua fabricação, relacionados à obtenção dos materiais de construção e à sua implantação, em razão da área ocupada, que devem ser observados (INATOMI; UDAETA, 2018).

Alguns impactos ambientais relacionados à essa forma de geração de energia são associados à produção de energia necessária para os processos de fabricação, transporte, instalação, operação, manutenção e descomissionamento dos sistemas; emissões de produtos tóxicos para a produção da matéria-prima para a produção dos módulos e componentes periféricos (ácidos, CO₂, SO₂, NOX, particulados, entre outros); uso de áreas para implementação que levem à perda de habitat; impactos visuais; uso de materiais tóxicos utilizados nos módulos fotovoltaicos (arsênico, gálio e cádmio) e em outros componentes, (ácido sulfúrico nas baterias); dificuldade de reciclar corretamente as baterias e outros materiais tóxicos dos módulos fotovoltaicos e demais componentes elétricos e eletrônicos, (vida útil média estimada entre 20 e 30 anos) (INATOMI; UDAETA, 2018).

Já as instalações fotovoltaicas descentralizadas causam perigos associados à instalação, manutenção e remoção dos sistemas de telhados além de dos impactos de riscos de incêndio e considerações estéticas. Um ponto positivo é que com a utilização de fotovoltaicos descentralizados evitam-se as emissões das usinas convencionais, gastos e efeitos de linhas de transmissão e as perdas que ocorrem nas mesmas (TSOUTSOS et al.,2005).

4.2.2 Energia Eólica

A operação dos sistemas eólicos não resulta na emissão de gases de efeito estufa ou na concentração de CO₂ na atmosfera. Os impactos ambientais associados a esta forma de energia são relacionados principalmente a ruídos, ao seu impacto visual e sobre a fauna porém, com o avanço tecnológico os níveis de ruído produzidos pelas turbinas eólicas

diminuíram consideravelmente; os ruídos são causados pela aleatoriedade do seu funcionamento e a variação da frequência do ruído, já que o mesmo é diretamente proporcional à velocidade de vento incidente. Segundo Tolmasquim (2004) o ruído das turbinas eólicas pode ser de origem mecânica e aerodinâmica, o ruído mecânico é originado pelo atrito dos rolamentos e as diversas engrenagens do sistema e o ruído aerodinâmico é causado pela interação da superfície de sustentação das pás com a turbulência criada no ar pela própria ação (MAIA, 2010; INATOMI; UDAETA, 2018).

Atualmente já é possível a construção de turbinas eólicas com níveis de ruído menores, já que as engrenagens utilizadas na rotação do gerador podem ser substituídas por geradores elétricos de baixas rotações juntamente com à melhoria no design das pás e da torre (TOLMASQUIM, 2004).

O impacto visual é de difícil quantificação já que o sistema é constituído de corpo com aproximadamente 40 metros de altura e hélices de 20 metros, o que acaba impactando a paisagem, sem contar as sombras provocadas pelas hélices que podem ser um empecilho quando próximas de áreas habitadas (INATOMI; UDAETA, 2018).

Sobre o impacto à fauna sabe-se que podem ocorrer colisões de pássaros com as estruturas, quando estas encontram-se em rota de migração de pássaros, na geração de ondas eletromagnéticas, que podem prejudicar sistemas de comunicação eletromagnéticas, como transmissões televisivas, e na modificação dos climas locais já que a circulação padrão do ar é modificada (INATOMI; UDAETA, 2018).

4.2.3 Biomassa

Com relação aos sistemas de geração de energia a partir da utilização da biomassa tem-se como impacto que para a sua geração necessita-se de culturas agrícolas dedicadas apenas para fins energéticos e pesquisas a para melhorar a eficácia dos sistemas de geração (MARTINS, 2010).

Segundo Lévêque (2002) a combustão de biomassa, seja natural do ecossistema como em florestas e relvados ou seja lenha, produz anualmente 3,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono, podendo contribuir com 40% da produção mundial anual (MARTINS, 2010) porém, existem discussões relativas a esse ponto pois, estudos defendem que as emissões geradas na combustão da biomassa para produção de energia são ‘compensadas’ durante o

crescimento da mesma, visto que existe a absorção de CO₂ na fotossíntese (SEEG, 2018).

Os principais fatores que dificultam o maior uso da biomassa na produção de energia elétrica são a baixa eficiência termodinâmica das plantas e os custos relativamente altos de produção e transporte. Além de que podem gerar aspectos socioambientais, sendo pela criação de monoculturas, perda de biodiversidade, uso intensivo de defensivos agrícolas etc. (CORTEZ ET AL., 1999).

4.2.4 Energia Hídrica

As usinas de energia hidrelétrica interferem no meio ambiente causando impactos ligados principalmente à construção das represas, pois provocam inundações em grandes áreas, muitas delas em áreas de matas. Também interferem no fluxo dos rios, destroem espécies vegetais, prejudicam a fauna, e interferem na ocupação humana (INATOMI; UDAETA, 2018).

As inundações de florestas fazem com que a decomposição da vegetação encoberta provoque a liberação de metano, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa e pela diminuição da camada de ozônio (INATOMI; UDAETA, 2018).

4.3 O mercado de energia renovável e os leilões de energia

No Brasil, a geração de energia é predominantemente hidráulica, fazendo com que a capacidade de geração do sistema dependa de condições hidrológicas. Sendo assim, é necessário realizar um planejamento do parque gerador para que a demanda energética seja atendida, mesmo em condições hidrológicas desfavoráveis (PORTO, 2016).

Para diversificar e desenvolver fontes alternativas para a produção de energia elétrica o governo criou incentivos que estimulem empreendedores e consumidores a investirem nesse segmento do mercado de energia. As principais fontes incentivadas são: as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (hidrelétricas com potência igual ou inferior a 1 MW), solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada (com potência injetada menor ou igual a 30 MW). De acordo com a Lei no 9.427, de 1996, os empreendimentos citados anteriormente terão um percentual de redução entre 50% a 100% a ser aplicado às Tarifa de Uso do Sistema de

Transmissão de Energia Elétrica (TUST) e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica (TUSD), incidindo tanto na produção quanto no consumo da energia comercializada (PORTO, 2016).

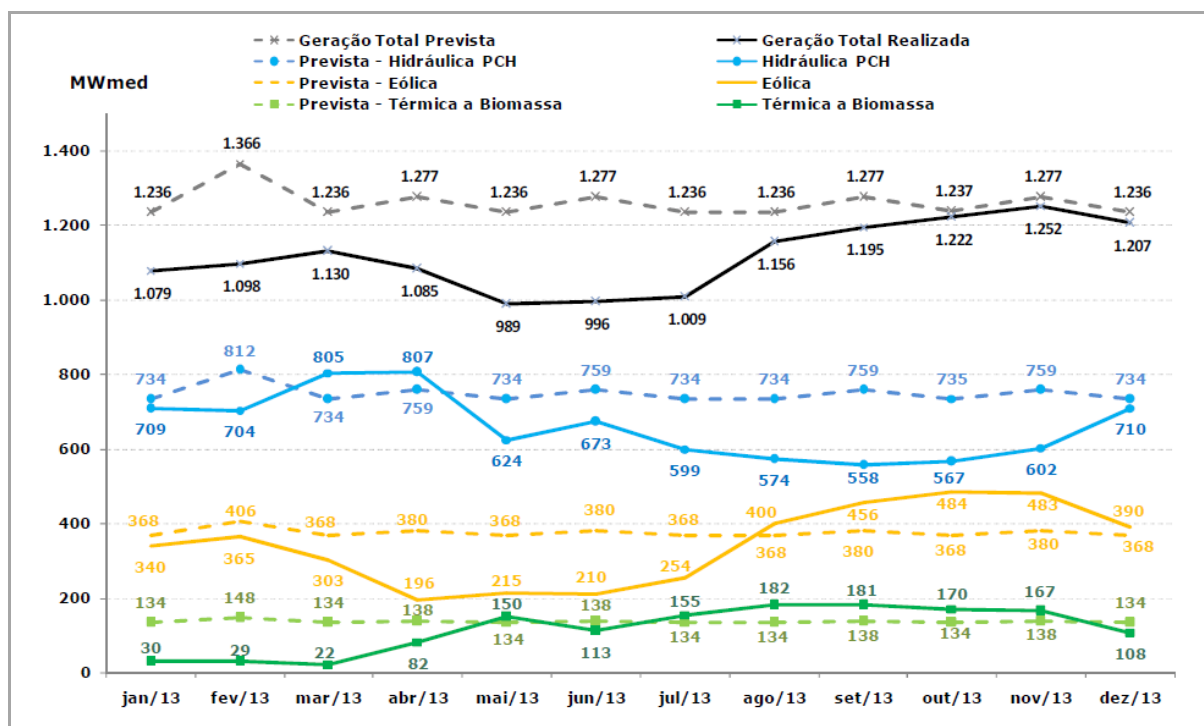
Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), o Brasil possui uma situação privilegiada na utilização de fontes renováveis de energia pois 43,9% da Oferta Interna de Energia (OIE) é renovável, a média mundial é de 14% e nos países desenvolvidos esse valor é de apenas 6%. A OIE, também denominada de matriz energética, representa toda a energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos do País (MME, 2018). Dois programas criados pelo MME para incentivar o investimento em fontes alternativas de energia são o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD).

O PROINFA foi criado pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. Seu objetivo é alavancar os ganhos de escala, aprendizagem tecnológica, competitividade industrial nos mercados interno e externo e, sobretudo, a identificação e apropriação dos benefícios técnicos, ambientais e socioeconômicos na definição da competitividade econômico-energética de projetos de geração que utilizem fontes limpas e sustentáveis (MME, 2018).

O ProGD foi lançado no dia 15 de dezembro de 2015 com o objetivo de ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, com base nas fontes renováveis de energia (em especial a solar fotovoltaica). O Programa possui a estimativa de movimentar por volta de R\$ 100 bilhões em investimentos até 2030 (MME, 2015).

No Gráfico 1 são apresentados os valores de energia gerados pelas usinas do Proinfa de acordo com o tipo de fonte, bem como as quantidades previstas. A geração total das usinas do Proinfa em 2013 foi de 1.118,2 MW médios, sendo que a geração prevista era de 1.259,4 MW médios. A produção foi 11,2% menor do que o projetado para o ano mas a geração realizada foi 6,88% maior do que o montante gerado no ano de 2012. (CCCE, 2013).

Gráfico 1: Resultados das usinas do Proinfa em 2013.



Fonte: CCEE (2013).

Atualmente, conforme definido pela Lei nº 10848 de 15 de março de 2004, os leilões de energia são a principal forma de contratação de energia no Brasil. Com eles as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) garantem o atendimento à totalidade de seu mercado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). São realizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), por delegação da Aneel, com eles garante-se a contratação de energia elétrica para o atendimento do consumo do mercado e para a formação lastro de reserva. Para a definição dos vencedores do certame é utilizado o critério de menor tarifa, visando a eficiência na contratação de energia (MELO, 2011; CCEE, 2018).

Os leilões funcionam sob o sistema de contratação regulada, podendo contratar energia de novos projetos um, três ou cinco anos antes do começo das operações ou complementar a carga de energia necessária ao atendimento do mercado consumidor dos agentes de distribuição (chamados leilões A-1, A-3, A-5 e leilão de ajuste, respectivamente) (MME, 2018).

Os leilões direcionados exclusivamente para fontes renováveis de energia começaram a ser promovidos a partir de 2007, com o intuito de aumentar sua participação na geração elétrica brasileira (MELO, 2011).

A CCEE realiza todos os leilões de energia, é ela que registra os contratos celebrados após a finalização dos mesmos, garante o seu cumprimento e sujeira os contratantes às penalizações determinadas, caso haja o descumprimento do que foi estabelecido (MELO, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Aspectos e impactos ambientais: estudos de caso

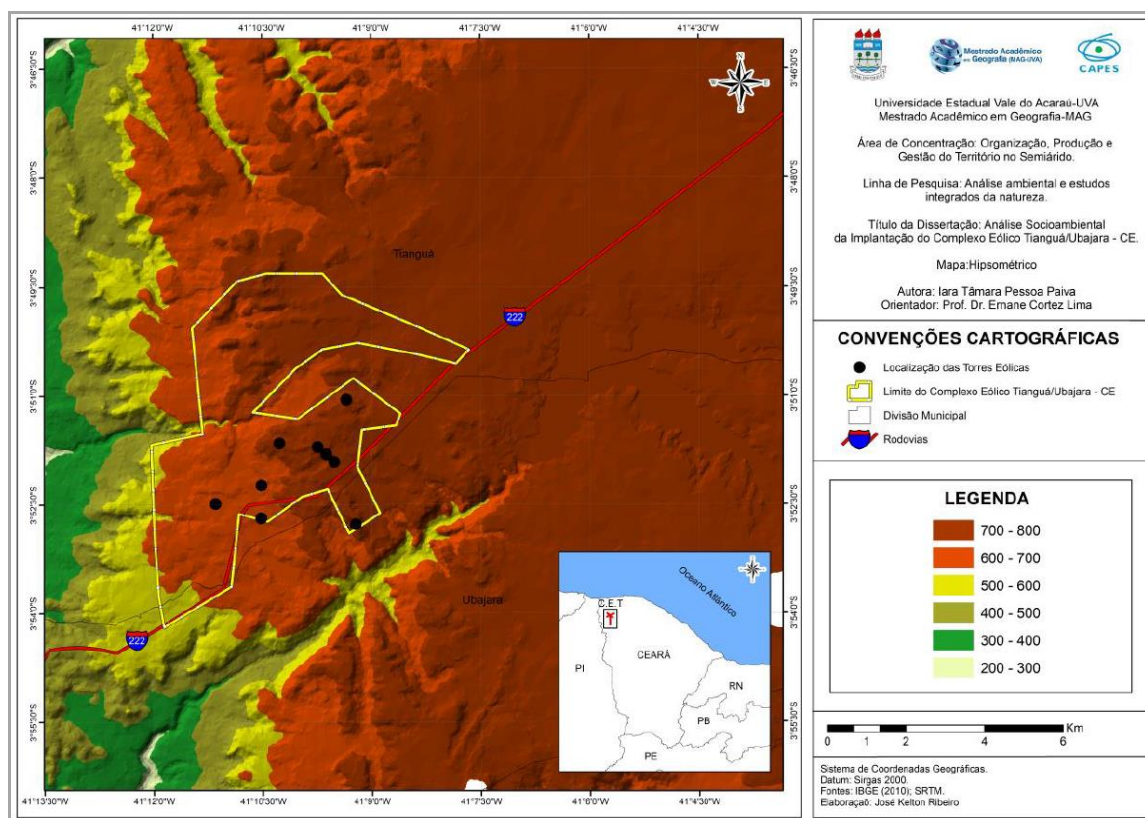
A implantação de fontes renováveis de energia é imprescindível, uma vez que essas são menos poluentes no seu processo de produção de energia. Porém, muitas vezes é necessário observar além de sua atividade, ou seja, desde sua concepção, operação até desativação.

Este tópico aborda estudos de caso que evidenciam alguns aspectos e impactos ambientais que resultaram da implantação e operação de projetos de energia eólica, fotovoltaica e hídrica. Ressalta-se que durante o período de desenvolvimento deste trabalho os estudos acadêmicos referentes ao tema proposto neste tópico para a energia solar e biomassa não foram considerados substanciais, referentes ao estudo de aspectos e impactos ambientais, portanto, não foram apresentados.

5.1.1 Energia Eólica: Impactos no interior do Ceará.

Paiva (2017) faz uma análise dos impactos socioambientais resultantes da expansão da geração de energia eólica no Ceará, com foco na serra da Ibiapaba nos municípios de Ubajara e Tianguá.

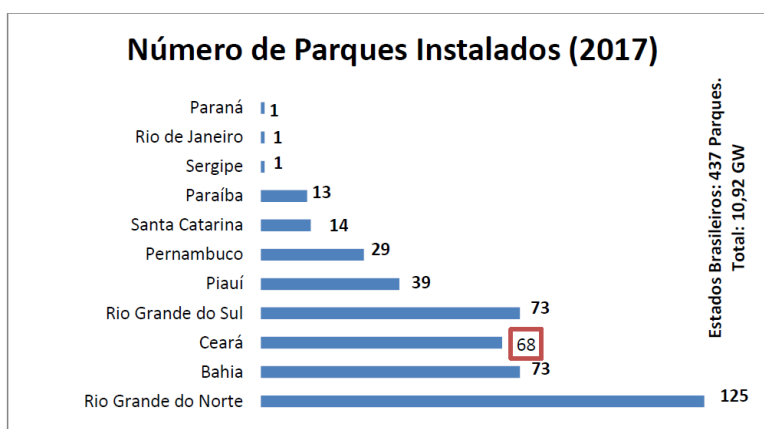
Figura 6: Mapa de Localização do Complexo Eólico Tianguá.



Fonte: PAIVA (2017).

Segundo a autora, em 2009 apenas 0,4% da energia elétrica no país provinha de fonte eólica; porém, em 2017 a ABEEólica informava que o país possuía mais de 400 parques eólicos, sendo que o Ceará se encontrava atrás apenas do Rio Grande do Norte, Bahia e Rio Grande do Sul.

Gráfico 2: Gráfico com o número de Parques Eólicos Instalados Brasil.



Fonte: ABEEólica (2017) modificado por PAIVA (2017).

Com relação aos impactos, Paiva (2017) comenta que a geração de energia eólica tem sido marcada por conflitos, desde a “acumulação por espoliação” das terras, desigualdades ambientais, distribuição desigual de benefícios e malefícios dos projetos, bem como a sobreposição de práticas espaciais. Além das expropriações, há também processos de resistência e luta coletiva pois os parques eólicos localizam-se muito próximos às áreas residenciais com baixo poder aquisitivo e político. Destacam-se como potencialidades, o potencial turístico e o modo de vida tradicional e como problemáticas a ausência de infraestrutura básica e de emprego, barramentos de estradas, o medo constante de algum acidente, além da degradação socioambiental.

Nas comunidades próximas foi constatado oposição à estética, medo, grande tráfego de veículos pesados, apropriação de alguns recursos, localização dos aerogeradores muito próxima às casas, gerando desconforto com a população. Segundo moradores foi feito o aterramento e esgotamento da barragem para a instalação do parque, o que representa um problema evidente. A comunidade também enfrentava um déficit alimentar devido à impossibilidade da caça devido a barramentos e fechamento de estradas, problemas na estrutura das casas devido o trânsito de veículos pesados, violação do direito de ir e vir, além de modificação da paisagem natural através do desmonte de dunas e aterramento de lagoas. No final da obra houve outros problemas devido ao período do inverno devido as transações feitas na obra, aterramento de uma barragem, escavação de poços e cortes e privatização, gerando mortes de animais que morrem na pista (PAIVA, 2017).

Figura 7: Mosaico de fotos mostrando a proximidade dos parques eólicos com as comunidades.



Fonte: PAIVA (2017).

5.1.2 Energia Solar: Usina de energia solar queima pássaros em pleno voo nos EUA

Segunda a CBC (2019) as usinas de energia solar afetando a vida selvagem, foram constatados casos de incineração de aves. A notícia refere-se ao moderno Sistema Gerador Solar Elétrico Ivanpah (ISEGS) que utiliza "torres de energia", estruturas de arranha-céus que recebem feixes de raios solares, para gerar eletricidade.

No Sistema de Ivanpah, localizado no estado da Califórnia, nos Estados Unidos, os raios solares são redirecionados por mais de 300.000 espelhos na superfície do deserto de Mojave que refletem os raios solares em direção a três torres, que se elevam a uma altura de até 40 andares. As temperaturas próximas às torres podem subir até 800 graus, o que faz com que a água produza vapor que aciona as turbinas para que gerem energia (CBC, 2019).

Figura 8: Sistema Gerador Solar Elétrico Ivanpah.



Fonte: CBC (2014).

No total, a instalação gera eletricidade suficiente para abastecer 140 mil casas e elimina as emissões de dióxido de carbono equivalente a 72 mil veículos por ano. Apesar dos benefícios desse tipo de energia renovável a vida selvagem na área é afetada, até 28.000 aves por ano acabam morrendo queimadas nos feixes de luz solar, as mortes ocorrem a uma taxa de um pássaro a cada dois minutos (CBC, 2019).

Figura 9: Pássaro chamuscado ao passar por cima da usina solar.



Fonte: CBC (2014).

Enquanto a BrightSource (um dos três investidores por trás da usina solar) estima que ocorram cerca de mil mortes por ano, cálculos realizados por um especialista do grupo ambientalista Center for Biological Diversity calcula que ocorram até 28 mil por ano. As mortes das aves mostram que a busca por uma energia limpa por vezes pode provocar danos ambientais imprudentemente (CBC, 2019).

Segundo especialistas, a luz que é refletida pelos espelhos da usina atrai insetos e estes por sua vez, sendo fonte de alimento, atraem os pássaros que acabam morrendo devido à alta intensidade de raios solares (CBC, 2019).

Figura 10: Torre da Caldeira.



Fonte: CBC (2014).

5.1.3 Energia Hídrica: Impactos Ambientais da Usina de Belo Monte no Estado do Pará

Freire (2014) aponta alguns dos principais impactos ambientais provenientes da implantação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, com foco nos aspectos socioeconômicos e físico ambientais compreendidos em uma região do baixo curso do rio Xingu, no Estado do Pará.

A região que está sob a influência da implantação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, é composta pelos municípios de Altamira, Senador José Porfírio, Anapu, Vitória do Xingu, Pacajá, Placas, Porto de Moz, Uruará, Brasil Novo, Gurupá e Medicilândia (ELETRONORTE, 2009).

O trabalho indica que a partir da implantação do projeto o município de Altamira apresentou um grande aumento do fluxo migratório, mas, de acordo com o EIA, já se previa um acréscimo de mais de 90 mil habitantes em toda a área afetada. Além disso, cita-se como impactos aos municípios em geral, o aumento do uso e ocupação desordenado do solo; a demanda por serviços e equipamentos públicos; especulação imobiliária; custo de vida da população; a pressão sobre os recursos minerais, florestais e pesqueiros; e problemas sociais relacionados à segurança e saúde pública. Com o acelerado processo de construção de edificações e pavimentação das ruas, acarretou-se a impermeabilização do solo, derrubada de vegetação e construção de fossas sépticas sem rigor, contaminando o lençol freático (FREIRE, 2014).

Já o represamento e desvio de parte das águas do rio Xingu, impactará na dinâmica do relevo fluvial, sendo assim o aporte de sedimentos será modificado, além de que com os desmatamentos às margens do rio e remoção de estruturas geológicas na área do represamento, ocorre a desconstrução da estrutura geomorfológica do canal fluvial, uma vez que novas ilhas fluviais surjam e outras desapareçam. Ainda a biodiversidade local terá que adaptar-se às novas áreas estabelecidas, ou mesmo desaparecerão sem habitat adequado (FREIRE, 2014).

Com as mudanças na dinâmica fluvial será necessário realizar a remoção de algumas comunidades tradicionais de ribeirinhos e tribos indígenas. Os impactos sobre essas populações vão desde a ruptura das relações culturais e econômicas com a área até a mudanças no hábito de vida, desemprego e problemas psicológicos por conta da perda de identidade e desestruturação das redes de relações sociais (FREIRE, 2014).

5.2 Planos Decenais de Energia (PDE)

Os planos decenais de energia apresentam uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta de fontes energéticas, os estudos utilizados para o presente estudo abrangem os períodos de 2008 à 2017 e 2010 à 2019 (não existe plano referente ao ano de 2018).

O PDE define um cenário de referência e analisa a expansão da demanda e da oferta de recursos energéticos no período decenal. Esses estudos são importantes pois orientam as decisões dos agentes no mercado de energia e assim, auxiliar a assegurar a expansão equilibrada da oferta energética, com sustentabilidade técnica, econômica e ambiental.

Para a análise dos planos escolheu-se três principais pontos para estudo: *Premissas demográficas*, *Oferta de energia elétrica* e o *Consumo final energético por fonte*.

As *Premissas demográficas* adotadas neste levantamento englobam o número de habitantes e de domicílio no país, a *Oferta de energia elétrica* é a energia necessária para movimentar a economia dos países, sendo que será estudada a capacidade instalada para geração de energia e, o *Consumo final energético por fonte* mostra a participação, ou consumo, das fontes de energia que se destacaram nos PDE.

5.2.1 *Plano Decenal de Energia 2008 – 2017*

Em relação as *Premissas demográficas* a projeção do número de domicílios foi obtida a partir da estimativa da relação habitantes/domicílio, utilizando-se como base os resultados censitários dos anos 1970, 1980, 1991 e 2000. O relatório informa que em 2007 existiam 182,3 milhões de habitantes e 51 milhões de domicílios e faz a projeção para 2017 de 204,5 milhões de habitantes e 63,3 milhões de domicílios (PDE, 2008).

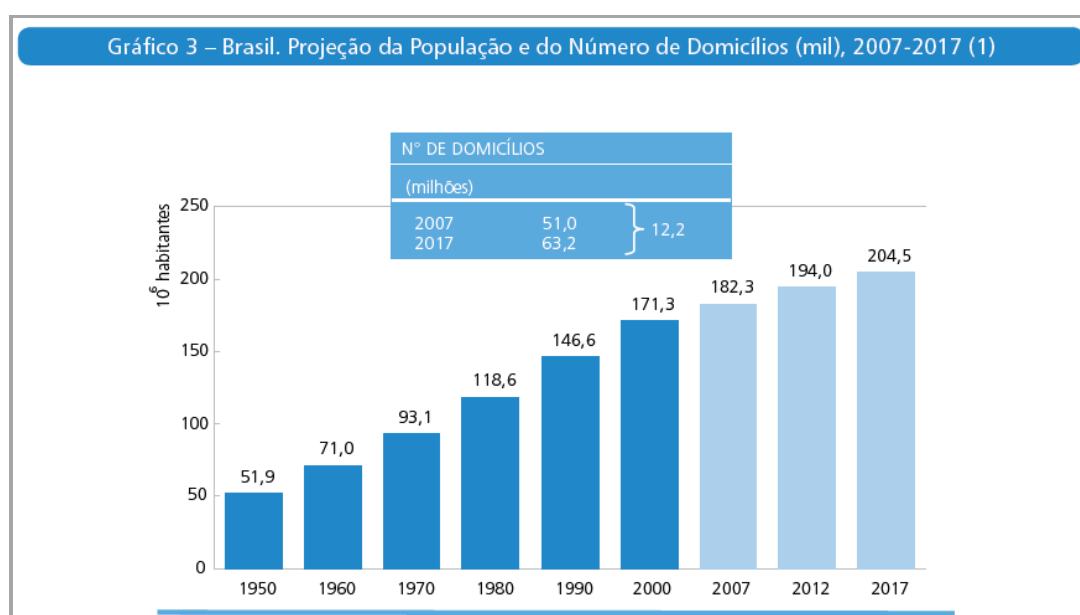
Tabela 1: Economia e consumo final energético no período estudado.

Tabela 42 - Economia e Consumo Final Energético – 2008-2017						
Discriminação	2008	2012	2017	Variação (% ao ano)		
				2008/ 2012	2012/ 2017	2008/ 2017
PIB (10 ³ R\$ [2006])	2.571	3.095	3.951	4,7	5,0	4,9
População Residente (10 ³ habitantes)	184.726	193.953	204.540	1,2	1,1	1,1
PIB per capita (R\$ [2006]/hab/ano)	13.919	15.960	19.315	3,5	3,9	3,7
Consumo Final Energético (10 ³ tep)	207.221	251.393	310.541	4,9	4,3	4,6
Consumo Final de energia per capita (tep/hab/ano)	1,122	1,296	1,518	3,7	3,2	3,4
Intensidade Energética da Economia (tep/10 ³ R\$ [2006])	0,081	0,081	0,079	-	-	-
Elasticidade-renda do consumo de energia	-	-	-	1,04	0,86	0,94

Notas: Inclui o consumo do setor energético.
O valor de elasticidade-renda refere-se à sua média no período indicado.

Fonte: PDE / EPE (2008).

Nota: Real em valores de 2006.

Gráfico 3: Projeção da população e do número de domicílios no Brasil no período estudado.

Fonte: PDE (2008).

Relativo a *Oferta de energia elétrica*, segundo o PDE (2008), em Megawatts, a capacidade instalada passaria de 102.082 MW em 2008 para 154.645 MW em 2017, sendo que a participação da energia hidroelétrica continuaria sendo majoritária, porém com participação menor com o passar dos anos.

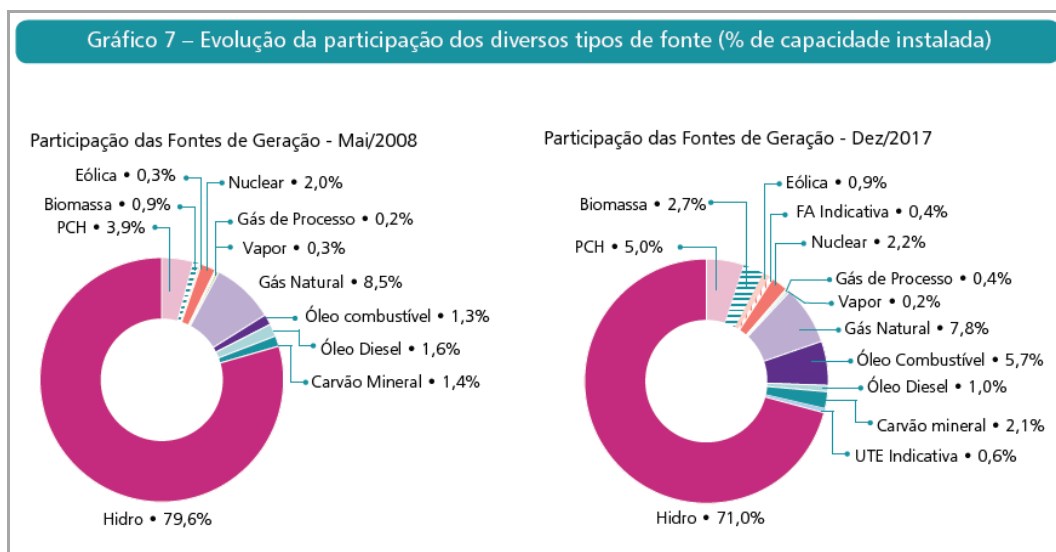
Tabela 2: Evolução da capacidade instalada para diferentes fontes de geração no período estudado.

Tabela 33 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (MW) ^a										
Tipo	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Hidro	80 961	81 669	83 653	85 386	86 044	88 505	90 491	95 888	103 230	109 766
PCH	3 951	5 157	6 261	6 415	6 445	6 859	7 734	7 734	7 734	7 734
Nuclear	2 007	2 007	2 007	2 007	2 007	2 007	3 357	3 357	3 357	3 357
Óleo Combustível	1 369	1 673	3 405	4 845	5 271	8 889	8 889	8 889	8 889	8 889
Gás Natural	8 997	9 107	9 323	9 818	10 382	12 059	12 059	12 059	12 059	12 059
Óleo Diesel	1 657	2 516	2 691	2 691	2 127	1 574	1 574	1 574	1 574	1 574
Carvão Mineral	1 415	1 415	1 765	2 465	2 815	3 175	3 175	3 175	3 175	3 175
Biomassa	982	1 637	3 997	4 056	4 056	4 170	4 170	4 170	4 170	4 170
Gás De Processo	197	687	687	687	687	687	687	687	687	687
Ute Indicativa	-	-	-	-	-	-	-	900	900	900
Vapor	272	272	272	272	272	272	272	272	272	272
Eólica	274	1 045	1 423	1 423	1 423	1 423	1 423	1 423	1 423	1 423
Fa Indicativa	-	-	-	-	-	-	-	320	640	640
Total	102 082	107 185	115 482	120 065	121 528	129 619	133 830	140 447	148 109	154 645

a potência instalada em dezembro de cada ano

Fonte: PDE (2008).

Nota: A ‘Ute indicativa’ e a ‘Fa indicativa’ referem-se a projeções de expansão que poderão ocorrer se forem instaladas no futuro sendo Ute a sigla para Usina Termelétrica e Fa a sigla para Fotovoltaica.

Gráfico 4: Evolução da capacidade instalada por fonte no período estudado.

Fonte: PDE (2008).

O *Consumo final energético por fonte*, desconsiderando o consumo do setor energético, mostrou aumento na participação dos biocombustíveis líquidos, principalmente o álcool etílico e o biodiesel evoluindo de 5,2% para 9,7% e de 0,5% para 1,1% do total do consumo final energético nacional entre 2008 e 2017, respectivamente. Já o gás natural evolui mais lentamente que as demais fontes com participação passando de 6,0% para 6,2% do

consumo total de energia, no ano de 2017 (PDE, 2008). Para melhor análise dos dados elaborou-se a tabela 4, onde estão expressos os valores percentuais baseados na tabela 3.

Ao longo do período estudado a eletricidade teve sua participação no consumo final de energia aumentando gradualmente, de 19,1% do total em 2008 para 20,6% em 2017. A soma dos percentuais de participação das fontes renováveis (lenha, bagaço de cana, álcool etílico, biodiesel e outras fontes renováveis) e menos poluentes na matriz de consumo energético nacional tiveram, entre 2008 e 2017, um aumento de 34,4% para 36,7% em detrimento da soma dos percentuais de participação dos derivados de petróleo (óleo diesel, óleo combustível, gasolina, gás liquefeito de petróleo, querosene para a aviação e outros derivados de petróleo), que estão perdendo participação no consumo final energético nacional, que passou de 40,5% para 36,5% no final do período (PDE, 2008).

Tabela 3: Consumo final energético por fonte, desconsiderando o consumo do setor energético.

Tabela 43 - Consumo Final Energético, por fonte (10 ³ tep)						
Discriminação	2008	2012	2017	Variação (% ao ano)		
				2008/ 2012	2012/ 2017	2008/ 2017
Gás natural	11.389	15.190	17.297	7,5	2,6	4,8
Lenha	16.424	16.463	16.558	0,1	0,1	0,1
Bagaço de cana	15.909	18.710	22.162	4,1	3,4	3,8
Eletricidade	35.949	44.476	57.919	5,5	5,4	5,4
Álcool etílico	9.704	17.964	27.247	16,6	8,7	12,2
Biodiesel	958	2.297	2.964	24,4	5,2	13,4
Outros	21.853	26.124	34.100	4,6	5,5	5,1
Subtotal derivados de petróleo	76.204	84.548	102.386	2,6	3,9	3,3
Óleo diesel	35.546	42.268	54.771	4,4	5,3	4,9
Óleo combustível	7.768	8.989	10.545	3,7	3,2	3,5
Gasolina	14.200	11.350	11.061	-5,4	-0,5	-2,7
Gás liquefeito de petróleo	7.432	8.188	9.114	2,5	2,2	2,3
QAV	4.057	4.987	6.424	5,3	5,2	5,2
Outros derivados de petróleo	7.202	8.767	10.470	5,0	3,6	4,2
Consumo final energético(1)	188.390	225.773	280.634	4,6	4,4	4,5

Nota: Não inclui o consumo do setor energético.

Fonte: PDE / EPE (2008).

Tabela 4: Percentuais do consumo final energético por fonte da Tabela 43 do PDE 2008.

PLANO DECENAL DE ENERGIA 2008 - 2017						
Descrição	2008		2012		2017	
	10³ tep	%	10³ tep	%	10³ tep	%
Gás natural	11.389	6,0	15.190	6,7	17.297	6,2
Lenha	16.424	8,7	16.463	7,3	16.558	5,9
Bagaço de cana	15.909	8,4	18.710	8,3	22.162	7,9
Elettricidade	35.949	19,1	44.476	19,7	57.919	20,6
Álcool etílico	9.704	5,2	17.964	8,0	27.247	9,7
Biodiesel	958	0,5	2.297	1,0	2.964	1,1
Outras fontes renováveis	21.853	11,6	26.124	11,6	34.100	12,2
Óleo diesel	35.546	18,9	42.268	18,7	54.771	19,5
Óleo combustível	7.768	4,1	8.989	4,0	10.545	3,8
Gasolina	14.200	7,5	11.350	5,0	11.061	3,9
Gás liquefeito de petróleo	7.432	3,9	8.188	3,6	9.114	3,2
QAV	4.057	2,2	4.987	2,2	6.424	2,3
Outros derivados de petróleo	7.202	3,8	8.767	3,9	10.470	3,7
Consumo Final energético	188.390	100	225.773	100	280.634	100

Fonte: PDE / EPE (2008) modificado pela autora.

O consumo do setor energético é o consumo das indústrias para transformação da energia primária em energia secundária (por exemplo, a transformação do petróleo nas refinarias). O PDE 2008-2017 não informa o consumo final energético por fonte considerando o consumo do setor energético e não especifica qual é a forma de geração da “Elettricidade”. Estes fatos são empecilhos para estudos mais aprofundados deste plano e comparações com outras fontes de dados.

5.2.2 Plano Decenal de Energia 2010 – 2019

O PDE 2010-2019 considera os efeitos decorrentes da crise financeira internacional, diferentemente do PDE 2008-2017, já que a situação ainda era considerada prematura. Os estudos PDE foram elaborados em uma época em que os efeitos da crise financeira internacional já se manifestavam intensamente no comportamento do mercado nacional de energia elétrica, gerando forte diminuição no consumo industrial de eletricidade ao longo do ano de 2009. Os principais setores que foram impactados tanto no Brasil quanto no exterior foram alguns segmentos da metalurgia, como a indústria siderúrgica (PDE, 2010).

Em relação as *Premissas demográficas* o relatório informa que em 2010 existiam 191 milhões de habitantes e 60,84 milhões de domicílios e faz a projeção para 2019 de 206,56 milhões de habitantes e 73,99 milhões de domicílios (PDE, 2010).

Tabela 5: Projeção da população do Brasil e regiões no período estudado.

Tabela 8 – Brasil e regiões, 2010–2019: projeção da população total residente (mil hab)						
Ano	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
2010	15.663	54.294	81.932	28.028	14.174	194.091
2014	16.371	55.934	84.307	28.750	14.825	200.186
2019	17.110	57.649	86.788	29.504	15.505	206.556

Fonte: PDE (2010) modificado pela autora.

Tabela 6: Projeção do número de domicílios do Brasil e regiões no período estudado.

Tabela 9 – Brasil e regiões, 2010–2019: projeção do número de domicílios (mil)						
Ano	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
2010	4.259	15.295	27.152	9.591	4.547	60.844
2014	4.725	16.660	29.692	10.533	5.051	66.662
2019	5.305	18.384	32.917	11.723	5.663	73.992

Fonte: PDE (2010) modificado pela autora.

Relativo a *Oferta de energia elétrica*, segundo o PDE (2010), a capacidade instalada passará de 112.455 MW em dezembro 2010 para 167.078 MW em dezembro de 2019, sendo que a participação da energia hidrotérmica continuará sendo majoritária, porém com participação menor com o passar dos anos.

Tabela 7: Capacidade instalada por fonte no período estudado.

Tabela 54 – Evolução da Capacidade Instalada por Fonte de Geração (MW)											
FONTE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Hidro ^(a)	83.169	85.483	86.295	88.499	89.681	94.656	100.476	104.151	108.598	116.699	
Urânio	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412	
Gás natural	8.860	9.356	9.856	11.327	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533	
Carvão	1.765	2.485	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	
Óleo combustível	3.380	4.820	5.246	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	
Óleo diesel	1.728	1.903	1.703	1.356	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	
Gás de processo	687	687	687	687	687	687	687	687	687	687	
Pch	4.043	4.116	4.116	4.516	5.066	5.566	5.816	6.066	6.416	6.966	
Biomassa	5.380	6.083	6.321	6.671	7.071	7.421	7.621	7.771	8.121	8.521	
Eólica	1.436	1.436	3.241	3.641	4.041	4.441	4.841	5.241	5.641	6.041	
Total ^(b)	112.455	118.375	122.676	130.774	133.305	140.935	147.605	152.080	157.628	167.078	

Notas: Os valores da tabela indicam a potência instalada em dezembro de cada ano, considerando a motorização das UHE.
 (a) Inclui a estimativa de importação da UHE Itaipu não consumida pelo sistema elétrico Paraguai.
 (b) Não considera a autoprodução, que, para os estudos energéticos, é representada como abatimento de carga. A evolução da participação da autoprodução de energia é descrita no Capítulo II.

Fonte: PDE (2010).

O *Consumo final energético por fonte* mostrou novamente que os biocombustíveis líquidos ganham força na matriz de consumo final energético, o etanol e biodiesel passam de 7,4% em 2010 para 8,3% em 2019. Os outros biocombustíveis (incluindo, além dos líquidos,

bagaço de cana, lenha, carvão vegetal, entre outros) aumentam sua participação de 35,5% para 36,3% (PDE, 2010).

A eletricidade continua apresentando uma perda de participação passando de 17,2% em 2010 para 16,7% em 2019. Os derivados de petróleo apresentam queda de 35,7%, em 2010, para 31,8%, em 2019. A redução é atribuída principalmente a gasolina, diminuindo de 6,6% para 3,3%. O GLP também contribui para a perda da importância dos derivados de petróleo, passando de 3,5% para 2,7% na participação. Porém, o óleo diesel aumenta sua parcela no consumo final energético de 16,8% para 17,8% entre 2010 e 2019 (PDE, 2010).

Tabela 8: Consumo final energético por fonte no período estudado. Inclui o consumo do setor energético.

Tabela 12 – Economia e Consumo Final Energético 2010–2019						
Discriminação	2010	2014	2019	Variação anual*		
				2010/ 2014	2015/ 2019	2010/ 2019
PIB (10 ⁹ R\$ [2008])	3.201	3.891	4.966	5,2	5,0	5,1
População Residente (10 ³ habitantes)	194.091	200.186	206.556	0,8	0,6	0,7
PIB per capita (R\$ [2008]/hab/ano)	16.493	19.437	24.042	4,4	4,3	4,4
Consumo Final Energético 10 ³ tep	228.009	289.216	365.682	7,1	4,8	5,9
Consumo Final de energia per capita (tep/hab/ano)	1,175	1,445	1,770	6,2	4,1	5,2
Intensidade Energética da Economia (tep/10 ⁹ R\$ [2008])	0,071	0,074	0,074	2,5	–	1,2
Elasticidade-renda do consumo de energia ⁽¹⁾	–	–	–	1,36	0,96	1,16
Notas: Os valores de consumo final incluem o consumo do setor energético. (1) O valor de elasticidade-renda refere-se à sua média no período indicado. (*) Variações médias anuais nos períodos indicados, a partir de 2009 e 2014. Para o PIB considerou-se crescimento próximo de zero em 2009, 6% em 2010 e 5% ao ano a partir de 2011.						

Fonte: PDE / EPE (2010).

Nota: Real em valores de 2008.

Tabela 9: Consumo final energético por fonte no período estudado.

Tabela 13 – Consumo final energético, por fonte (10 ³ tep)									
Discriminação	2010		2014		2019		Variação anual (%)*		
	10 ³ tep	%	10 ³ tep	%	10 ³ tep	%	2010 2014	2015 2019	2010 2019
Gás natural	16.560	7,3	27.174	9,4	32.239	8,8	17,1	3,5	10,1
Carvão mineral e coque	10.116	4,4	16.370	5,7	22.886	6,3	13,6	6,9	10,2
Lenha	18.053	7,9	19.741	6,8	24.424	6,7	2,7	4,3	3,5
Carvão vegetal	5.668	2,5	7.839	2,7	9.566	2,6	8,0	4,1	6,0
Bagaço de cana	33.217	14,6	41.647	14,4	53.466	14,6	7,1	5,1	6,1
Elettricidade	39.146	17,2	48.312	16,7	61.230	16,7	5,8	4,9	5,3
Etanol	14.928	6,5	20.032	6,9	26.839	7,3	11,6	6,0	8,8
Biodiesel	2.125	0,9	2.675	0,9	3.540	1,0	14,0	5,8	9,8
Outros	6.904	3,0	10.357	3,6	15.022	4,1	11,0	7,7	9,3
Derivados de petróleo	81.292	35,7	95.068	32,9	116.470	31,8	4,4	4,1	4,3
Óleo diesel	38.251	16,8	48.645	16,8	64.939	17,8	6,0	5,9	6,0
Óleo combustível	5.824	2,6	7.555	2,6	9.054	2,5	6,5	3,7	5,1
Gasolina	15.034	6,6	12.531	4,3	11.944	3,3	-2,8	-1,0	-1,9
Gás liquefeito de petróleo	7.976	3,5	8.900	3,1	10.029	2,7	2,9	2,4	2,6
Querosene	2.867	1,3	3.548	1,2	4.554	1,2	5,7	5,1	5,4
Outros derivados de petróleo	11.340	5,0	13.889	4,8	15.950	4,4	6,9	2,8	4,8
Cons. Final energético	228.009	100,0	289.216	100,0	365.682	100,0	7,1	4,8	5,9

* Variações médias anuais nos períodos indicados, a partir de 2009 e 2014.
Fonte: EPE

Fonte: PDE / EPE (2010).

O PDE 2010-2019 especifica que os valores de consumo final por fonte incluem o consumo do setor energético. O plano não especifica qual é a forma de geração da “Elettricidade”, podendo gerar empecilhos para estudos mais aprofundados deste plano e comparações com outras fontes de dados.

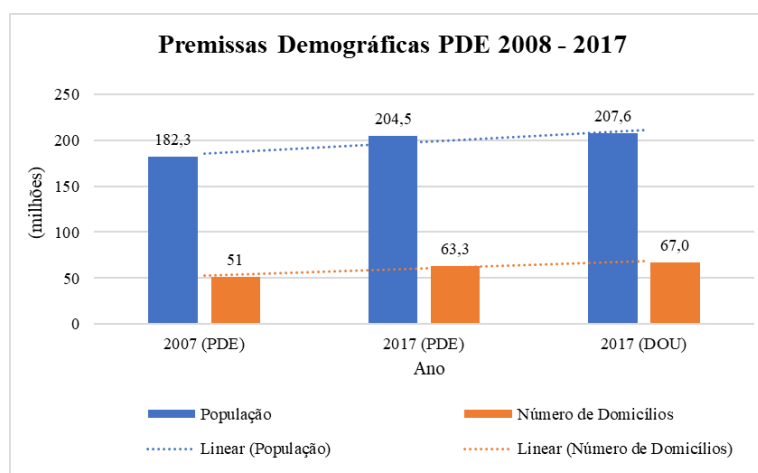
5.3 O setor energético renovável brasileiro de 2017 à 2019.

Este tópico analisa as previsões dos PDE 2008-2017 e 2010-2019, a fim de verificar se de fato se concretizaram e, em caso negativo, quais foram as divergências. Os gráficos e as linhas de tendência deste tópico foram elaborados com auxílio do Excel.

A respeito das *Premissas demográficas*, conforme o Diário Oficial da União (DOU) (2017), no dia 30 de agosto de 2017 o Brasil tinha uma população de 207,66 milhões de habitantes e ao final do ano mais de 67 milhões de domicílios; conforme estimativa de população do IBGE (2019), no dia 1º de maio de 2019 o Brasil tinha uma população aproximada de 209,85 milhões de habitantes e mais de 69,8 milhões de domicílios.

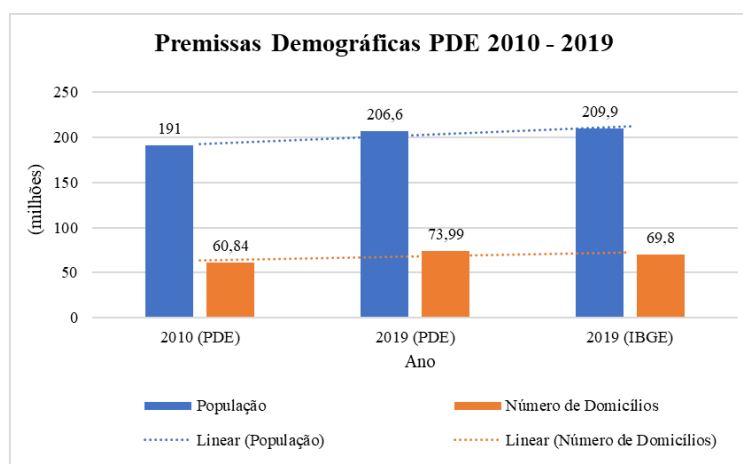
Sendo assim calcula-se que houve um déficit de 1,49% e 1,57% a menos no número de habitantes e 5,5% a menos e 6,0% a mais no número de domicílios para 2017 e 2019 respectivamente, comparando com as projeções dos PDE em questão.

Gráfico 5: Comparação entre as premissas demográficas 2007 – 2017 do PDE 2008 e os dados reais.



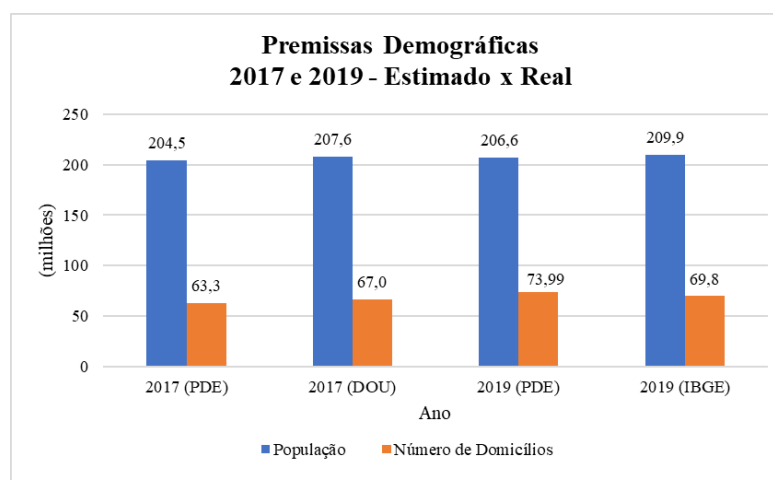
Fonte: PDE (2008) e DOU (2017) modificados pela autora.

Gráfico 6: Comparação entre as premissas demográficas 2010 – 2019 do PDE 2010 e os dados reais.



Fonte: PDE (2010) e IBGE (2019) modificados pela autora.

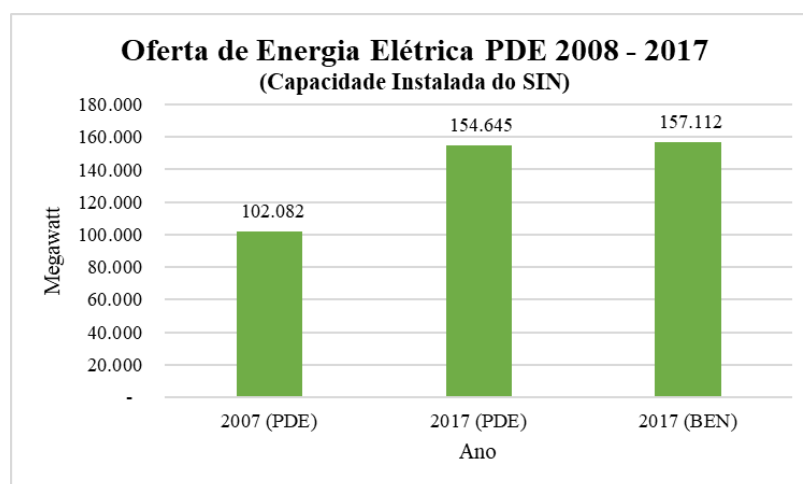
Gráfico 7: Premissas demográficas 2017 e 2019 – estimado nos PDE 2008 e 2010 versus dados reais.



Fonte: PDE (2008), PDE (2010), DOU (2017) e IBGE (2019) modificados pela autora.

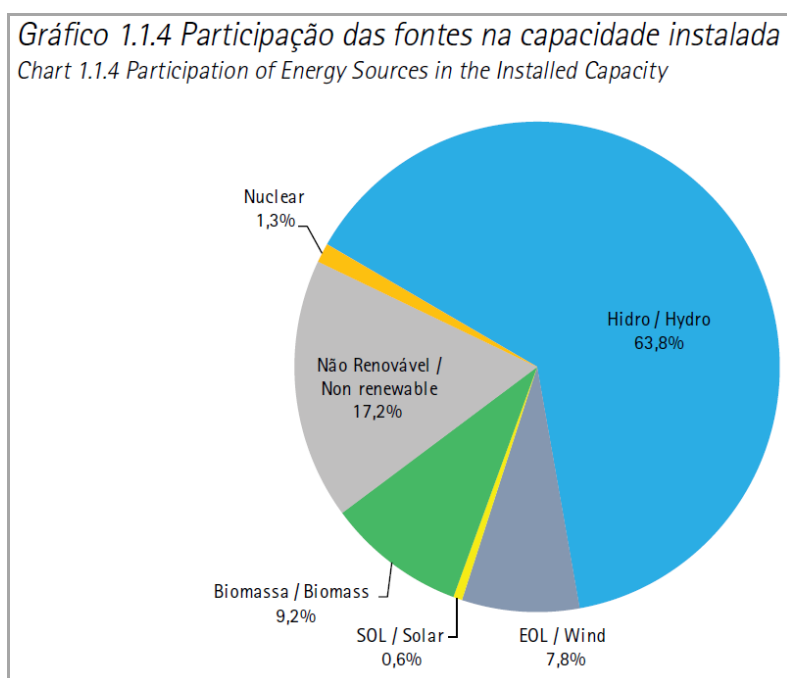
A respeito da *Oferta de energia elétrica*, considerando a capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN), de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2018 (EPE, 2018) a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 157.112 Megawatts de potência. Sendo assim a projeção do PDE 2008-2017 de 154.645 Megawatts foi 1,57% menor do que o cenário real de 2017.

Gráfico 8: Comparação entre a oferta de energia elétrica em 2007 – 2017 do PDE 2008 e os dados reais.



Fonte: PDE (2008) e EPE (2018) modificados pela autora.

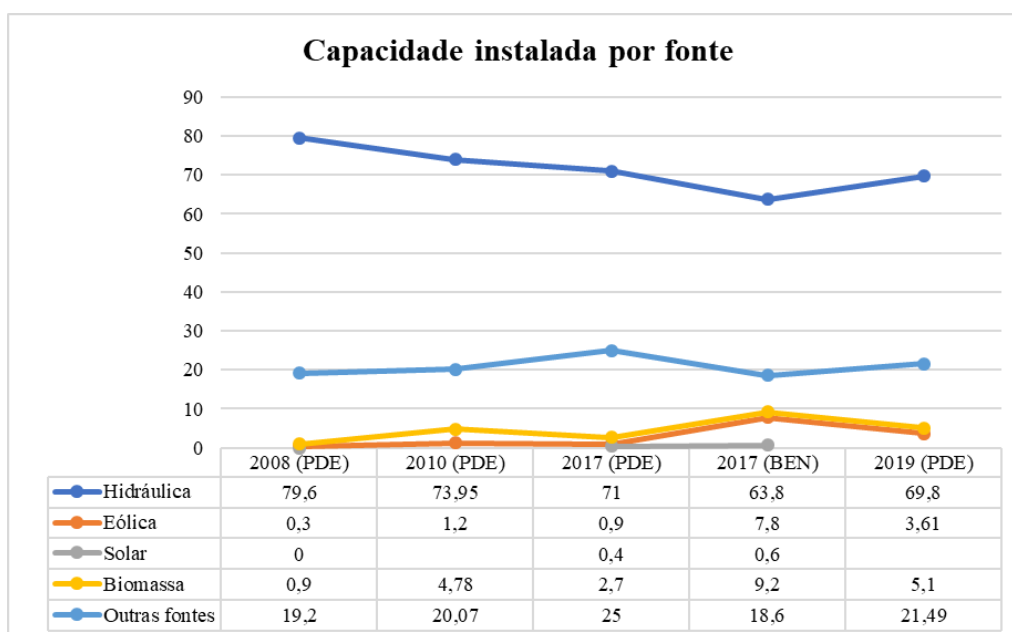
Gráfico 9: BEN 2018 - Capacidade instalada do SIN em 2017.



Fonte: EPE (2018).

Comparando os dados do PDE 2008-2017 e do BEN 2018, temos que para o ano de 2017, a energia eólica, solar e biomassa tiveram 6,9%, 0,2% e 6,5% a menos na projeção de participação na capacidade instalada, respectivamente. Já a previsão de participação da energia hidráulica e das outras fontes foi 7,2% e 6,4% maior, respectivamente. O PDE 2010-2019 não considerou em sua previsão a energia solar. O gráfico foi construído com base nos dados da tabela 7 e nos gráficos 4 e 9.

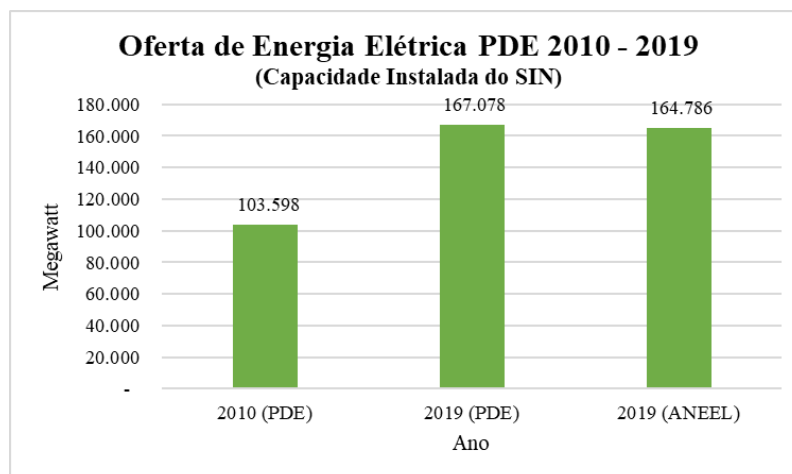
Gráfico 10: Capacidade instalada por fonte comparando os PDE e o BEN 2018.



Fonte: PDE (2008), PDE (2010) e EPE (2018) modificados pela autora.

Nota: na classe 'Outras fontes' estão inclusas outras fontes renováveis e não renováveis.

Em relação à 2019, de acordo com a ANEEL (2019) em 2019 o Brasil a potência instalada de 164.786 Megawatts (dados de 14/05/2019) gerados por 7.437 empreendimentos em operação. Sendo assim a projeção do PDE 2010-2019 de 167.078 Megawatts foi 1,39% maior do que o cenário real de 2019 até a data mencionada.

Gráfico 11: Comparação entre a oferta de energia elétrica em 2010 – 2019 do PDE 2010 e os dados reais.

Fonte: PDE (2010) e ANEEL (2019) modificados pela autora.

Segundo a ANEEL (2019), os empreendimentos em operação para geração de energia elétrica são constituídos principalmente de usinas hidrelétricas (60,27%), termelétricas (24,53%) e eólicas (9,14%).

Tabela 10: Empreendimentos em operação.

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	700	713.464	713.278	0,43
Central Geradora Undi-elétrica	1	50	50	0
Central Geradora Eólica	614	15.099.289	15.063.893	9,14
Pequena Central Hidrelétrica	424	5.247.609	5.205.536	3,16
Central Geradora Solar Fotovoltaica	2.472	2.106.965	2.085.715	1,27
Usina Hidrelétrica	217	102.529.978	99.309.322	60,27
Usina Termelétrica	3.007	41.976.621	40.418.692	24,53
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,21
Total	7.437	169.663.976	164.786.486	100

Fonte: ANEEL (2019) modificado pela autora.

Para os próximos anos é esperada uma adição de 20.539.957 kW na capacidade de geração de energia elétrica do País, resultante dos 200 empreendimentos atualmente em construção e mais 391 em empreendimentos com construção não iniciada (ANEEL, 2019).

Tabela 11: Empreendimentos em construção.

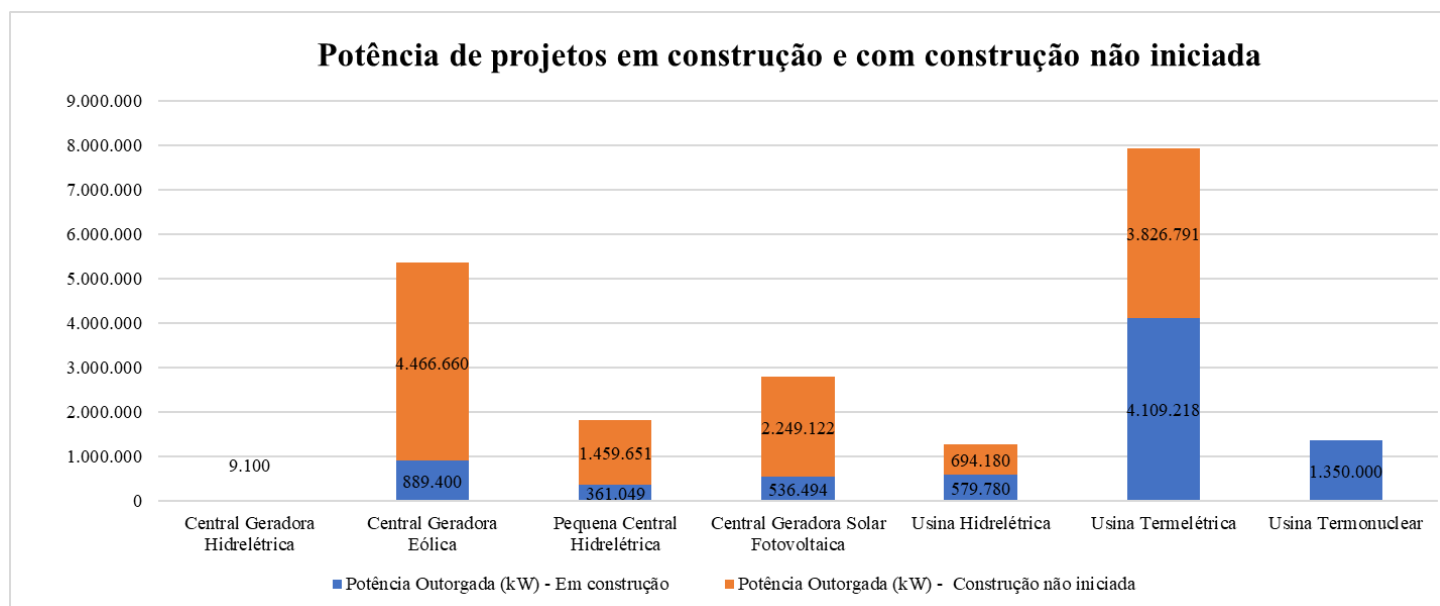
Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	4	8.512	0,11
Central Geradora Eólica	51	889.400	11,35
Pequena Central Hidrelétrica	31	361.049	4,61
Central Geradora Solar Fotovoltaica	20	536.494	6,85
Usina Hidrelétrica	3	579.780	7,4
Usina Termelétrica	90	4.109.218	52,45
Usina Termonuclear	1	1.350.000	17,23
Total	200	7.834.453	100

Fonte: ANEEL (2019) modificado pela autora.

Tabela 12: Empreendimentos com construção não iniciada.

Empreendimentos com Construção não iniciada			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	3	9.100	0,07
Central Geradora Eólica	160	4.466.660	35,16
Pequena Central Hidrelétrica	101	1.459.651	11,49
Central Geradora Solar Fotovoltaica	65	2.249.122	17,7
Usina Hidrelétrica	7	694.180	5,46
Usina Termelétrica	55	3.826.791	30,12
Total	391	12.705.504	100

Fonte: ANEEL (2019) modificado pela autora.

Gráfico 12: Potência de projetos em construção e com construção não iniciada segundo a ANEEL.

Fonte: ANEEL (2019) modificado pela autora.

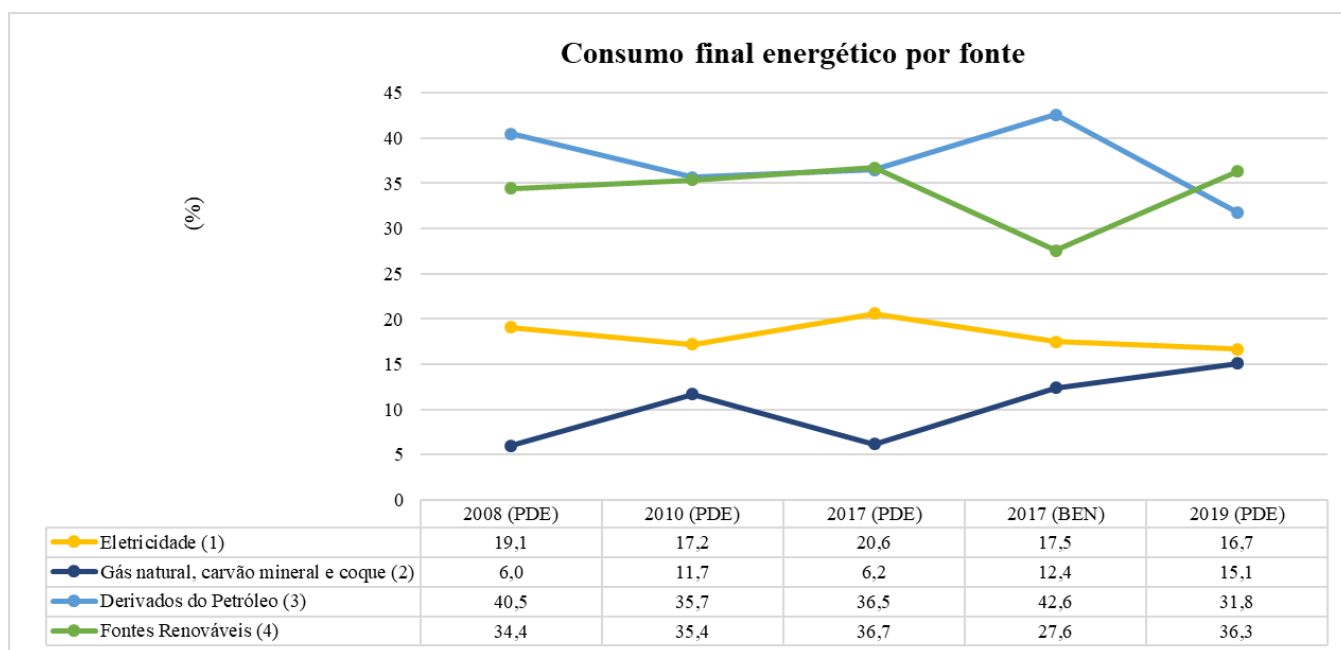
Os dados do *Consumo final energético por fonte* do ano de 2017 foram retirados do BNE 2018, nele não consta o consumo do biodiesel, conforme observado no gráfico.

O BNE 2018 mostrou que as previsões dos PDE para o etanol, a eletricidade e as fontes renováveis no ano de 2017 foram superiores aos previstos, sendo a diferença 4,2%, 3,1% e 9,1%, respectivamente. Já o gás natural, carvão e coque e os produtos derivados do petróleo tiveram um consumo acima do planejado para 2017, sendo que as previsões dos PDE foram 6,2% e 6,1% menores do que o real.

O relatório de consumo energético por fonte é realizado no ano posterior ao ano base, sendo assim não existem dados consolidados do ano de 2019 para comparação às previsões do PDE 2010-2019. Os dados dos PDE 2008 – 2017, 2008 – 2019 e os dados reais obtido no BEN 2018 foram sintetizados e as comparações estão expressas no Gráfico 13.

Conforme comentado nas seções 5.2.1 e 5.2.2, a abordagem dos estudos de consumo energético por fonte em casa um dos planos foi diferente. No PDE 2008-2017 o consumo informado desconsiderou o consumo de energia do setor energético, enquanto no PDE 2010-2019 e no BEN 2018 o consumo é considerado. Portanto, a comparação entre as projeções do PDE para 2017 e os dados reais obtidos no BEN 2018 não consideram o mesmo consumo, porém as comparações foram realizadas para visualização.

Gráfico 13: Comparação entre o consumo final energético por fonte dos PDE 2008 – 2017, 2008 – 2019 e os dados reais obtido no BEN 2018.



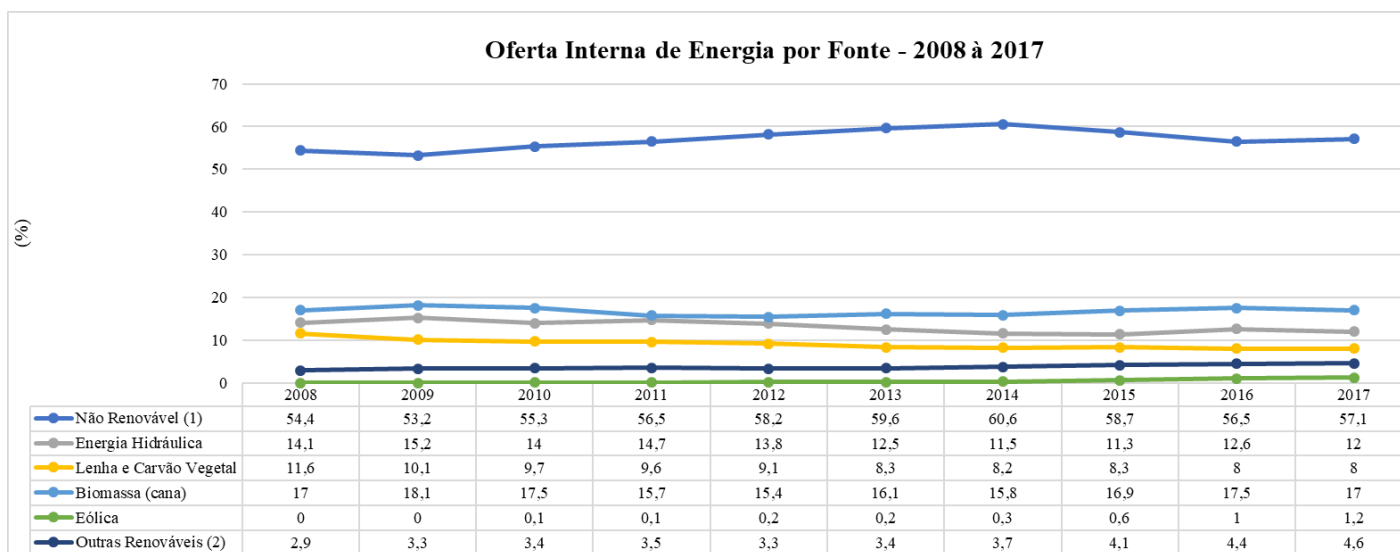
Fonte: PDE (2008), PDE (2010) e EPE (2018) modificados pela autora.

Nota:

- (1) Não é informado nas bases de dados qual o tipo de fonte de geração de eletricidade para fazer a discriminação em renovável ou não-renovável.
- (2) Gás natural, carvão mineral e coque (e seus derivados) não são derivados do petróleo, porém são não renováveis.
- (3) Os derivados do petróleo englobados nos estudos são: óleo diesel, óleo combustível, gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP), querosene para aviação (QAV) e outros derivados de petróleo não especificados.
- (4) As fontes renováveis englobadas nos estudos são: lenha, bagaço de cana, álcool etílico, biodiesel e outras fontes renováveis não especificadas.

De acordo com o BEN 2018, conforme o gráfico 14 e 15, é possível observar um aumento na participação das energias renováveis na oferta interna de energia até 2010, logo após a contribuição diminuiu e volta a crescer em 2015. Em relação as fontes de renováveis tem-se uma redução na contribuição de energia hidráulica, lenha e carvão vegetal e aumento na contribuição da energia eólica.

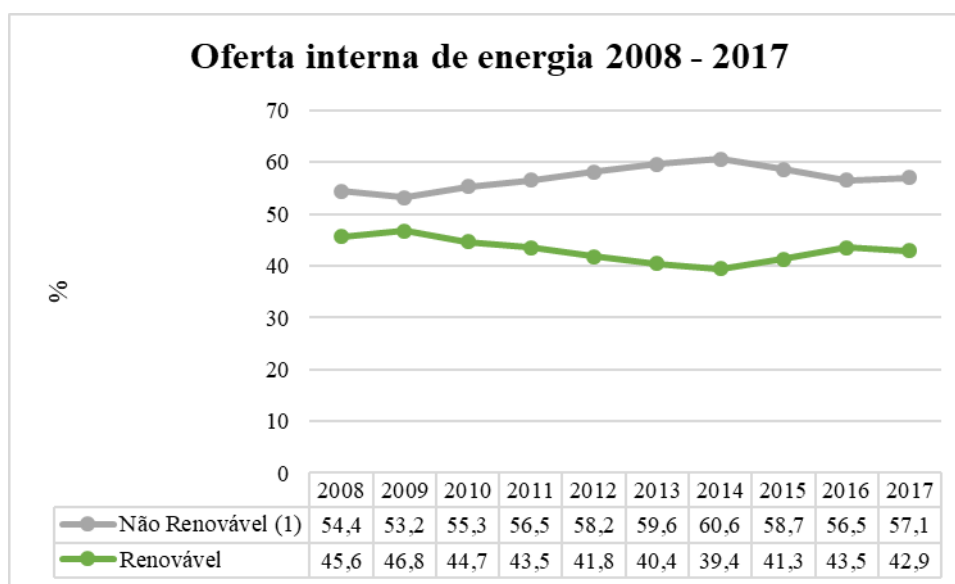
Gráfico 14: Oferta de energia elétrica em 2007 – 2017 de acordo com o BEN 2008.



Fonte: EPE (2018) modificado pela autora.

Nota:

- (1) Em “Não renovável” estão inclusas as fontes: petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e coque, urânio e outras não renováveis (não especificadas).
- (2) “Outras renováveis” não foram especificadas.

Gráfico 15: Oferta interna de energia 2008 – 2017 segundo o BEN 2018.

Fonte: EPE (2018) modificado pela autora.

Nota: Em “Renovável” estão incluídas as fontes de energia hidráulica, lenha, carvão vegetal, biomassa, eólica, solar e outras renováveis (não especificadas).

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou um estudo da evolução das diversas formas de geração de energia, desde a pré-história, até os dias atuais, focando nas energias renováveis. É de extrema importância a pesquisa, o desenvolvimento e a utilização de formas menos agressivas de geração de energia, menos poluentes e que conservem o máximo possível os recursos naturais.

Algumas alternativas às formas de geração de energia convencionais, e extremamente poluentes, são as fontes renováveis, sendo que neste trabalho focou-se na geração de energia hidráulica, eólica, solar e biomassa. Através dos estudos dos possíveis aspectos e impactos de cada uma é possível concluir que todas as formas de geração de energia geram prejuízos ao meio ambiente. Algumas geram impactos em sua concepção (fabricação dos componentes), outras na implantação, na operação, manutenção e até mesmo no fim de sua vida útil (destinação final do sistema). Com os estudos de caso é possível perceber que esses impactos afetam a todo ambiente em si (sociedade, economia e meio ambiente) e é de suma importância o estudo e o planejamento para evitar ou mitigar da melhor maneira esses impactos.

Com o estudo das projeções comparadas com o cenário real, ou seja, os dados oficiais dos anos de 2017 e 2019, foi possível fazer uma comparação entre o que era esperado e o que realmente ocorreu no setor energético. Foi possível observar que a contribuição das fontes renováveis na oferta interna de energia cresceu até 2010, depois diminuiu até voltar a crescer em 2015. Olhando as fontes de interesse constatou-se uma redução na contribuição de energia hidráulica, lenha e carvão vegetal, aumento na contribuição da energia eólica, variações em relação à biomassa e pouca participação da energia solar até 2017. No geral as projeções dos planos foram satisfatórias, não passando de 9,1% de diferença do cenário real.

Apesar de estudar mais profundamente o lado negativo da questão energética renovável, é fato indiscutível que as novas tecnologias de geração de energia são de suma importância para o presente e o futuro do Brasil. Necessita-se de mais apoio do governo e das empresas particulares do setor para o aproveitamento máximo do grande potencial brasileiro de geração, além de estudos técnicos detalhados e precisos para evitar, diminuir e ou mitigar os impactos ambientais potenciais de cada tipo de fonte de energia renovável.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR. **ISO 14001. Sistema de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso.** Rio de Janeiro/RJ. 2015.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIG – Banco de Informações de Geração. Capacidade de Geração do Brasil.** Disponível em:
<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> Acesso e 12 de Maio de 2019.

AZEHEB. **Como é gerada a energia hidrelétrica?** Disponível em:
<https://azeheb.com.br/blog/como-e-gerada-a-energia-hidreletrica/> Acesso em 22 de Maio de 2019.

CASTILHA, L. R. C. **Bioeletricidade como fonte de energia no Brasil.** Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em:
<http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/31.pdf> Acesso em 24 de Outubro de 2018.

CBC. **BrightSource solar plant sets birds on fire as they fly overhead**. 2014. Technology & Science. Disponível em:

<https://www.cbc.ca/news/technology/brightsource-solar-plant-sets-birds-on-fire-as-they-fly-overhead-1.2739512>> Acesso em 15 de Maio de 2019.

CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Relatório CCEE de Informações ao Público - Análise anual - 2013**. Assunto: Mercado, 2013. Disponível em:

https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/resultados?_adf.ctrl-state=188qoyy1xb_47&tipo%3DResultado+Consolidado%26assunto%3DLeil%C3%A3o%26%3D%26=&_afzLoop=2202520434100#> Acesso em 17 de Agosto de 2018.

CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Tipos de Leilões**. Disponível em:

https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_adf.ctrl-state=1d7wq8nfyz_50&_afzLoop=287656921162761#!%40%40%3F_afzLoop%3D287656921162761%26_adf.ctrl-state%3D1d7wq8nfyz_54> Acesso em 05 de Novembro de 2018.

CHAIM, O. C. **Análise de custo de fontes alternativas de energia**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos/SP2011. Disponível em:

<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-29032012-095846/?&lang=br>>

Acesso em 15 de Novembro de 2018.

CORTEZ, L. A. B et al. **Uso de Resíduos Agrícolas para Fins Energéticos: o Caso da Palha de Cana-de-Açúcar**. Revista Brasileira de Energia ref. 5, cap. 9, Volume VI, 1999.

CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito). **Tutorial de Energia Eólica**. Rio de Janeiro/RJ. 2008. Disponível em:

http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=251> Acesso em 12 de Outubro de 2018.

DOU (Diário Oficial da União). **População Residente Segundo as Unidades da Federação e Municípios**. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Brasília. Disponível em:

<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=58&data=30/08/2017>> Acesso em 14 de Maio de 2019.

DUTRA, R. M.; **Viabilidade Técnico-Econômica da Energia Eólica Face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ 2001. Disponível em:

http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/dissertacao/200102_dutra_r_m_ms.pdf.> Acesso em 07 de Agosto de 2018.

ELETRONORTE. **Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental**. Brasília: Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE), 2009.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017**. Relatório Final. Brasília /DF. 2018.

FARIAS, L. M.; Sellitto, M. A. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v.12, páginas 7/21788820-16, 2011. Disponível em:

[http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20\(2011\)/1.%20Uso%20da%20energia%20ao%20longo%20da%20hist%F3ria.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20(2011)/1.%20Uso%20da%20energia%20ao%20longo%20da%20hist%F3ria.pdf).>

Acesso em 15 de Julho de 2018.

FREIRE, L. M. **Impactos ambientais no Rio Xingu diante da implantação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte no Estado do Pará: subsídios para o planejamento ambiental**. Universidade Federal do Pará. REVISTA GEONORTE, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.490-493, 2014.

FONSECA, R. S. **Iluminação Elétrica**. Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., São Paulo/SP, 1972.

GOLDENBERG, J. LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos Avançados, vol.21, n.59, páginas 7-20, São Paulo/SP, 2007. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159> Acesso em 01 de Julho de 2018.

GREENPEACE. **Revolução Energética. Um Brasil com 100% de energias limpas e renováveis**. Cenário Brasileiro 2016. São Paulo/SP, 2016. Disponível em:

https://storage.googleapis.com/planet4-brasil-stateless/2018/07/Relatorio_RevolucaoEnergetica2016_completo.pdf Acesso em 18 de Novembro de 2018.

HÉMERY, D.; BEBIER, J. C.; DELÉAGE, J. P. **Uma História da Energia**. Editora Universidade de Brasília, Brasília/DF, 1993.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/> Acesso em 1 de Maio de 2019.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos**. Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Universidade de São Paulo, São Paulo/SP. Disponível em:

http://www.espacosustentavel.com/assets/pdf/INATOMI_TAHI_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf Acesso em 01 de Novembro de 2018.

LUZ SOLAR. **Como funciona o sistema fotovoltaico?** Disponível em:

<https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/> Acesso em 22 de maio de 2019.

MAIA, D. S. N. **Ruído de Parques Eólicos**. Análise e Caracterização. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto – Portugal, 2010. Disponível em:

<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61503/1/000147708.pdf>> Acesso em 17 de Novembro 2018.

MARTINS, J. M. C. **Estudo dos principais mecanismos de incentivo às fontes renováveis alternativas de energia no setor elétrico**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2010. Disponível em:
http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264131/1/Martins_JulianaMarinhoCavalcaniti_M.pdf> Acesso em: 15 de Setembro de 2018.

MARQUES, S. **Energias Fósseis versus Energias Renováveis: proposta de intervenção de Educação Ambiental no 1º Ciclo do Ensino Básico**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga – Portugal, 2007. Disponível em:
<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7275/2/tese%20final.pdf>> Acesso em 29 de Agosto de 2018.

MELO, M. Q. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e a Difusão de Tecnologias de Fontes Renováveis no Setor de Energia Elétrica Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2011. Disponível em:
<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/287735>> Acesso em: 11 de Novembro de 2018.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar**. Brasília/DF, 2015. Disponível em:
http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030> Acesso em 17 de Novembro de 2018.

MME Ministério de Minas e Energia. **Energias Renováveis no Brasil**. Brasília/DF, 2018. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/web/guest/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfra/o-programa/energias-renovaveis>> Acesso em 17 de Novembro de 2018.

ONUBR, Nações Unidas no Brasil. **ODS7 - Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos.** Disponível em:

<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/> Acesso em 10 de Setembro de 2018.

PAIVA, I. T. P., Lima, E. C. **Conflitos Ambientais: Energia eólica e seus impactos socioambientais no interior do Ceará.** Geographia Opportuno Tempore, v. 3, n. 2, p. 306 - 318, Londrina/PR, 2017.

PIKETTY, T. **O Capital no século XXI.** Intrínseca, 2014, 77 – 111, Rio de Janeiro/RJ, 2014.

PORTAL ENERGIA. **O que é a energia da Biomassa.** 2016. Disponível em:

<https://www.portal-energia.com/o-que-e-energia-biomassa/> Acesso em 22 de Maio de 2019.

PORTO, N. A. **Precificação probabilística de ativos de geração de energia elétrica: foco em fontes renováveis no contexto de leilões e mecanismos.** Dissertação de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2016. Disponível em:

http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/305472/1/Porto_NataliaAddas_D.pdf

Acesso em 13 de Outubro de 2018.

ROSILLO-CALLE, F. et al. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira.** Editora Unicamp, Campinas/ SP, 2005.

SACHS, I. **A revolução energética do século XXI.** Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/%0D/ea/v21n59/a03v2159.pdf>.> Acesso em: 03 de Setembro de 2018.

SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos. Período 1970-2016.** 2018. Disponível em:

<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf>> Acesso em 22 de Maio de 2019.

SOLAREM. **Você sabe como funciona o sistema de aquecimento solar?** Disponível em: <http://www.aquecedorsolaragua.com.br/blog/voce-sabe-como-funciona-o-sistema-de-aquecimento-solar/> Acesso em 22 de Maio de 2019.

SOUZA, R. L. SL, *et al.* **Aproveitamento da Energia Solar na Iluminação Pública de Florianópolis.** Instituto Federal de Santa Catarina, ISSN 2177-2649, volume 2, páginas 69 – 74, 2010. Disponível em: <http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/index.php/ilhadigital/article/view/22/22> Acesso em 08 de Agosto de 2018.

TIEPOLO, G. M., *et al.* **Fontes Renováveis de Energia e a Influência no Planejamento Energético Emergente no Brasil.** Energia para o Século XXI: Sociedade e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275951373_Fontes_Renovaveis_de_Energia_e_a_Influencia_no_Planejamento_Energetico_Emergente_no_Brasil Acesso em 15 de Agosto de 2012.

TOLMASQUIM, M. T.; **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil.** Relume Dumará, 2004.

TSOUTSOS, T., FRANTZESKAKI, N., GEKAS, V., **Environmental impacts from the solar energy technologies.** *Energy Policy*. v. 33, n. 3, p. 289-296, 2005. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421503002416> Acesso em 27 de Novembro de 2018.

VISHSI, F. M.; **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial.** Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, 757-767, 2009, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2009. Disponível em: http://www.producao.usp.br/bitstream/handle/BDPI/12309/art_VICHI_Energia_meio_ambiente_e_economia_o_Brasil_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em 18 de Outubro de 2018.