

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA - UFRB

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE -
CETENS

BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E
ECONÔMICOS DO USO DAS ENERGIAS SOLAR E
EÓLICA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**

ROZENILTON DE JESUS RODRIGUES

FEIRA DE SANTANA, 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA - UFRB

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE -
CETENS

BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DO USO DAS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como parte
dos requisitos para obtenção do título de **bacharel em
Energia e Sustentabilidade**

Orientadora: Prof.^a Carine Tondo Alves

ROZENILTON DE JESUS RODRIGUES

FEIRA DE SANTANA, 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DO USO
DAS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA NA
MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**

Aprovado em 25/07/2019.

EXAMINADORES:

Prof. CARINE TONDO ALVES

Ass. Carine Tondo Alves

Prof. JADIEL DOS SANTOS PEREIRA

Ass. Jadial dos Santos Pereira

Prof. LUCIANO SÉRGIO HOCEVAR

Ass. Luciano Hocevar

ROZENILTON DE JESUS RODRIGUES

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, a quem devo minha vida, pela força, perseverança e coragem para vencer todos os obstáculos e dificuldades enfrentadas até aqui.

A minha família, minha base, que sempre me apoiou nas escolhas tomadas.

À minha Profa. Dra. Carine Tondo Alves, orientadora deste trabalho por sua atenção, paciência, e dedicação, e por encorajar-me na luta, para que este trabalho se tornasse um sucesso.

Aos meus colegas pelo companheirismo e disponibilidade para me auxiliar durante a caminhada.

A UFRB, e aos Professores por todo ensinamento transmitido ao longo do curso, os quais foram os responsáveis por fornecerem as condições para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Historicamente, as fontes de energia denominadas convencionais baseadas em carvão, petróleo e gás natural vem cumprindo o seu papel no fornecimento de energia, ao mesmo tempo que impulsionaram de forma efetiva o desenvolvimento e o conseqüente progresso econômico. No entanto, tais fontes têm assumido o papel de vilão quando, ao mesmo tempo, são parcialmente responsáveis por expressivos danos, tornando-se prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. A análise das questões relacionadas com o desenvolvimento e a sustentabilidade, sobretudo, no setor energético, provoca a análise dos impactos sociais, econômicos e ambientais. O debate sobre os usos de sistema de geração de energia alternativos, sobretudo, a análise atual do uso da energia renovável e sua inserção na matriz energética brasileira, foram a motivação deste trabalho. Por serem tratados na atualidade como assunto recorrente quando o tema é diminuição de emissões de gases do efeito estufa, a geração a partir da energia renovável possui preferência diante de fontes de energia convencionais. Os impactos econômicos e ambientais relacionados à geração derivada de fontes renováveis, com ênfase na solar fotovoltaica e eólica foram discutidos neste trabalho, ao mesmo tempo que se buscou apontar caminhos para a minimização ou o controle desses impactos. Este trabalho de conclusão de curso avaliou os desafios relacionados à redução de emissão de gases poluentes, os limites nas reservas disponíveis, a redução da dependência de combustíveis fósseis, as fontes renováveis de energia e seus impactos econômicos e ambientais e, sobretudo, a fixação dos pilares em busca da sustentabilidade através da inserção das fontes solar fotovoltaica e eólica na matriz energética brasileira.

Palavras-chave: Energia eólica, Energia Solar Fotovoltaica, Energia Renovável, Impactos Econômicos, Impactos Ambientais.

ABSTRACT

Historically, the conventional energy sources based on coal, oil and natural gas have been fulfilling their role in energy supply, while effectively boosted development and consequent economic progress. However, such sources have assumed the role of villain when, at the same time, they are partly responsible for significant damage, rendering them harmful to the environment and human health. The analysis of the issues related to development and sustainability, especially in the energy sector, provokes the analysis of social, economic and environmental impacts. The debate on the uses of alternative energy generation systems, especially the current analysis of the use of renewable energy and its insertion in the Brazilian energy matrix, were the motivation of this work. Because they are currently treated as a recurring issue when it comes to reducing greenhouse gas emissions, generation from renewable energy has a preference over conventional energy sources. The economic and environmental impacts related to the generation derived from renewable sources, with emphasis on solar photovoltaic and wind were discussed in this work, while it was tried to point out ways to minimize or control these impacts. This graduation work evaluated the challenges related to the reduction of the emission of polluting gases, limits on available reserves, reduction of dependence on fossil fuels, renewable energy sources and their economic and environmental impacts, and, above all, pillars in search of sustainability through the insertion of solar photovoltaic and wind sources in the Brazilian energy matrix.

Keywords: Wind Energy, Photovoltaic Solar Energy, Renewable Energy, Economic Impacts, Environmental Impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cenários crescimento renováveis/redução emissões	11
Figura 2 - Participação de renováveis na matriz energética EPE	12
Figura 3 - Características Panorama Brasil MME	13
Figura 4 - Sistemas autônomos / geração distribuída	20
Figura 5 - Mercado Energia solar 2019 – MME	22
Figura 6 - Sistema de aquecimento solar	23
Figura 7 - Usina de energia solar térmica	24
Figura 8 - Esquema de funcionamento aerogerador.....	25
Figura 9 - Capacidade geração renováveis - IRENA	26
Figura 10 - Mercado Energia Eólica 2019 – MME	28
Figura 11 - Repartição da oferta interna de energia BEN 2019	29
Figura 12 - Capacidade instalada 2019 – MME	30
Figura 13 - Projeção capacidade instalada 2027- MME	31
Figura 14 - Matriz elétrica Brasileira, BEN 2019	32
Figura 15 - Evolução da Micro e Mini geração Distribuídas BEN 2019	32
Figura 16 - Geração Distribuída 2019 – MME.....	33
Figura 17 - Nível de ruído para diversas turbinas eólicas	37
Figura 18 - Estimativa anual de mortes de pássaros nos Países Baixos.....	38
Figura 19 – Emissões de CO2 pela tecnologia	43
Figura 20 – Usina térmica solar com sistema de arrefecimento	45
Figura 21 – Gestão e Hierarquia do Gerenciamento dos resíduos sólidos.....	48
Figura 22 - Empregos gerados por fonte – IRENA 2018	50
Figura 23 - Evolução das emissões de CO2 BEN 2019	56
Figura 24 - Custos totais instalados em 2018 por componente e países.....	59
Figura 25 - Percentual de participação fontes Brasil	63
Figura 26 - Produção de petróleo sem novos investimentos 2018	63
Figura 27 - Estatísticas mundiais de energia da BP 2017	68
Figura 28 – Contribuições da energia eólica para o brasil	69
Figura 29 - Resultados Leilões A - 4 e A - 6 de 2018.....	72
Figura 30 - Preço de venda nos leilões de energia Eólica, Solar e PCH	73
Figura 31 - Redução dos custos das fontes renováveis IRENA 2019.....	74

LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS

AIE	Agência Internacional de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSP	Concentrating Solar Power
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaica
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IRENA	International Renewable Energy Agency
MME	Ministério das Minas e Energia
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NWCC	National Wind Coordinating Committee
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RN	Resolução Normativa
US EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de uso da terra para diferentes tecnologias de geração de eletricidade.....	40
---	----

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS	8
LISTA DE TABELAS	8
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 APRESENTAÇÃO E PROBLEMÁTICA	11
1.2 JUSTIFICATIVA	17
2 OBJETIVO GERAL	18
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
4 REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
4.1.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR: PAINÉIS SOLARES	22
4.2 ENERGIA SOLAR TÉRMICA	23
4.3 ENERGIA EÓLICA	24
4.4 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	28
5 IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS	33
5.1 IMPACTOS AMBIENTAIS	34
5.1.1 IMPACTOS AMBIENTAIS: ENERGIA EÓLICA	34
5.1.1.1 USO DO SOLO	35
5.1.1.2 VIDA SELVAGEM E HABITAT	36
5.1.1.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA	41
5.1.2 IMPACTOS AMBIENTAIS: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	43

5.1.2.1	USO DO SOLO.....	44
5.1.2.2	USO DA ÁGUA.....	45
5.1.2.3	MATERIAIS NOCIVOS.....	46
5.1.2.4	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA.....	48
5.2	IMPACTOS ECONÔMICOS.....	49
5.2.1	CUSTO DE CAPITAL.....	53
5.2.2	INTERMITÊNCIA DAS FONTE RENOVÁVEIS - EÓLICA E SOLAR.....	53
5.2.3	ASPECTOS ECONOMICOS RELACIONADOS ÀS EMISSÕES.....	54
5.2.4	OS CUSTOS DAS FONTES RENOVÁVEIS.....	56
5.2.5	IMPACTOS ECONÔMICOS: LOCALIZAÇÃO E TRANSMISSÃO.....	61
5.2.6	INSERÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	62
5.2.6.1	FINANCIAMENTO DE ENERGIA FÓSSIL.....	65
5.2.6.2	IMPLICAÇÕES SOCIAIS, POLÍTICAS E ECONÔMICAS.....	66
5.2.6.3	CONFIABILIDADE DE GERAÇÃO LIMPA.....	66
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
8	REFERÊNCIAS.....	79

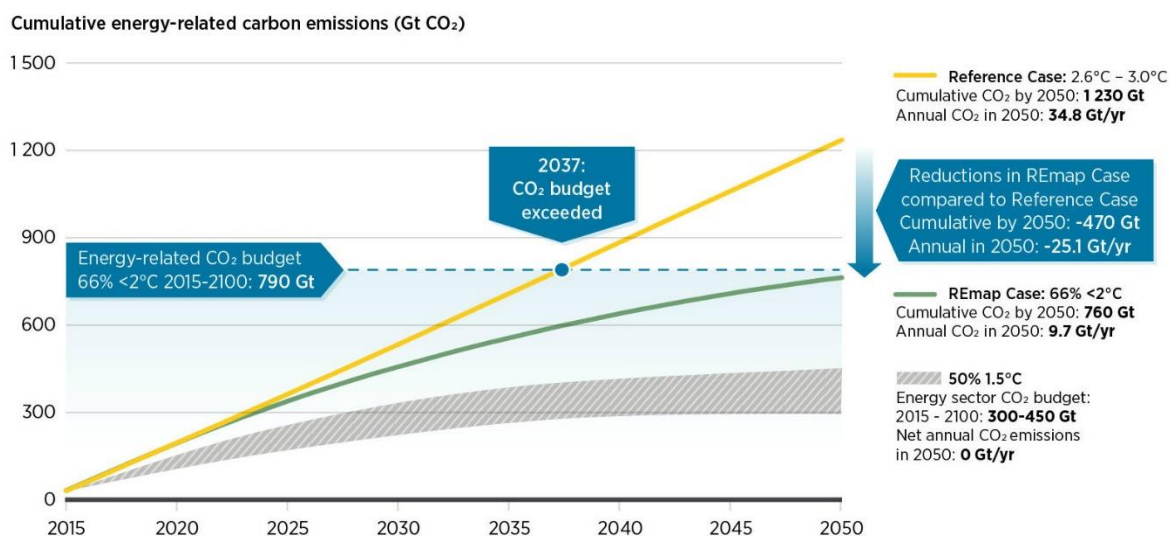
1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E PROBLEMÁTICA

Todas as fontes de energia têm algum impacto no meio ambiente. Combustíveis fósseis a exemplo do carvão, petróleo e gás natural, causam substancialmente mais danos que fontes renováveis de energia de forma generalizada, incluindo poluição do ar e da água, danos à saúde pública, perda de habitat e fauna, uso da água, uso da terra e emissões de gases que promovem o aquecimento global. (EPE, 2016).

A Figura 1 extraída do relatório do ano de 2018, da International Renewable Energy Agency (IRENA, 2018), mostra que a velocidade da adoção de energia renovável global precisa aumentar em, pelo menos, seis vezes para que o mundo atinja as metas estabelecidas no Acordo do Clima, de Paris. (EPE, 2016).

Figura 1 – Cenários crescimento renováveis/redução emissões de CO₂- IRENA



Fonte: IRENA. Energy Transformation : A Roadmap to 2050, Berlin, Abril 2018

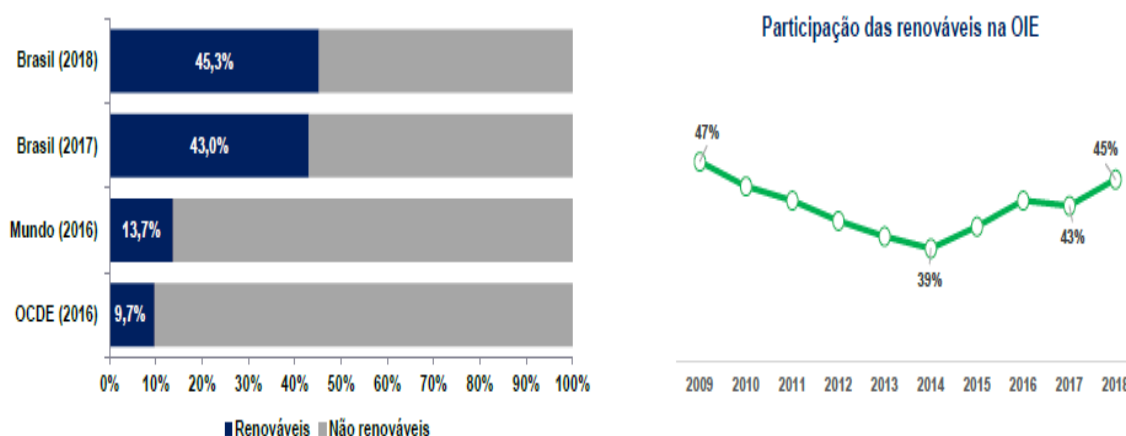
A tendência para o uso das energias renováveis vem crescendo ao longo das últimas décadas, sendo reforçada pela análise dos dados sobre o tema, sobretudo, quando realizada por entidades como a IRENA, segundo a qual, a capacidade global de energia renovável atingiu em 2018 um montante de 171 GW, Isso corresponde a uma taxa de crescimento de 7,9%, em relação a 2017, crescimento este, especialmente apoiado por usinas solares e eólicas adicionais. Um terço da geração

de energia global vem, atualmente, de fontes de energia renováveis (IRENA, 2018).

O Brasil vem adotando iniciativas para fomentar a produção de energia a partir de fontes renováveis. Segundo relatório do Ministério das Minas e Energia publicado em junho 2019, será necessário a expansão do uso de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) para ao menos 24% até 2030, principalmente pelo aumento da participação das fontes solar, eólica e biomassa (MME, 2019).

Atualmente as fontes de energia renováveis vem alcançando uma evolução significativa na participação na matriz brasileira. Os dados elaborados pela EPE (MME, 2019), balizados em informação da Agência Internacional de Energia (AIE), revelam esse crescimento junto a matriz energética nacional, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Participação de renováveis na matriz energética EPE



Fonte: Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE 2018

Ainda segundo o Ministério das Minas e Energia, em seu relatório que traça o perfil do uso e fomento dessas fontes renováveis no corrente ano (MME, 2019), o panorama da utilização destas fontes renováveis no Brasil, tende à busca pela consolidação das fontes renováveis, reduzindo as emissões de gases nocivos ao meio ambiente e ao reforço da oferta interna de energia, sobretudo, provenientes das fontes eólica e solar. Este panorama é basicamente estabelecido em duas frentes:

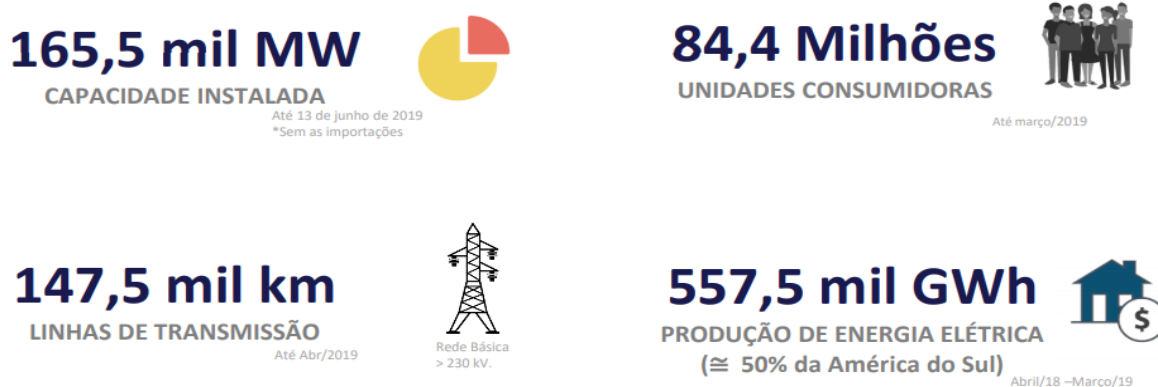
1. O desafio contínuo deverá observar o aperfeiçoamento de decisões já tomadas e incorporar questões de futuro, tais como:

- Promover a expansão da matriz;

- Garantir segurança energética;
 - Atender aos objetivos de Desenvolvimento Sustentável; e
 - Fixação de uma política tarifária justa.
2. Considerando a maximização das potencialidades e observando a diversidade de fontes:
- Governança;
 - Previsibilidade; e
 - Estabilidade/Segurança jurídica/Regulatória.

A Figura 3, informa que, ainda neste mesmo relatório (MME, 2019), algumas características desse panorama podem ser representadas através dos dados atualizados até junho de 2019 sobre o uso dessas fontes renováveis na geração elétrica, os quais revelam a dimensão atual para o caso brasileiro.

Figura 3 - Características Panorama Brasil MME



Fonte: BIG/ANEEL, Boletim de monitoramento Setor Elétrico – SEE/MME (abril/2019) e PDE 2027

Segundo BEN (2019) houve, no caso da energia elétrica, um avanço na oferta interna de 10,7 TWh (1,7%) em relação a 2017, isto ocorreu devido às condições hidrológicas favoráveis.

Ainda segundo o relatório, os destaques entre as fontes renováveis, foram protagonizadas pelas fontes hidráulica e eólica. Houve aumento de 4,1% da energia hidráulica disponibilizada em relação ao ano anterior, enquanto a geração eólica atingiu 48,5 TWh, representando um crescimento de 14,4%. A potência eólica alcançou 14,39GW, expansão de 17,2%. Tais dados resultaram em uma participação significativa das renováveis na matriz elétrica, que atingiu 83,3% em 2018, (BEN, 2019).

A rápida ascensão das energias renováveis tem a ver, também, com o

progresso técnico. Os módulos fotovoltaicos estão se tornando cada vez acessíveis economicamente e mais eficientes, assim como, as energias renováveis passaram a ser armazenados melhor e com maior capacidade por meio de baterias cada vez mais poderosas.

As previsões para o uso da Energia Renovável realizadas pela IRENA para o ano de 2018, mostram crescimento em todas as regiões do mundo, embora em níveis e velocidades diferentes. Enquanto a Ásia respondeu por 61% da capacidade total de energia renovável, a capacidade instalada de energia renovável cresceu 11,4%, o crescimento na Oceania foi mais acentuado, aumentando em 17,7% em 2018. Com um crescimento de 8,4%, a África ficou em terceiro lugar, logo atrás da Ásia. Quase dois terços de toda a capacidade de geração de energia recém-construída em 2018 vieram de fontes renováveis, lideradas por economias emergentes e em desenvolvimento. (IRENA, 2018)

O relatório IRENA (2018), também comparou o crescimento da capacidade de geração de energia renovável com o crescimento de energia não renovável, principalmente combustíveis fósseis e energia nuclear. Enquanto a capacidade de geração não renovável na Europa, América do Norte e Oceania caiu cerca de 85 GW desde 2010, aumentou na Ásia e no Oriente Médio no mesmo período. Desde 2000, a capacidade de geração não renovável cresceu, em média, cerca de 115 GW por ano, sem nenhuma tendência a grandes oscilações.

Todas essas considerações podem ser observadas a partir da análise, quando se verifica o crescimento das energias renováveis por tipo de geração, segundo o relatório da IRENA (2018). A expansão do uso da fonte hidroelétrica, seguindo uma tendência dos últimos anos, continuou decrescente em 2018, onde apenas a China permaneceu a fornecer uma quantidade significativa de nova capacidade (+8,5GW) em 2018.

A fonte de energia eólica teve a sua capacidade global de energia aumentada em 49 GW entre 2017 e 2018. A China e os EUA continuam a fazer a maior contribuição para a expansão da energia eólica, com aumentos de 20 GW e 7 GW, respectivamente. Outros países que se expandiram em mais de 1 GW foram: Brasil, França, Alemanha, Índia e Reino Unido (IRENA, 2018).

No uso de fontes de Bioenergia, três países contribuíram com mais da metade para a expansão relativamente baixa da capacidade de bioenergia em 2018. A China aumentou a capacidade em 2 GW e a Índia em 700 MW No Reino Unido, a capacidade

aumentou em 900 MW (IRENA, 2018).

A energia solar teve a produção de energia aumentada em 94 GW no ano de 2018 (+24%). A Ásia continua a dominar o crescimento global com um aumento de 64 GW (cerca de 70% da expansão global em 2018). Isto deve-se principalmente à China, Índia, Japão e República da Coreia, que mantiveram a tendência do ano anterior. Houve novos aumentos significativos nos EUA (+8,4 GW), na Austrália (+3,8 GW) e na Alemanha (+3,6GW). Outros países com expansão significativa em 2018 foram: Brasil; Egito; Paquistão; México, Turquia e Holanda (IRENA, 2018).

O uso da fonte de energia geotérmica aumentou 539 MW em 2018, com a Turquia, o maior (+219 MW) e a Indonésia (+137 MW), seguidos pelos EUA, México e Nova Zelândia. No final do ano de 2018, a capacidade total de geração de energia renovável em todo o mundo atingiu 2.351 GW, cerca de um terço da capacidade instalada total de eletricidade. A energia hidrelétrica tem a maior participação, com uma capacidade instalada de 1.172 GW, cerca da metade. A energia eólica e solar responde por 564 GW e 480 GW, respectivamente. Outras energias renováveis incluíram 121 GW de bioenergia, 13 GW de energia geotérmica e 500 MW de energia oceânica (maremotriz) (IRENA, 2018).

No que diz respeito à utilização dessas fontes renováveis, no caso brasileiro, não foram encontradas diferenças relevantes quanto ao crescimento exponencial do uso dessas fontes. A demanda por energia no Brasil deve continuar aumentando em sintonia com crescimento do uso das fontes renováveis, embora a situação econômica do país nos últimos anos não tenha sido favorável. Ainda com base na previsão de crescimento econômico e populacional para os próximos dez anos, estudos realizados pelas autoridades nacionais, estimam um aumento de mais de 3% na demanda anual de eletricidade até 2026 (MME,2019).

O fornecimento de energia do Brasil tem uma alta participação de energias renováveis: mais da metade da eletricidade gerada é proveniente de energia hidrelétrica e outros 15% vêm de outras fontes de energia renovável, destacando-se a eólica e a solar (MME,2019).

Observa-se, no entanto, que o foco na energia hidrelétrica como protagonista da matriz brasileira, apresenta alguns desafios. Flutuações na disponibilidade de água tem se tornado uma realidade, e estão aumentando de forma frequente, um problema que vem sendo acentuado pelas mudanças climáticas. Nos últimos anos, houve longos períodos sem chuvas fortes, o que frequentemente resultou em baixas

reservas de água. Essas carências são cada vez mais abordadas quando se opta pelo uso de fontes renováveis, em detrimento do uso de energias hostis ao meio ambiente, como carvão e gás, o que, por sua vez, elevam os preços da energia.

Por estas razões, existe alta prioridade ao desenvolvimento de energias renováveis e a conseqüente preocupação com a eficiência energética no Brasil. Segundo estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética, EPE (2018), estima-se que, até 2024, a capacidade instalada de energia eólica terá dobrado, enquanto a capacidade de energia solar terá aumentado sete vezes (MME, 2019).

A expansão representará desafios para o planejamento e a regulamentação no setor de energia, pois as fontes de energias eólica e solar dependem das condições climáticas e flutuam de acordo com estas. O maior potencial de energia eólica está na região nordeste, no entanto, uma parcela significativa dessa eletricidade gerada é transportada para o sudeste, onde o consumo é sensivelmente mais elevado.

No entanto, fontes renováveis como eólica, solar, geotérmica, biomassa e hidrelétrica também têm impactos ambientais, alguns dos quais são significativos. O tipo e a intensidade exatos dos impactos ambientais variam dependendo da tecnologia específica utilizada, da localização geográfica e de fatores como aqueles que envolvem uso de grandes áreas, curso migratórios de aves, estudos geológicos para implantação dos parques geradores, dentre outros. Compreendendo as questões ambientais, atuais e potenciais, associadas a cada fonte de energia renovável, pode-se tomar medidas para efetivamente evitar ou minimizar esses impactos à medida que se tornam uma parcela maior da oferta de energia elétrica.

As energias renováveis possuem inúmeras vantagens ambientais, a exemplo da preocupação com a redução significativa dos níveis de emissões de dióxido de carbono. À medida que se tornam mais sustentáveis e mais viáveis, muitos países têm adotado a política de auto intitular-se “países verdes” e enfatizam práticas baseadas em formas de geração sustentáveis.

Segundo o The New York Times (2017), alguns países, como Alemanha, Dinamarca, França, Finlândia, Itália, Áustria, México e os Países Baixos iniciaram uma nova aliança global visando a eliminação do uso de carvão até 2030. Mas até agora, grande parte dos países, estados e as províncias não estão cumprindo o estabelecido pela cúpula climática da COP23 em novembro de 2017, a “*Powering Past Coal Alliance*”. Alguns países, com a pretensão clara de eliminar completamente instalações para geração elétrica baseadas na queima de carvão, recorreram a outros

meios, a exemplo das fontes solar, eólica, e uso de biomassa para produzir energia.

Enquanto a energia renovável é altamente favorável para o meio ambiente em um sentido amplo, há a ocorrência de problemas de ordem econômicas, de logísticas de distribuição e relacionados a sua intermitência, quando se analisa o processo de implantação deste tipo de energia.

Portanto, a problemática proposta a ser solucionada nesse trabalho, deverá ter o foco em ações que mitiguem os efeitos, que por ora, restrinjam a expansão do uso das fontes renováveis no caso brasileiro, possibilitando a redução da dependência de fontes como a hidroelétrica, fósseis e das importações de países da América latina.

Quais os impactos ambientais e econômicos mais relevantes que a utilização de energias renováveis (solar e eólica) na matriz energética brasileira causam para a sociedade e para o meio ambiente?

As soluções propostas para esse questionamento foram analisadas durante a elaboração do presente trabalho com o objetivo de provocar o debate onde possa ser estabelecido um cenário de convivência harmonioso entre a exploração do uso destas fontes renováveis, a sociedade, o meio ambiente e o poder público. Este será um dos objetivos e responsabilidade deste trabalho de conclusão de curso.

1.1 JUSTIFICATIVA

As energias renováveis possuem, atualmente, uma imagem positiva, sob o ponto de vista sustentável, quando se trata de geração de energia limpa e eficiente, no entanto, tal imagem causa certa desconfiança por parte dos usuários destes mesmos recursos, sejam eles pesquisadores, cidadãos ou ambientalistas. A principal preocupação é de que a necessidade de expansão do uso destas fontes possa omitir seus efeitos sobre o meio ambiente. Tal tema deve, portanto, ser levado em consideração em qualquer abordagem sobre o uso das fontes de energias renováveis com o objetivo de geração de energia elétrica.

Tais debates sobre o tema deste trabalho decorrem do fato que a sociedade possui a consciência de que a maioria das intervenções do homem na natureza, a exemplo da produção de energias, causam necessariamente, impactos ambientais em maior ou menor grau, dependendo da dimensão da fonte energética utilizada.

Embora as fontes renováveis de energia sejam consideradas limpas, porque emitem menos gases de efeito estufa (GEE) que as fontes fósseis, não se pode omitir

os impactos provenientes de sua cadeia de geração, sejam estas, fonte primárias de geração de energia hidráulica, maremotriz, biomassa, solar fotovoltaica ou eólica.

Os impactos decorrentes da utilização dessas fontes tornam-se evidentes, principalmente, no momento da implantação dos parques geradores destas, bem como, quando da sua efetiva entrada em operação. As fontes de energia renováveis podem provocar, dentre outros danos ambientais, alterações da paisagem, desmatamento de pequenas áreas para a instalação de turbinas eólicas e painéis solares, causar ruído e ainda, mudanças permanentes em zonas onde estas forem instaladas.

Os impactos derivados do uso das fontes renováveis, as quais são objeto deste trabalho, identificados como a fonte solar fotovoltaica e a eólica, possuem impactos específicos que merecem destaque, quando se trata de meio ambiente.

No caso da energia solar, uma das mais importantes preocupações, decorre do fato que, para gerar a eletricidade por esta fonte, são necessários muitos painéis fotovoltaicos, causando por consequência diversos impactos ambientais, a exemplo do impacto que está relacionado à fabricação e reciclagem desses painéis. No tocante à fonte eólica, sua produtividade de energia é relativamente baixa, necessitando portanto, de grandes instalações que poluem visualmente determinada região, além de ser bastante barulhenta, provocando ainda, a morte de aves por colisão com as turbinas.

A temática relacionada com os danos causados pelo uso das fontes de geração renováveis se revelam sempre atuais, assim como também devem ser atuais, a indicação de propostas para a mitigação das mesmas, sejam estes, impactos causados no momento de sua implantação, através do consumo de material necessário à fixação de suas plantas ou durante o efetivo processo de funcionamento, com repercussões relacionadas à aspectos legais e econômicos.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliação teórica dos impactos ambientais e econômicos da utilização das energias renováveis com ênfase na energia solar fotovoltaica e eólica, na matriz energética brasileira.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar quais são os impactos ambientais da utilização de energia solar fotovoltaica e eólica no Brasil;
- Avaliar quais são os impactos econômicos da utilização de energia solar fotovoltaica e eólica no Brasil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido utilizando-se recursos bibliográficos como monografias, dissertações, teses, livros e artigos científicos relacionados aos impactos ambientais e econômicos do uso de energia solar fotovoltaica e de energia solar na matriz energética brasileira.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

As previsões dos dados apresentadas por agencias como IRENA, AIE, dentre outras, apontam para o fato de que fontes de energias renováveis irão, no futuro, assumir parte do fornecimento de energia limpa em diversos segmentos, portanto, devem ser continuamente integradas ao sistema de fornecimento de energia para substituir cada vez mais as fontes de energia convencionais. Isso requer uma conversão gradual do sistema de fornecimento de energia.

Garantir um fornecimento de eletricidade confiável, ecológico, economicamente e sobretudo, com tecnologias que tornem estas fontes cada vez mais eficientes é um dos maiores desafios dessa transição energética.

4.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

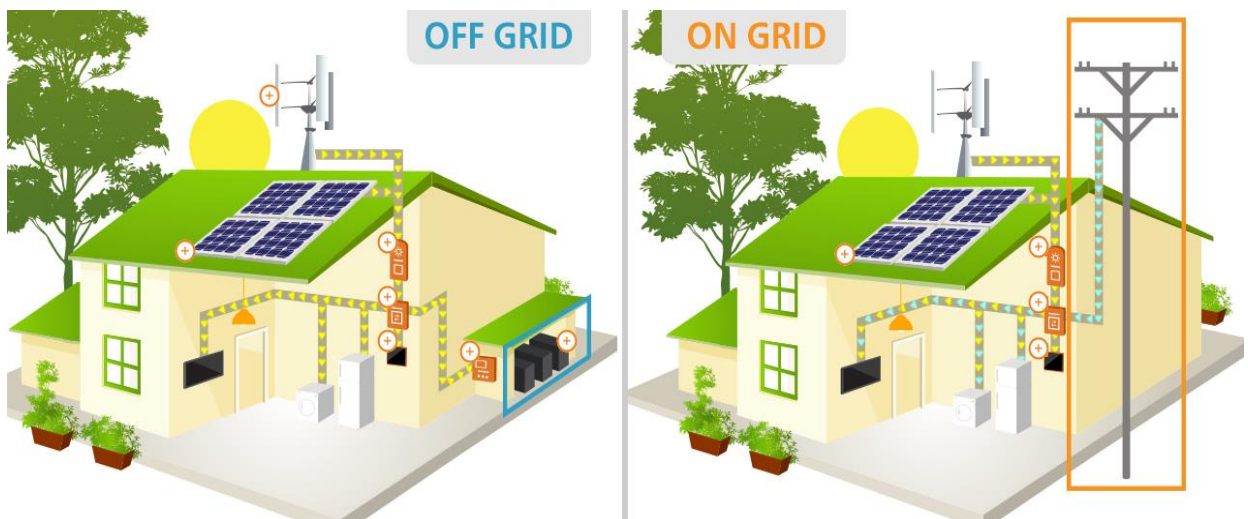
O uso da energia solar possui uma série de particularidades, que possibilitam o seu uso direto de várias maneiras. Células solares em usinas fotovoltaicas, usinas de energia solar térmica e coletores solares usam a radiação solar direta e a convertem em eletricidade ou calor.

Os processos mais usuais de aproveitamento da luz solar para geração de eletricidade e de calor, são: o aproveitamento *fotovoltaico (FV)*, que converte a luz do sol em energia elétrica; o aproveitamento da luz solar por concentração (*CSP – Concentrating Solar Power*), que produz calor para uso direto ou geração de energia elétrica e; o aproveitamento por meio de coletores, que realizam o aquecimento direto da água e/ou de ambientes a partir da luz do sol.

No caso da conversão fotovoltaica da luz solar, pode ser aplicada em pequenos sistemas autônomos, em geração distribuída - GD e em grandes centrais. O aproveitamento por concentração (CSP) é mais apropriado para grandes centrais.

A Figura 4 mostra de forma resumida o funcionamento de um sistema solar para uso em sistemas autônomos ou na modalidade geração distribuída.

Figura 4 - sistemas autônomos / geração distribuída



Fonte: <http://mundialeletrica.com>, setembro de 2018. Acesso 12.07.19

De acordo com BANDEIRA (2012), os concentradores solares são formados por grandes áreas espelhadas que concentram a luz solar em um ponto específico, produzindo elevadas temperaturas, destinando-se a aplicações como secagem de grãos ou produção de vapor. O vapor produzido por concentradores pode gerar energia mecânica com o auxílio de uma turbina a vapor, e, posteriormente, eletricidade, por meio de um gerador, com funcionamento semelhante ao de uma termelétrica a vapor convencional.

Tanto do ponto de vista elétrico, ambiental e socioeconômico, o papel das fontes renováveis, em especial a solar fotovoltaica, tornou-se essencial para a adoção de práticas sólidas da geração da energia elétrica e das bases sustentáveis para

qualquer país. Do ponto de vista elétrico, contribui para diversificação da matriz, aumento da segurança no fornecimento, redução de perdas de equipamentos como transformadores e alimentadores. Sob o aspecto ambiental, há a redução da emissão de gases do efeito estufa, da emissão de materiais particulados e do uso de água para geração de energia elétrica. Com relação a benefícios socioeconômicos, a geração de energia solar fotovoltaica contribui com a geração de empregos locais, o aumento da arrecadação e o aumento de investimentos.

As células solares convertem a luz solar diretamente em eletricidade. O centro de cada célula solar é um semicondutor, que é normalmente feita de silício e o "*efeito fotovoltaico*" é derivado de camadas semicondutoras sobrepostas as quais são formadas sob a influência da luz (fótons), cargas livres que podem ser convertidas em elétrons através de um condutor elétrico. A corrente direta resultante pode ser usada diretamente para a operação de equipamentos elétricos ou armazenados em baterias. Se for convertido em corrente alternada, também pode ser alimentado na rede pública. (BANDEIRA, 2012).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede contribuem significativamente para o fornecimento de energia em muitos países como no caso do Brasil, Alemanha, Estados Unidos, dentre outros. Eles consistem num sistema que fornece corrente direta (autônomos) ou corrente direta e indireta (interligados à rede), através de compartilhamento e um sistema inversor no qual a corrente contínua pode ser convertida em corrente alternada e, em seguida, usada diretamente por eletrodomésticos ou alimentada na rede.

O uso da energia eólica e fotovoltaica são as mais importantes e mais utilizadas na atualidade pelos países adeptos às renováveis, uma vez que representam no curto e médio prazo um enorme potencial para a expansão destas. Os dados extraídos do relatório (MME, 2019), conforme Figura 5, informam o potencial de expansão da geração a partir da fonte solar e ascensão vertiginosa experimentada nos últimos anos.

Figura 5 – Mercado Energia solar 2019 – MME



Fonte: EPE – Nota Técnica PR 04/18 - Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050. Data. Set. de 2018

Além disso, os sistemas fotovoltaicos, como parte de um sistema independente de geração eficiente e de baixa manutenção, são frequentemente uma solução econômica para um fornecimento de energia longe da rede. Em países onde as redes de serviços públicos são pouco desenvolvidas, os sistemas fotovoltaicos são usados para abastecer residências ou aldeias isoladas ou mecanismos elétricos individuais. Em geral, uma bateria e um controlador de carga são necessários para eventuais oscilações na radiação ou para fornecer energia solar disponível quando a luz solar não está disponível.

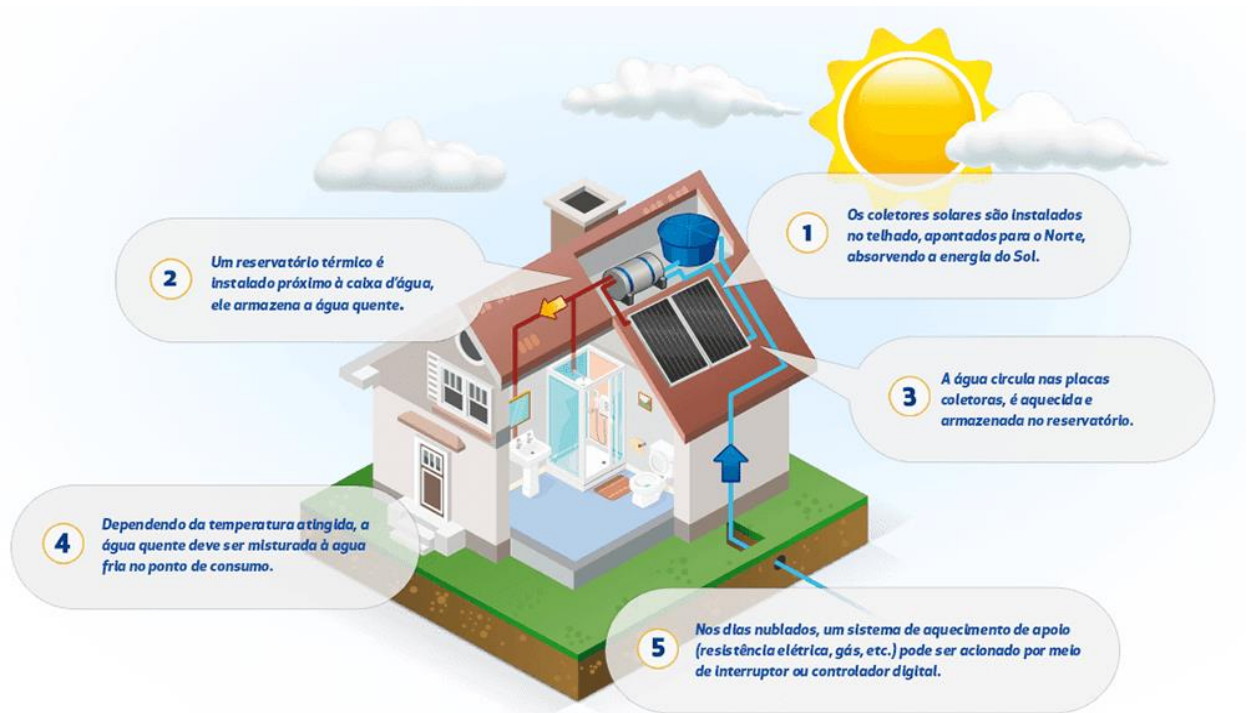
4.1.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR: PAINÉIS SOLARES

Estes sistemas funcionam com os chamados coletores solares, a radiação do sol é convertida em calor para aquecer a água para uso diário ou para aquecer edifícios ou condomínios residenciais. Os sistemas solares térmicos são adequados para o aquecimento de água potável e para o tratamento de água quente para o sistema de aquecimento. Os sistemas solares térmicos também podem gerar calor. Para lugares com baixas temperaturas, o potencial reside no armazenamento de calor solar no verão para o inverno e a distribuição de água quente através de redes de aquecimento locais.

Conforme Figura 6 um sistema básico de Aquecimento de água por Energia Solar é composto de coletores solares (placas) e reservatório térmico (Boiler), onde as placas coletoras são responsáveis pela absorção da radiação solar. O calor do sol, captado pelas placas do aquecedor solar, é transferido para a água que circula no

interior de suas tubulações de cobre.

Figura 6 – Sistema de aquecimento solar



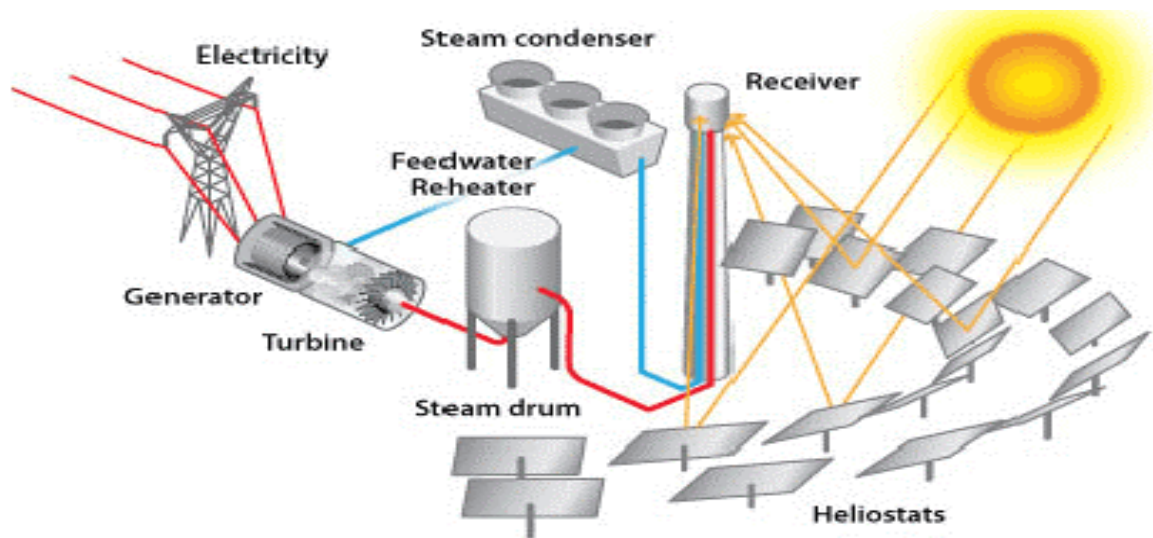
Fonte: SELETROL, <https://www.soletrol.com.br/extras/como-funciona-o-aquecedor-solar-soletrol/>. Acesso 16/07/19

4.2 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Em usinas de energia solar térmica, os raios solares são agrupados com espelhos focais, os chamados sistemas de espelho de concentração. Eles aquecem um líquido, que pode ser água ou óleo, sal fundido ou ar, que aciona uma turbina convencional. Estas usinas, portanto, consistem em uma parte inovadora para geração de calor solar e uma parte convencional para geração de energia. As usinas podem ser usadas para geração pura de energia ou calor e energia combinados, ou seja, para geração de eletricidade e calor num mesmo processo.

O esquema pode ser representado através da Figura 7 demonstrado a seguir, que ilustra o funcionamento básico de uma usina de energia solar térmica. A energia solar térmica consiste no uso de energia do Sol para transferi-lo para um meio que transporta calor. Estas usinas se caracterizam por um processo que é composto por um conjunto de espelhos móveis espalhados por uma ampla área plana e livre, que apontam todos para um mesmo ponto, situado no alto de uma torre. Neste ponto, canalizações de água são aquecidas pela incidência da luz solar refletida, produzindo vapor que move uma turbina a vapor e que aciona um gerador de energia elétrica.

Figura 7 - Usina de energia solar térmica



Fonte: www.bls.gov/Green, 2017 Acesso 12.07.19

Os locais para instalação das usinas de energia solar térmica são principalmente as zonas ricas em irradiação solar, uma vez que apenas uma parte da energia solar pode ser usada. Apenas a radiação direta pode ser agrupada. A alta proporção de radiação difusa e a menor irradiação global tornam difícil o uso eficiente em áreas que não possuam as condições ideais.

4.3 ENERGIA EÓLICA

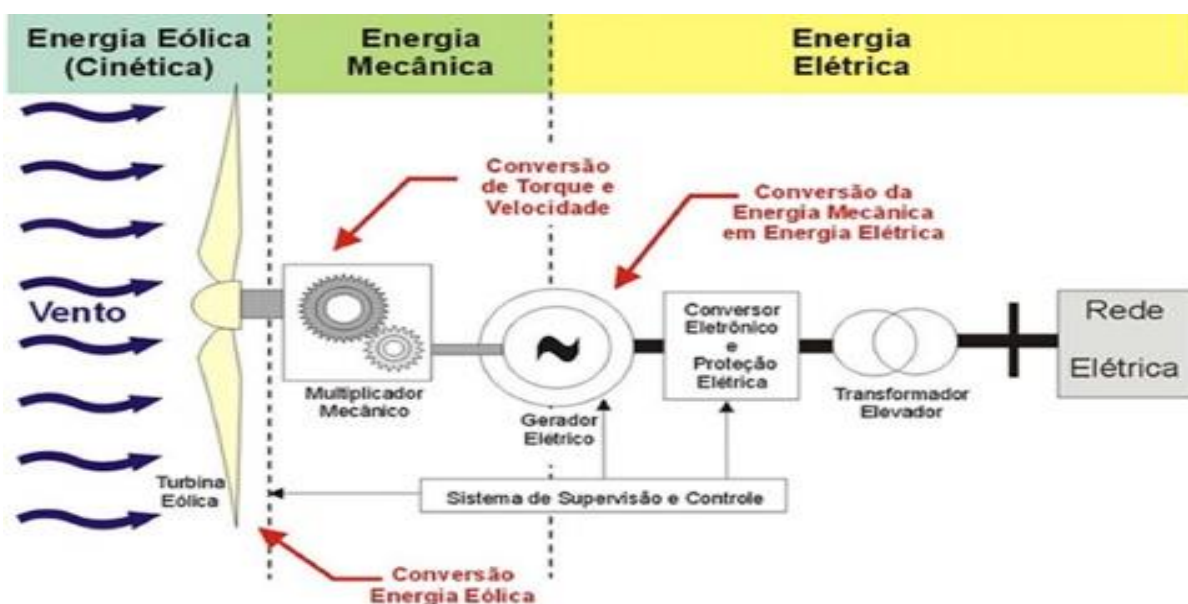
A energia eólica é responsável por parte do fornecimento de eletricidade gerada em muitos países como Brasil, Alemanha, China e Estados Unidos. Por conseguinte, a utilização do vento como fonte de energia desempenha um papel importante no desenvolvimento de energias renováveis para um provisionamento energético economicamente viável e em sintonia com o clima e o meio ambiente, a preços razoáveis e com um nível crescente de confiabilidade.

As turbinas eólicas usam a energia cinética do vento criada por diferentes condições de pressão de ar perto da superfície da Terra e no mar. Turbinas eólicas modernas usam o princípio da fluidez em vez do princípio da resistência. Eles não oferecem resistência ao vento, mas o vento gera uma flutuação ao passar pelas hélices do sistema, o que define as pás do sistema em rotação. A energia eólica possui diversas funcionalidades, as quais variam de acordo com a sua função em diversas localidades. Enquanto em algumas regiões do mundo a energia eólica é utilizada para

o acionamento de mecanismos remotos, como bombas e motores, em outras localidades, essas usinas de energia eólica servem exclusivamente a geração de eletricidade conectada à rede, a exemplo do caso alemão.

A Figura 8 demonstra o funcionamento de um aerogerador, o qual possui um rotor com rolamentos que, em funcionamento com todo o sistema de medição (anemômetro) e pás giratórias, aproveitam a energia cinética do vento criada por diferentes condições de pressão de ar próximo da superfície e gera uma força mecânica. Com isso, a energia eólica é transmitida das pás ao rolamento ligado diretamente a um multiplicador que aumenta imediatamente a velocidade do eixo do aerogerador. A movimentação do eixo gera energia mecânica, que é retransmitida até um gerador elétrico já conectado. A energia sai do aerogerador já em formato de eletricidade, indo direto para a rede.

Figura 8 - Esquema de funcionamento aerogerador



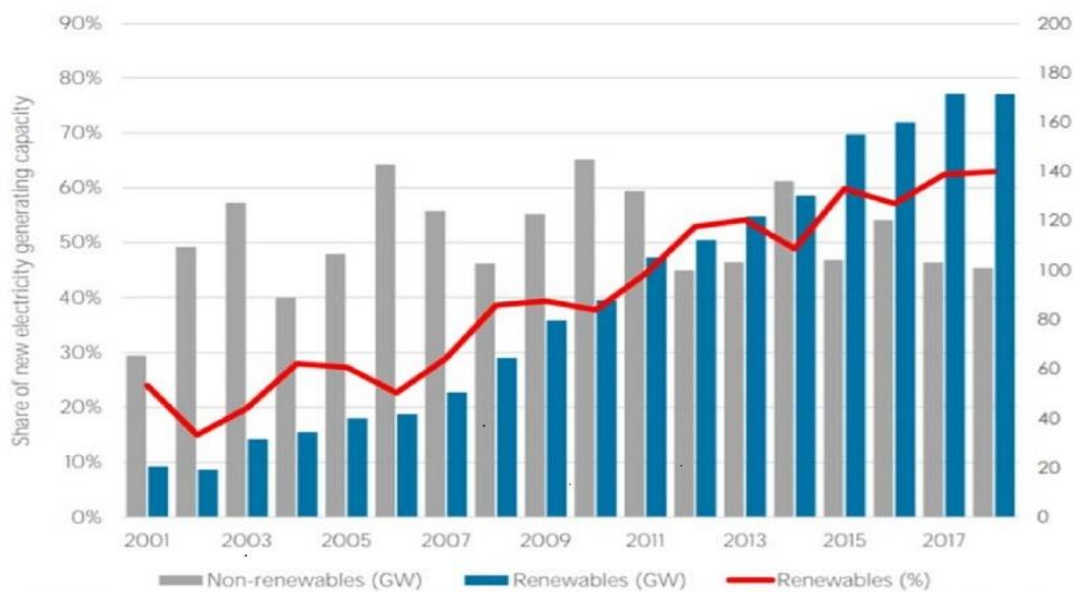
Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/rbef/v36n4/a07fig05.jpg> Acesso 11.07.19

Em março de 2017, as usinas eólicas e solares, responderam pela primeira vez, por mais de 10 % da geração de eletricidade nos Estados Unidos, conforme a Agência de Informação de Energia (AIE, 2017) do Departamento de Energia, fato este, inédito na geração de energia elétrica do país. Embora 10% pode não parecer um alto índice na participação, num universo de consumo considerável como no caso americano, este fato reflete uma grande conquista para as novas tecnologias de produção de energias renováveis, que vem de forma crescente, superando as

inúmeras barreiras enfrentadas diante de fontes as quais se tornaram ao longo do tempo, extremamente competitivas, como o carvão, o gás natural e a energia nuclear.

A Figura 9 revela que as fontes renováveis de energia responderam por cerca de um terço de toda a capacidade de energia global em 2018, segundo relatório divulgado no início de abril de 2019 pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA). As renováveis foram responsáveis por 63% da capacidade líquida instalada em 2018.

FIGURA 9 – Capacidade geração renováveis - IRENA



Fonte: IRENA, 2019b.

No caso brasileiro, a fim de manter a expansão do uso de energia eólica em um nível elevado, além da expansão de terrenos adequados e a substituição de usinas antigas por usinas modernas e mais poderosas, a chamada *repotencialização* deve-se direcionar a sua expansão gradual desta geração energia eólica no mar, denominada utilização de energia eólica *offshore*.

Segundo dados divulgados em abril de 2019 pela ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica, instituição que reúne cerca de cem empresas da indústria eólica, incluindo fábricas de aerogeradores, pás eólicas, operadoras de parques eólicos, investidores e diversos fornecedores da cadeia produtiva. Os ventos passaram a ser o segundo recurso renovável mais utilizado no Brasil para a geração de energia elétrica e já temos 15GW de capacidade instalada. São mais de 7 mil aerogeradores, em 601 parques eólicos, em 12 estados.

Segundo MME (2017), O Brasil possui a matriz energética elétrica mais

renovável dentre os países industrializados, com 42,8% em 2017, fechando o ano de 2018 com 85% de sua produção proveniente de fontes renováveis, como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. A proporção de fontes renováveis na Oferta Interna de Energia Elétrica - OIEE permaneceu acima de 80%, em novembro de 2017. Vale lembrar que a matriz energética mundial é composta por 13% de fontes renováveis no caso de países industrializados, caindo para 6% entre as nações em desenvolvimento.

Como explica Elbia Gannoum, gestora da ABEEólica, (Canal Jornal Bioenergia, 2018, p.1):

Se considerarmos que a energia eólica tinha cerca de 1 GW instalado em 2011 é um feito realmente impressionante chegarmos a ocupar este lugar de destaque na matriz elétrica. Acho fundamental destacar que há diferentes formas de observar a matriz elétrica de um País e uma das possibilidades é considerar a fonte primária de geração, ou seja, qual é o recurso utilizado para a geração elétrica. Acredito que esta é uma forma de apresentação que nos dá uma visão interessante e detalhada do que estamos utilizando para produzir energia no Brasil e, neste caso, o vento é a segunda fonte do País.

Segundo o site Canal Jornal da Bioenergia, 2018, além dos 15 GW de capacidade instalada, há outros 4,6 GW já contratados ou em construção, o que significa que, ao final de 2023, serão pelo menos 19,7 GW considerando apenas contratos já viabilizados em leilões e com outorgas do mercado livre publicadas e contratos assinados até agora.

Ainda segundo Elbia Gannoum, (Canal Jornal Bioenergia, 2018, p.1):

No caso do Brasil, além deste crescimento consistente nos últimos anos, existe um fator que tem que ser destacado sempre, que é a qualidade de nossos ventos. Enquanto a média mundial do fator de capacidade está em cerca de 25%, o Fator de Capacidade médio brasileiro em 2018 foi de 42%, sendo que, no Nordeste, durante a temporada de safra dos ventos, que vai de junho a novembro, é bastante comum parques atingirem fatores de capacidade que passam dos 80%. Isso faz com que a produção dos aerogeradores instalados em solo brasileiro seja muito maior que as mesmas máquinas em outros Países. {...}

A Figura 10 mostra os valores apresentados pelo relatório MME (2019), que trazem de forma clara, dados que demonstram o potencial de expansão desse tipo de geração, que graças à investimentos privados, sobretudo externos, provenientes de

grandes empresas que enxergaram no Brasil, a possibilidade de investimentos volumosos, e uma possível ascensão do consumo do uso dessa fonte na matriz brasileira.

Figura 10 – Mercado Energia Eólica 2019 – MME

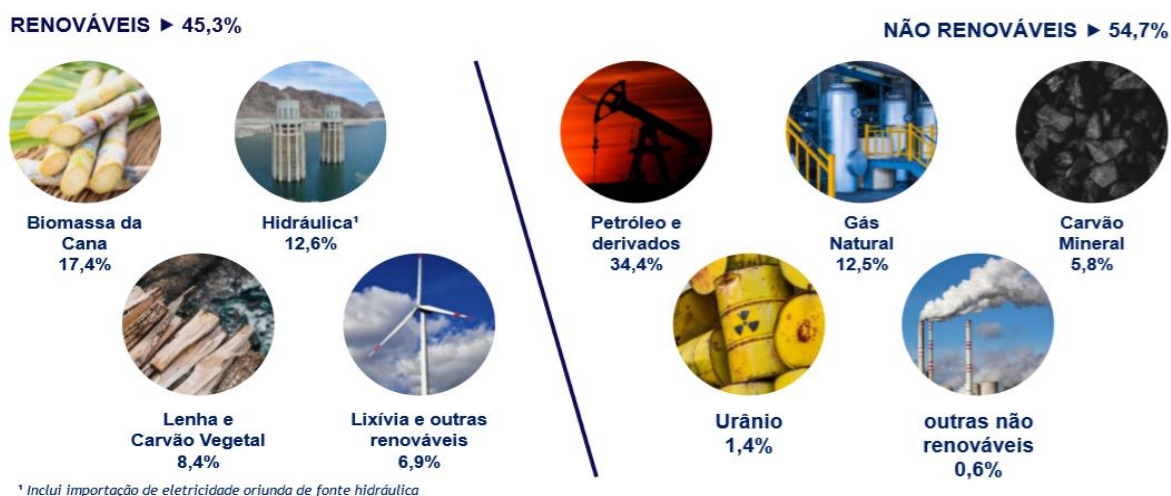


Fonte: EPE – Nota Técnica PR 04/18 - Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050. Data. Set. 2018

4.4 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

No caso brasileiro a transição de uso de fontes convencionais para as fontes renováveis vem ocorrendo de forma contínua e gradual. Os dados do relatório da EPE (BEN, 2019), através da Figura 11 demonstra essa permanência do uso dessas fontes convencionais, sobretudo, o petróleo, gás natural e carvão, as quais ainda possuem importante peso quanto o assunto é geração de energia.

Figura 11 - Repartição da oferta interna de energia BEN 2019



Fonte: EPE, BEN 2019

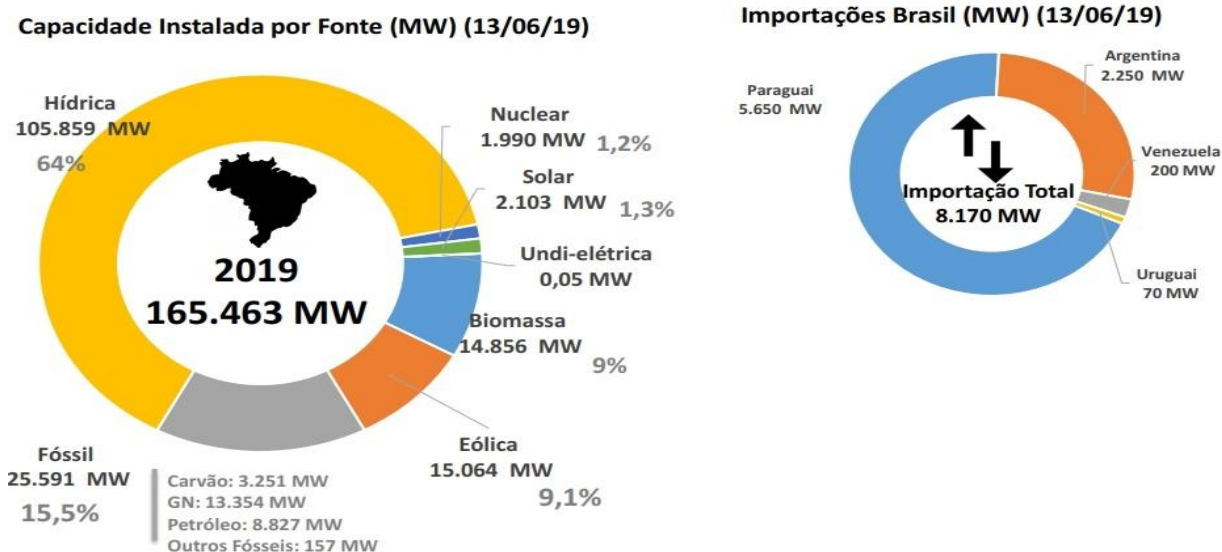
O relatório do IRENA (2018) mostrou que foram adicionados 171 GW de nova capacidade de energia renovável em 2018, um aumento de 7,9%. Este aumento foi impulsionado principalmente pelas novas adições de capacidade eólica e solar. Isso eleva a capacidade total de geração de energia renovável para um total de 2.351 GW no final de 2018, representando cerca de um terço da capacidade instalada total de eletricidade do mundo.

Quando verificamos o cenário brasileiro, não encontramos diferenças relevantes quanto ao crescimento exponencial do uso destas. A demanda por energia no Brasil tende a continuar aumentando em sintonia com crescimento do uso destas fontes. Ainda com base na previsão de crescimento econômico e populacional para os próximos 10 anos, estudos realizados pelas autoridades nacionais, estimam um aumento de mais de 3% na demanda anual de eletricidade até 2027.

Segundo MME (2019), o fornecimento de energia do Brasil tem uma alta participação de energias renováveis: mais da metade (64%) da eletricidade gerada é proveniente de energia hidrelétrica, cerca de 15% de energias fósseis (Petróleo, Gás Natural e Carvão) e cerca de outros 20% vêm de outras fontes de energia renovável, destacando-se a eólica, solar e biomassa. A Figura 12 mostra os dados relacionados à capacidade instalada por fontes e a dependência por importação de energia, atualmente algo em torno de 8 MW provenientes de países como Paraguai, Argentina, Venezuela e Uruguai em junho de 2019 denotam a ascensão progressiva das fontes renováveis, o que tende a provocar uma redução significativa nos valores de MW em

energia elétrica importados.

Figura 12 – Capacidade instalada 2019 – MME



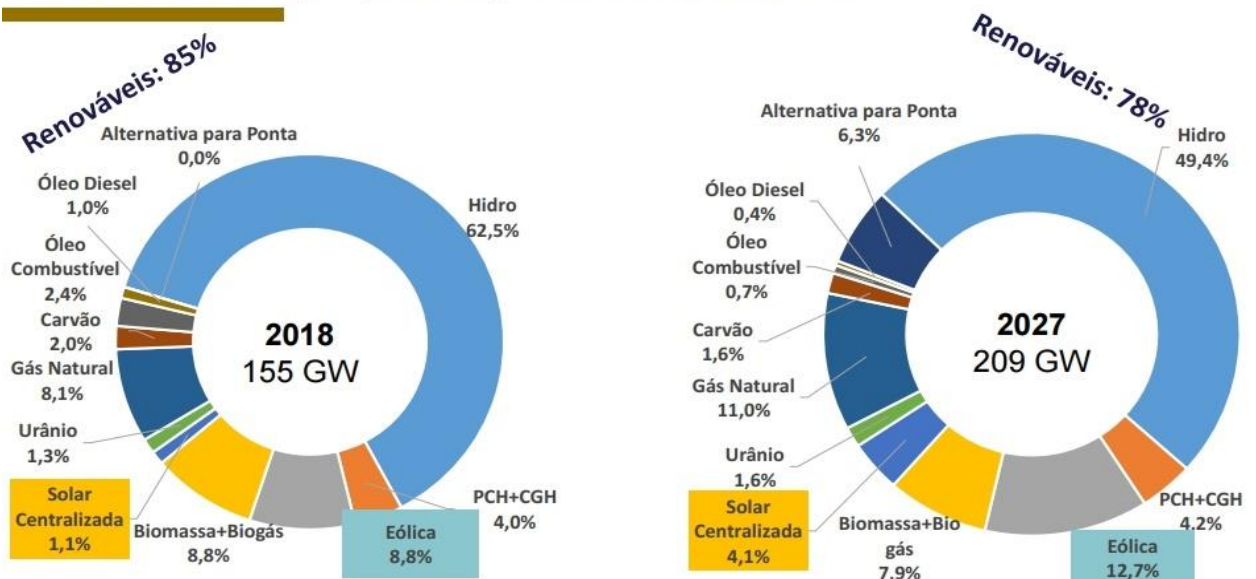
Fonte: BIG/ANEEL. Acesso 13.06.2019

Observa-se, no entanto, que o foco na energia hidrelétrica como protagonista da matriz brasileira, apresenta alguns desafios. Flutuações na disponibilidade de água tem se tornado uma realidade, e estão aumentando de forma frequente, um problema que vem sendo acentuado pelas mudanças climáticas. Nos últimos anos, houve longos períodos sem chuvas fortes, o que frequentemente resultou em baixas reservas de água. Essas carências são cada vez mais abordadas quando se opta pelo uso de fontes renováveis, em detrimento do uso de fontes de energia, como carvão e gás, que elevam o custo da geração.

Segundo MME (2019), os dados de capacidade instalada e projeções futuras de fontes de energia para o Brasil, de um universo de 155GW demandados no ano de 2018, as renováveis, incluindo a grande parcela hidrelétrica, representaram 85% dessa demanda, estas juntamente com a fonte solar e eólica responderam por um valor menor que 10% de toda a matriz ofertada para a geração de energia elétrica

A Figura 13 reflete a s previsões do MME (2019), com o incremento crescente de demanda por energia elétrica no brasil, resulta em uma projeção para os oito anos futuros dos atuais 155GW para 209 GW no ano de 2027. De forma análoga, ocorrerá uma projeção de aumento de oferta de energia proveniente de fontes renováveis e com esta, as fontes como a eólica e solar terão um aumento de oferta dos atuais 9,9% para 16,8% da matriz no ano de 2027. Assim sendo, as ações atuais para inibir possíveis impactos para o uso futuro destas fontes, necessitam, no presente de tratamento cada vez mais efetivos.

Figura 13 – Projeção capacidade instalada 2027- MME
Por fonte de Geração para Expansão de Referência



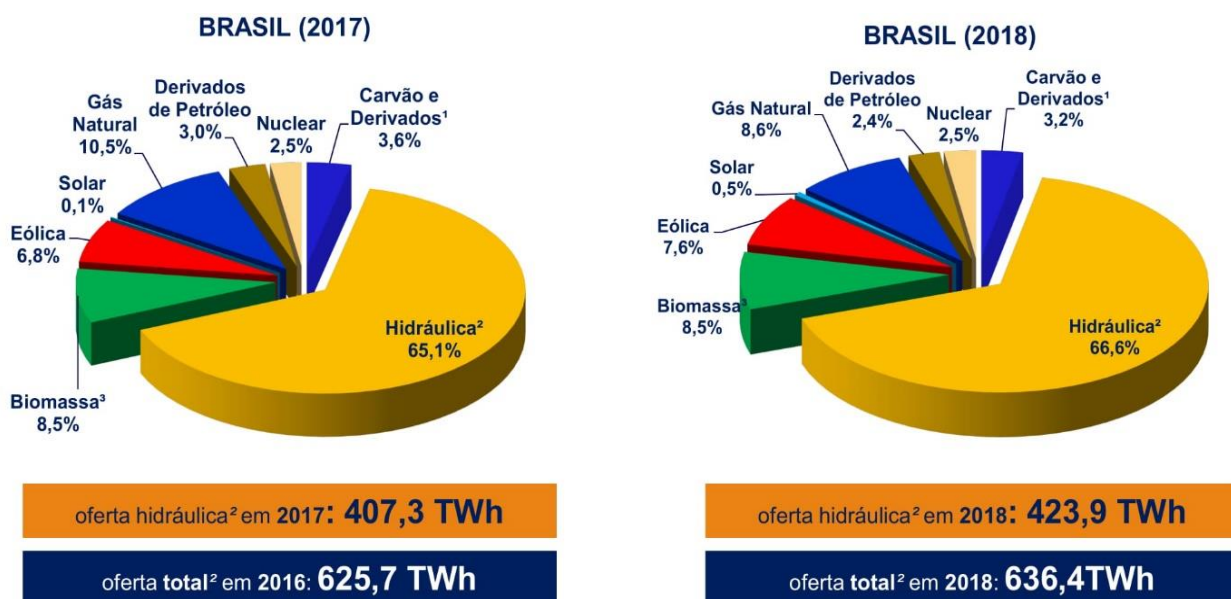
Fonte: PDE 2027, pág. 268

A prioridade no desenvolvimento de energias renováveis e a consequente preocupação com a eficiência energética no Brasil são justificados pelos dados apresentados acima. Segundo estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publicado em 2018, estima-se que, até 2024, a capacidade instalada de energia eólica terá dobrado, enquanto a capacidade de energia solar terá aumentado sete vezes.

A Figura 14, revela a força das fontes renováveis. O gráfico do (BEN, 2019) retrata a participação cada vez mais ativa dessas fontes, quando o assunto é geração de energia elétrica. A fonte solar fotovoltaica e eólica experimentaram crescimento entre 2017 e 2018 a exemplo da participação na matriz de geração global brasileira.

Grande parte dessa expansão ao longo dos anos é representada pela a geração distribuída. Segundo diretor-geral da ANEEL, André Pepitone, em publicação da (ANEEL, 2019), afirma que, o Brasil ultrapassou a marca de 1 GW de potência instalada em micro e mini geração distribuída de energia elétrica. Trata-se de um grande avanço, proporcionado em grande medida pela regulação da ANEEL (Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015). Graças a essas ações, o consumidor pode gerar sua energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

Figura 14 – Matriz elétrica Brasileira, BEN 2019



Fonte: EPE – BEN 2019

A Figura 15 mostra a evolução da micro e mini geração Distribuídas (BEN, 2019) e revela a ascensão repentina desse tipo de geração, possibilitada sobretudo pelas legislações da ANEEL a partir do ano 2000.

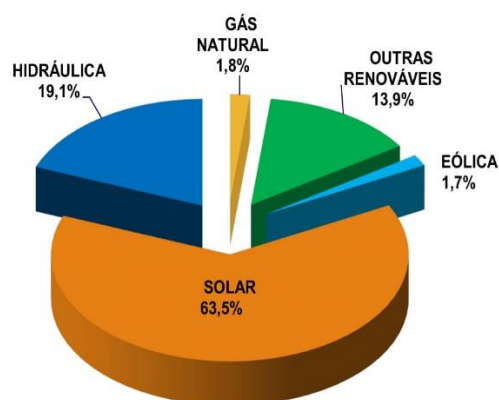
Figura 15 - Evolução da Micro e Mini geração Distribuídas BEN 2019

Em 2018, aumento de 131% na geração distribuída.

Participação de cada fonte na geração distribuída em 2018:

Em GWh:

2017	2018
359	828



Fonte: EPE – BEN 2019

Ainda na mesma publicação, ANEEL (2019), temos o relato que a fonte mais utilizada para micro e mini geração distribuída, pelos consumidores brasileiros, é a solar fotovoltaica (63,5% do total), com 82,6 mil micros e mini usinas e cerca de 870

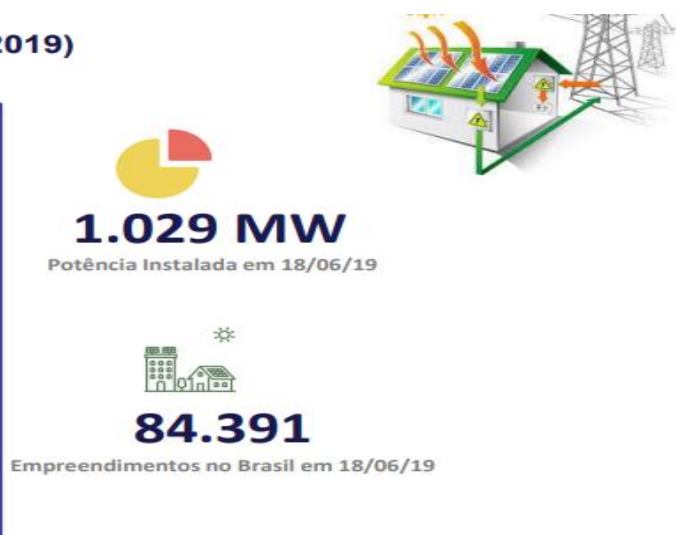
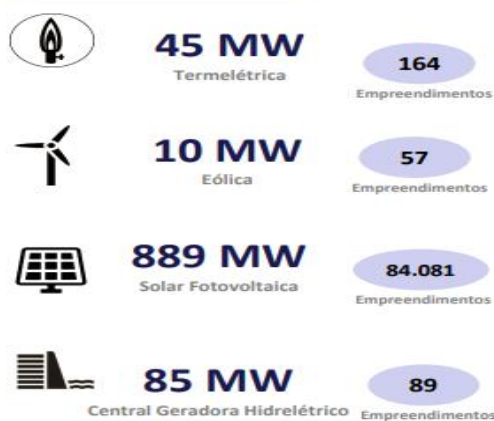
GW de potência instalada. Em segundo lugar em potência instalada está a produção por centrais geradoras hidrelétricas (CGHs), com 86 usinas e 81,3 MW de potência. A Figura 15 (MME, 2019), ilustra essa tendência crescente de geração distribuída, principalmente quando se efetua a análise dos dados da capacidade instalada.

A força dos números apresentados em 2019 denota a possibilidade de crescimento sólido dessa modalidade deste tipo de geração.

A Figura 16 revela que a expansão do uso das fontes renováveis, em particular da solar e eólica, representará desafios para o planejamento e a regulamentação no setor de energia, pois a energia eólica e solar dependem das condições climáticas e flutua de acordo com estas. A sua intermitência exige a análise de forma global e regionalizada, O maior potencial de energia eólica está na região nordeste, no entanto, uma parcela significativa dessa eletricidade gerada é transportada para o sudeste, onde o consumo é sensivelmente mais elevado, o que envolve uma série de ações visando o reforço da infraestrutura, incluindo a distribuição dessa energia gerada.(EPE, 2019).

Figura 16 – Geração Distribuída 2019 – MME

Capacidade Instalada Brasil (06/2019)



Fonte: EPE – BEN 2019

5 IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

As energias renováveis enfrentam grandes obstáculos em sua cadeia produtiva. Alguns destes se mostram comuns ao surgimento de todas as novas tecnologias; outros são o resultado de uma Legislação regulamentar e de um mercado que ainda não oferece as condições ideais, sobretudo, relacionadas à infraestrutura.

Dentre os principais entraves relacionados à cadeia de produção das energias renováveis, é possível enumerar alguns pontos relevantes identificados desde os seus projetos primários até a sua efetiva instalação e operação, destacados a seguir:

5.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

Diversos são os fatores elencados quando se trata de geração de energia elétrica derivada das fontes renováveis como a eólica e solar. Dentre estes, destacam-se no caso da eólica:

- Mortandade de aves e morcegos devido a colisões com as turbinas;
- Turbinas muito altas, alteração no fluxo de ar e aves migratórias,
- Vibrações e ruídos - problemas de saúde tanto à fauna local, quanto às pessoas que habitam na vizinhança;
- Matéria prima utilizada na construção dos aerogeradores; e
- Uso da terra, pois são necessários cerca de 600 mil m² para a geração de 1 MW de energia.

No tocante à geração a partir de fonte solar, encontram-se também, diversos fatores que são levantados pelos pesquisadores, os quais se mostram contrários à instalação de plantas de geração de energia elétrica derivada desta fonte, a saber:

- Grandes extensões de terra, cerca de 430 mil m² por MW gerado;
- Supressão de vegetação;
- Alterações no fluxo hidrológico superficial, ocasionando processos de erosão;
- Cadeia de produção dos painéis, dentre outros aspectos considerados negativos a implantação das plantas renováveis.

5.1.1 IMPACTOS AMBIENTAIS: ENERGIA EÓLICA

Aproveitar a energia do vento é uma das formas mais limpas e sustentáveis de gerar eletricidade, já que não produz poluição tóxica ou emissões que contribuam para o aquecimento global. O vento é uma fonte abundante, inesgotável e acessível, o que o torna uma alternativa viável e em grande escala aos combustíveis fósseis. Apesar de seu vasto potencial, há uma variedade de impactos ambientais associados à geração de energia eólica que devem ser reconhecidos e mitigados.

Segundo TERCIOTE(2002), antes de se fazer uma análise dos impactos do uso desta fonte, deve-se enfatizar os benefícios originados pelo uso dessa fonte renovável, que passam pela moderna tecnologia utilizada nas plantas eólicas, a qual proporciona um balanço energético muito favorável, onde as emissões de CO₂ durante o processo de fabricação, instalação e serviços durante todo ciclo de vida do aerogerador são "recuperados" após alguns meses , algo em torno de três a seis meses após a fabricação da planta.

Segundo TERCIOTE (2002) são citados outros benefícios como: redução da dependência de combustíveis fósseis; as centrais eólicas ocuparem pequeno espaço físico, possibilitando a continuidade de atividades como a agricultura entre os aerogeradores; melhora na oferta de empregos; reduzida emissão de poluentes; a indústria apresenta crescimento em ascensão; fonte que contribui para a diversidade da matriz energética e pode ser conectada à rede; e sua tecnologia avança continuamente, com redução permanente de seus custos de construção e geração.

No entanto, outros fatores causadores de impactos significativos no meio ambiente podem ser identificados pelo uso da fonte eólica, segundo TERCIOTE (2002), como problemas causados diretamente ao meio ambiente onde estão inseridas as plantas eólicas, tais como:

- Os impactos gerados sobre a fauna destacando-se a morte com os pássaros, os quais podem vir a colidir com estruturas;
- O ruído gerado pelo sistema eólico ao girar suas pás,
- A interferência eletromagnética;
- O uso do solo; e
- O impacto visual

5.1.1.1 USO DO SOLO

O impacto do uso do solo das instalações de energia eólica varia substancialmente dependendo do local: as turbinas eólicas colocadas em áreas planas normalmente usam mais terra do que aquelas localizadas em áreas montanhosas.

No entanto, segundo Michael (2007), as turbinas eólicas não ocupam toda essa terra; eles devem ser espaçados de 5 a 10 metros de diâmetro (um diâmetro do rotor é o diâmetro das pás da turbina eólica). Assim, as próprias turbinas e a infraestrutura

envolvida (incluindo estradas e linhas de transmissão) ocupam uma pequena parte da área total de uma instalação eólica.

Uma pesquisa do National Renewable Energy Laboratory (NREL), realizada em 2018, de grandes instalações eólicas nos Estados Unidos descobriu que eles usam entre 12 mil m² e 570 mil m² por MW de capacidade de produção de energia. No entanto, menos de 4 mil m² por MW é utilizado permanentemente e menos de 14 mil m² por MW são utilizados temporariamente durante a construção.

O restante da terra pode ser usado para uma variedade de outros fins produtivos, incluindo pecuária, agricultura, estradas e trilhas para caminhadas. Alternativamente, instalações eólicas podem ser instaladas em terrenos industriais abandonados ou subutilizados ou em outros locais comerciais e industriais, o que reduz significativamente as preocupações sobre o uso da terra.

Instalações eólicas offshore exigem maiores quantidades de espaço porque as turbinas e as pás são maiores do que suas plantas terrestres. Dependendo de sua localização, tais instalações offshore podem competir com uma variedade de outras atividades oceânicas, como pesca, atividades recreativas, extração de areia e cascalho, extração de petróleo e gás, navegação e aquicultura. Empregar as melhores práticas no planejamento e localização pode ajudar a minimizar os potenciais impactos do uso da terra de projetos eólicos em terra e no mar.

5.1.1.2 VIDA SELVAGEM E HABITAT

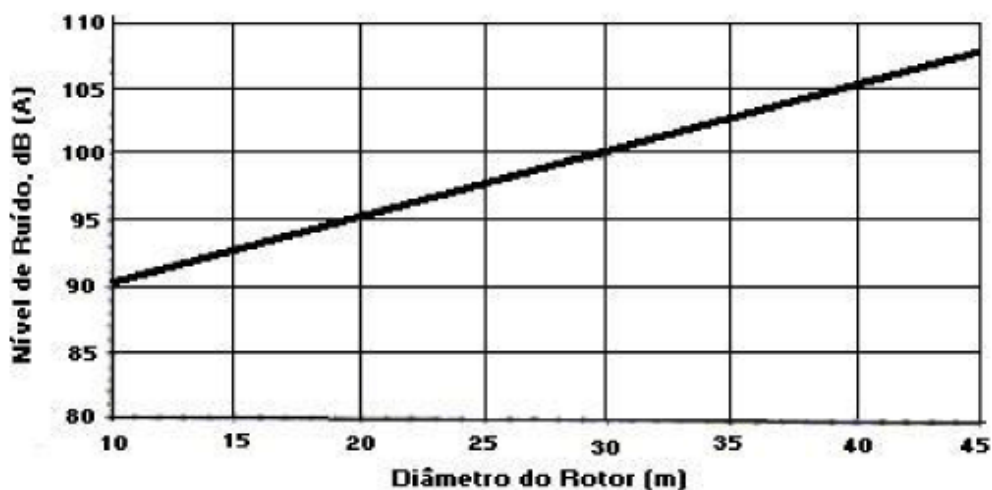
Segundo TERCIOTE (2002), dentre os impactos gerados pela geração eólica sobre a fauna, o ruído causado pelo sistema eólico ao girar suas pás é certamente um problema que vem sendo tratado com prioridade para sua mitigação, isso devido ao fato, que existe um problema relacionado com o som do vento que bate nas pás produzindo um ruído constante (43 dB (A)). O ruído proveniente das turbinas eólicas tem duas origens: mecânica e aerodinâmica. O ruído mecânico tem sua principal origem da caixa de engrenagens e o ruído aerodinâmico é um fator influenciado diretamente pela velocidade do vento incidente sobre a turbina eólica.

Por isso, existe a recomendação de que as habitações ou zonas residenciais mais próximas deverão estar, no mínimo a 200 metros de distância. Tal problema, tem recebido uma atenção maior pelos projetistas e fabricantes das torres eólicas, já que a tendência é que, no futuro, tenhamos torres cada vez mais modernas, a exemplo do

uso de um gerador elétrico multipolo conectado diretamente ao eixo das pás e as novas concepções em formatos aerodinâmicos das pás, que garantam a continuidade do que atualmente estamos experimentando, que é um avanço significativo na diminuição dos níveis de ruído produzido pelas turbinas eólicas.

A Figura 17 revela a relação do nível médio de ruído em dB e a sua relação com o diâmetro do rotor (m). Conforme verificado, existe uma relação direta com o tamanho das pás e do rotor e o aumento do ruído provocado, sejam eles de ordem aerodinâmico ou mecânico das torres eólicas.

Figura 17 – Nível de ruído para diversas turbinas eólicas



Fonte: DEWI (1996)

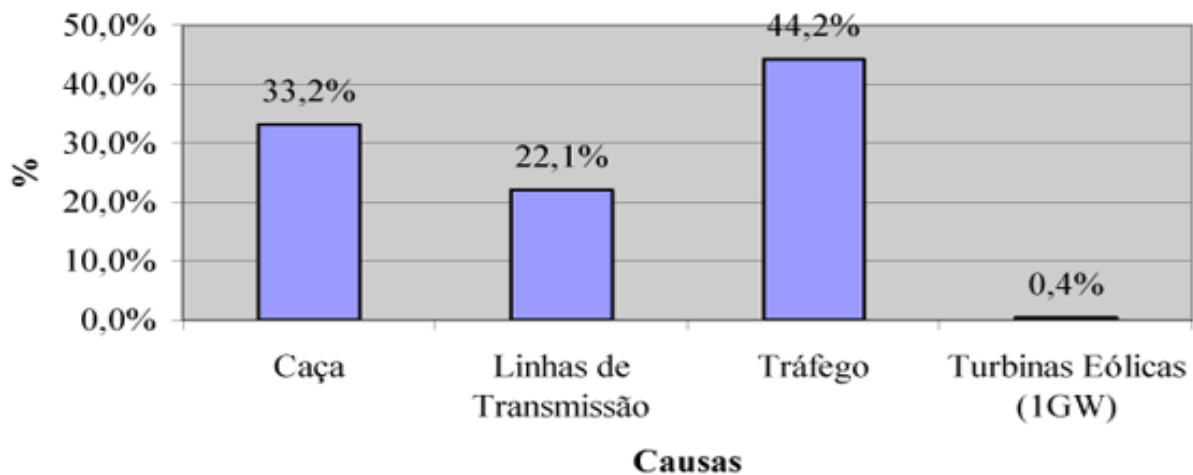
Segundo IPCC (2011), o impacto das turbinas eólicas na vida selvagem, principalmente em pássaros e morcegos, tem sido amplamente documentado e estudado. Uma revisão recente do National Wind Coordinating Committee (NWCC) de pesquisas revisadas por entidades afins, encontrou evidências de mortes de pássaros e morcegos por colisões com turbinas eólicas e devido a mudanças na pressão do ar causada pelas turbinas giratórias, bem como pela interrupção do habitat. O NWCC concluiu que estes impactos são relativamente baixos e não representam uma ameaça para as populações de espécies

Segundo TERCIOTE (2002), dentre os impactos que geração eólica ocasiona sobre a fauna, no entorno de suas plantas, uma importante preocupação está relacionada diretamente com o movimento de migração e deslocamento dos pássaros, os quais podem vir a colidir com estruturas, a exemplo das turbinas eólicas,

devido à dificuldade de visualização. Destaca-se ainda, a possibilidade, de ocorrerem fatores que podem causar a morte desses animais, como o tráfego de veículos em autoestradas e a caça. No entanto, o comportamento dos pássaros e as taxas de mortalidade variam de acordo com as espécies e o lugar onde eles vivem.

No entanto, segundo BOURILLON (1999), dados estimados de mortes de pássaros nos Países Baixos, conforme a Figura 18, decorrentes de ações diretas e indiretas do homem, revelam que as mortes ocasionadas pelo tráfego em autoestradas, apresenta uma taxa que cem vezes maior e as mortes provocadas com colisão com linhas de transmissão cinquenta vezes maior, quando comparadas às estimativas de mortes por parque eólico de 1 GW.

Figura 18 - Estimativa anual de mortes de pássaros nos Países Baixos



Fonte: BOURILLON, 1999

Segundo o Portal Energia (2019), um estudo realizado pela American Wind Wildlife Institute (2018), que investigou a morte de grandes populações de aves, concluiu que as turbinas eólicas são responsáveis por cerca de 214.000 a 368.000 mortes por ano. Ainda segundo este estudo, as torres de rádio e telecomunicações são responsáveis hoje, pela morte de 6,8 milhões de aves por ano, além do fato de que as evidências das causas da morte de pequenos pássaros (Passeriformes) da América do Norte, apontam que apenas 0,01% dessas aves colidem com as turbinas eólicas.

Segundo o Portal Energia (2019), está em curso um novo estudo, sobre o impacto que as turbinas eólicas têm em aves de maior porte, como falcões e águias, e sabe-se, no entanto, que as novas conclusões, por ventura, decorrentes desse

estudo, não alteram a percepção que de todas as muitas ameaças que pesam sobre as aves de hoje, as alterações climáticas estão no topo da lista.

Além disso, pesquisas sobre o comportamento da vida silvestre e os avanços na tecnologia de turbinas eólicas ajudaram a reduzir as mortes de pássaros e morcegos. Por exemplo, os biólogos da vida selvagem descobriram que os morcegos são mais ativos quando a velocidade do vento é baixa. Usando essas informações, a Cooperativa de Energia dos Morcegos e do Vento concluiu que manter as turbinas eólicas imóveis durante os períodos de baixa velocidade do vento poderia reduzir as mortes de morcegos em mais da metade sem afetar significativamente a produção de energia.

O relatório IPCC (2011) traz ainda, a informação de que outros impactos da vida selvagem podem ser mitigados através da melhor localização das turbinas eólicas. Entidades como os Serviços de Pesca e Vida Selvagem dos EUA e em vários países emitem recomendações sobre a localização adequada de parques eólicos e as suas melhores práticas de manejo.

Turbinas eólicas marítimas podem ter impactos semelhantes em aves marinhas, mas, assim como nas turbinas eólicas na plataforma continental (onshore), as mortes de pássaros associadas ao vento em alto-mar são mínimas. Parques eólicos localizados no mar também terão impacto sobre peixes e outros animais marinhos. Alguns estudos sugerem que as turbinas podem realmente aumentar as populações de peixes, agindo como recifes artificiais. O impacto irá variar de local para local e, portanto, sistemas adequados de pesquisa e monitoramento são necessários para cada instalação eólica offshore (MICHAEL, 2007).

Ainda segundo Terciole (2002), a interferência eletromagnética (IEM) causa, segundo estudos da European Wind Energy Association (EWEA), distúrbios em sistemas de telecomunicações, tais como ondas de rádio e micro-ondas, as quais são utilizadas para uma grande variedade de propósitos de comunicação, a exemplo de transmissões de TV e rádio, comunicações de rádio micro-ondas e celular, comunicação naval e sistemas de controle de tráfego aéreo .

Tais interferências decorrem do fato de que as turbinas eólicas podem causar IEM por reflexão de sinais das pás de modo que um receptor próximo recebe um sinal direto e um refletido. E neste sinal refletido que ocorre a IEM devido à diferença entre o comprimento das ondas que é alterado por causa do movimento das pás, que varia de acordo com o material de fabricação destas, sendo maior quando confeccionadas

em material metálico, reduzindo o seu valor quando esta são de madeira. No entanto, as atuais pás modernas são produzidas em fibra de vidro reforçada com epóxi, o que as tornam, parcialmente transparente às ondas eletromagnéticas, reduzindo o efeito da IEM, segundo a EWEA(2014).

Outro aspecto enfatizado por TERCIOTE (2002), dentre os impactos desfavoráveis à utilização da fonte eólica, reside no fato da utilização de solo, sobretudo a utilização de grandes áreas de terra para sua geração, além do que, muitas vezes, encontram-se em áreas com como sítios arqueológicos, florestas e zonas de proteção.

Segundo EWEA (2000), não há evidências de que fazendas eólicas interfiram em grande extensão em terras cultiváveis ou agropecuárias, e que para estas, quaisquer atividades agrícolas pré-existentes podem ser mantidas num raio de cerca de 10 m de diâmetro próxima à base da torre nas fundações das turbinas.

A Tabela 1 apresentada por EWEA (2000), revela que a utilização do solo, na comparação com outras tecnologias de geração elétrica, a energia eólica requer um espaço menor para produzir a mesma quantidade de eletricidade.

Tabela 1 - Uso da terra para diferentes tecnologias de geração de eletricidade

Tecnologias	Terra requerida em 30 anos (m²/GWh)
Geotérmica	404
Eólica	800 - 1335
Solar Fotovoltaica	3237
Solar Termal	3561
Carvão	3642

Fonte: EWEA, 2000. EWEA - European Wind Energy Association. Wind Energy - The Facts Environment, Vol. 4., 2000d. Disponível na internet via <http://www.ewea.org> (consultado em 2000).

No entanto, como os descritos anteriormente, as consequências para a conservação de espécies são de grande impacto para o ecossistema envolvido na implantação dos parques eólicos.

Para instalar e manter as turbinas eólicas, a infraestrutura necessária em, por exemplo, áreas de floresta devem ser criada e mantida. De acordo com EWEA (2000), é necessária uma área aberta de 1 mil m² a 4 mil m² para cada mastro individual, que deve ser desmatada ou perdida como uma clareira. Além disso, existe a

infraestrutura adicional, como linhas de transmissão de energia ou criação de vias de acesso, que deve ser permanentemente acessível, inclusive para veículos pesados, com estradas desse porte, o que não ocorre segundo o estudo.

As grandes áreas ocupadas por torres eólicas, que em alguns casos, eram protegidas e fechadas anteriormente, são assim fragmentadas e sofrem alterações em seus ecossistemas, que se torna uma espécie de área industrial verde, objeto de críticas por partes de ambientalistas.

Outro impacto decorrente dos parques eólicos utilizados na geração de energia é representado pelo impacto visual proporcionado pelas plantas eólicas no habitat existente.

Segundo TERCIOTE (2002), as plantas eólicas necessitam de locais de instalação, sobretudo em grandes áreas sem obstáculos naturais, visando um melhor desempenho e garantindo, assim, que o projeto seja comercialmente viável.

As turbinas eólicas estão aumentando, tanto nas dimensões das torres como das pás eólicas e, como consequência, ocorre o aumento do impacto visual. A altura da turbina eólica em comparação com a altura de outras estruturas já estabelecidas na área, tem uma influência sobre o impacto visual, haja visto que grandes parques eólicos podem ter impactos visuais significativos para os indivíduos nativos afetados, particularmente aqueles relacionados à exploração da paisagem, a exemplo da indústria do turismo.

Apesar de haver objeções permanentes acerca da instalação das plantas eólicas em áreas baseadas na exploração da beleza natural local, não há dúvida de que alguns projetos de geração buscam minimizar os efeitos da poluição visual gerada pelos parques eólicos em uma comunidade ou local, sobretudo esses, fundamentados nos maiores benefícios sustentáveis e financeiros para a comunidade nativa decorrentes da instalação de tais plantas de geração.

5.1.1.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Embora não existam emissões de aquecimento global associadas à operação de turbinas eólicas, há emissões associadas a outras etapas do ciclo de vida de uma turbina eólica, incluindo produção de materiais, transporte de materiais, construção, montagem no local, operação e manutenção e desmatamento.

As informações do relatório IPCC (2011), trazem as estimativas do total de

emissões de aquecimento global dependem de vários fatores, incluindo a velocidade do vento, a porcentagem de tempo que o vento está soprando e a composição do material da turbina eólica. A maioria das estimativas de emissões de aquecimento global do ciclo de vida de turbinas eólicas está entre 9 gramas e 18g de dióxido de carbono equivalente por KWh. Para colocar isso em contexto, as estimativas de emissões de aquecimento global do ciclo de vida para eletricidade de gás natural estão entre 300g e 907g de equivalente de dióxido de carbono por KWh e estimativas para eletricidade gerada por carvão são 635 g e 1,6 Kg de equivalente de dióxido de carbono por KWh. (IPCC, 2011).

Ainda sob o ponto de vista dos impactos decorrentes da análise do ciclo de vida, sabe-se que as plantas eólicas são conhecidas por possuírem o funcionamento limpo, ou seja, uma turbina eólica não emite gases de efeito estufa, no entanto, esta utiliza matérias-primas e energia em processo de sua fabricação, ocasionando impactos em seu ciclo de vida.

Assim, segundo a EWEA (2000), cada gerador eólico exige uma base de concreto correspondente a cerca de 1.500 toneladas por mastro, o concreto tem como matéria prima base o cimento, que gera dióxido de carbono (CO₂), um dos gases responsáveis pelo aquecimento global, e contribui em 8% para as emissões mundiais de CO₂.








Ainda segundo EWEA (2000), a adição de elementos à construção da estrutura do mastro requer 25 a 40 toneladas de aço, dependendo do modelo. As lâminas são feitas de compósitos, uma mistura de resinas e fibra de vidro, que é difícil de reciclar por enquanto. A parte eletrônica também usa alguns componentes valiosos, como plásticos de silício, alumínio ou polipropileno (petróleo). A maioria desses elementos é reciclável, necessitando que se torne prática permanente tal reciclagem.

No entanto, os dados (EWEA, 2000), revelam que há a adição de alguns metais raros na fabricação das estruturas, a exemplo da confecção das pás eólicas. Por trás deste processo, encontram-se aproximadamente 17 metais, como neodímio, disprósio, praseodímio, além de outros derivados de subprodutos da indústria de mineração, muitos deles raros porque eles são mais difíceis de serem extraídos. Destaca-se ainda nesse processo de fabricação das turbinas eólicas o cobre, que é usado nas bobinas do gerador: cerca de 600 kg para uma turbina eólica de pequeno porte. Ainda que este recurso seja abundante no mundo, sendo amplamente utilizado em todo o setor energético, pode ser o único material com suas reservas esgotadas

no médio prazo.

Segundo um estudo da ADEME (2015), sobre Impactos ambientais da energia eólica francesa, a taxa de emissão para uma turbina eólica terrestre, conforme Figura 19 é de 12,7g CO₂ eq/kWh, o que coloca a energia eólica na terceira posição atrás da hidráulica (6 g) e energia nuclear, mas muito a frente de óleo combustível, gás e carvão, conforme mostra a Figura 19.

Figura 19 - Emissões de CO₂ pela tecnologia

Technologie utilisée	 Éolien	 Solaire	 Hydraulique	 Nucléaire	 Charbon	 Gaz naturel	 Fioul
Emission directe de CO ₂ (gCO ₂ -eq /kWh)	0	0	0	0	345	272	204
Emission directe de CO ₂ + ACV (gCO ₂ -eq /kWh)	12,5	55	6	6	1060	730	418

Fonte: ADEME, 2015.

Ainda cabe ressaltar que a vida útil das turbinas eólicas e a reciclagem de seus materiais também devem ser levadas em conta, uma vez que, como para qualquer sistema de produção de energia, ocorrem desgastes naturais nessas estruturas. Segundo ADEME (2015), a vida útil destes equipamentos é de cerca de 20 anos, o que significa que, após esse período é necessário substituir peças ou toda a turbina eólica. Deve-se notar, no entanto, que os modelos recentes de turbinas eólicas têm menos peças mecânicas do que as mais antigas, portanto, há menos atrito e menos desgastes, o que reduz significativamente estas manutenções e troca de peças, prolongando por consequência, o seu ciclo de funcionamento.

5.1.2 IMPACTOS AMBIENTAIS: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÁICA

O sol fornece um importante recurso para gerar eletricidade limpa e sustentável sem poluição tóxica ou emissões de aquecimento global.

Para EPA (2018), os potenciais impactos ambientais associados à energia solar

são: uso da terra e perda de habitat, uso da água e uso de materiais perigosos na fabricação, podem variar muito dependendo da tecnologia, que inclui duas grandes categorias: células fotovoltaicas (PV) ou células solares concentradoras usinas térmicas (CSP).

A escala do sistema, variando de pequenos e distribuídos arranjos fotovoltaicos de telhados a grandes projetos PV e CSP - também desempenha um papel significativo no nível de impacto ambiental.

5.1.2.1 USO DO SOLO

Segundo EPA (2018), dependendo de sua localização, instalações solares em escala maior podem levantar preocupações sobre a degradação da terra e a perda de habitat. Os requisitos de área total da terra variam dependendo da tecnologia, da topografia do local e da intensidade do recurso solar. As estimativas para os sistemas fotovoltaicos na escala da concessionária variam de 12 a 40 mil m² por MW, enquanto as estimativas para as instalações da CSP estão entre 16 e 65 mil m² por MW.

Reafirmando essa necessidade de uso de grandes extensões de terra, conforme BANDEIRA (2012), as CSP são formadas por grandes áreas espelhadas que concentram a luz solar em um ponto específico, produzindo elevadas temperaturas, destinando-se a aplicações como secagem de grãos e produção de vapor. O vapor produzido por concentradores pode gerar energia mecânica com o auxílio de uma turbina a vapor, e, posteriormente, eletricidade, por meio de um gerador, com funcionamento semelhante ao de uma termelétrica a vapor convencional.

Segundo Michael (2007), ao contrário das instalações eólicas, há menos oportunidades para projetos solares dividirem a terra com usos agrícolas. No entanto, os impactos da terra de sistemas solares em escala de utilidade pública podem ser minimizados pela sua localização em locais de baixa qualidade, como terrenos de mineração abandonados ou corredores existentes de transporte e transmissão. Arranjos fotovoltaicos solares de menor escala, que podem ser construídos em casas ou prédios comerciais, também têm impacto mínimo no uso da terra.

5.1.2.2 USO DA ÁGUA

Células fotovoltaicas solares não usam água para gerar eletricidade. No entanto, como em todos os processos de fabricação, alguma água é usada para fabricar componentes fotovoltaicos solares.

Segundo NREL (2012), a concentração de usinas térmicas solares (CSP), como todas as usinas térmicas, exige água para resfriamento. O uso da água depende do projeto da usina, da localização da usina e do tipo de sistema de arrefecimento.

As usinas termoelétricas com essas características, possui a característica de demandarem o uso da água e podem ser divididas em campo solar, que transforma a radiação solar em energia térmica; e bloco de potência, que, tal como outras usinas termoelétricas, que é seguido do armazenamento da águas em reservatórios que direcionam essa água para uma caldeira, a qual converte a energia térmica em mecânica e, finalmente no ciclo água/vapor, a energia mecânica através de uma turbina e convertida em energia elétrica.

Conforme a Figura 20, podemos verificar o funcionamento de uma planta de uma usina térmica solar (CSP) e seu necessário consumo de água para o seu sistema de arrefecimento.

Figura 20 – Usina térmica solar com sistema de arrefecimento



Fonte: Guia de licenciamento ambiental, 2017/ Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)

As usinas CSP que usam a tecnologia de recirculação a úmido com torres de resfriamento retiram entre 2,2 L e 2,5 L de água por MW/h de eletricidade produzida.

As usinas CSP com tecnologia de resfriamento de passagem única têm níveis mais altos de retirada de água, mas menor consumo total de água (porque a água não é perdida como vapor). A tecnologia de resfriamento a seco pode reduzir o uso de água nas usinas CSP em aproximadamente 90%. No entanto, as compensações para essas economias de água são custos mais altos e menores eficiências. Além disso, a tecnologia de resfriamento a seco é significativamente menos eficaz em temperaturas acima de 100 °F (NREL, 2012).

Muitas das regiões que têm o maior potencial de energia solar também tendem a ser aquelas com os climas mais secos, portanto é essencial considerar cuidadosamente essas trocas de água.

5.1.2.3 MATERIAIS NOCIVOS

O processo de fabricação de células fotovoltaicas inclui vários materiais perigosos. Entre estas substâncias perigosas estão o chumbo, usado na soldagem, e o bromo, presente no inversor, mas também o cádmio para os painéis solares à base de telureto de cádmio, onde a maioria destes materiais é usada para limpar e purificar a superfície do semicondutor.

Conforme NREL (2012), tais produtos químicos, semelhantes aos usados na indústria geral de semicondutores, incluem ácido clorídrico; ácido sulfúrico; ácido nítrico; fluoreto de hidrogênio; 1,1,1- tricloroetano e acetona. A quantidade e o tipo de produtos químicos usados dependem do tipo de célula, da quantidade de limpeza necessária e do tamanho da placa de silício. Os trabalhadores também enfrentam riscos associados à inalação de poeira de silício. Assim, os fabricantes de produtos fotovoltaicos devem seguir as normas de segurança para garantir que os trabalhadores não sejam prejudicados pela exposição a esses produtos químicos e que os resíduos de fabricação sejam descartados de forma adequada.

Os danos relacionados com o contato direto de indivíduos com algumas dessas substâncias foram analisados por pesquisadores em um relatório elaborado exclusivamente para a WELT (2018) que investigaram se os poluentes usados nas quatro principais tecnologias fotovoltaicas são solúveis em água. Contrariamente aos pressupostos anteriores, o resultado mostra que poluentes, a exemplo do chumbo, o cádmio, que é comprovadamente cancerígeno, a poeira de silício, causador da silicose, podem ser quase completamente eliminados dos fragmentos de módulos

solares durante um período de vários meses, por exemplo, pela água da chuva, no entanto causam danos quando depositados no meio ambiente.

Uma pesquisa realizada por NREL (2012), que trata melhoria da eficiência das células fotovoltaicas, revelou que as células fotovoltaicas de película fina contêm um número de materiais mais tóxicos do que os utilizados nas células fotovoltaicas de silício tradicionais, incluindo o arsenieto de gálio, o disseleneto de cobre-índio-gálio e o telureto de cádmio. Se não forem manipulados e descartados adequadamente, esses materiais podem representar sérias ameaças ambientais ou à saúde pública.

Assim, para que ocorram tais danos, como dito anteriormente, é necessário que ocorra o depósito desses materiais no meio ambiente. Os riscos ambientais certamente surgem quando módulos ou partes deles não são corretamente descartados, e são colocados junto com lixo comum, sendo destinados em aterros, depositados diretamente no solo ou em mananciais de água e permanecem lá por um longo tempo ou para sempre, provocando a contaminação pelo contato por estes meios.

O tema do descarte de materiais perigosos, a exemplo da destinação de filmes finos derivados de painéis solares, por ser de relevância, é objeto de diversas pesquisas e artigos sobre o tema, a exemplo dos trabalhos realizados pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, de autoria de Denis Bergamo de Oliveira, Felipe Lebensold, e Lucas Tabuso de Oliveira e pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, de autoria de Pablo Ribeiro Dias.

No entanto, os fabricantes têm um forte incentivo financeiro para garantir que esses materiais altamente valiosos e muitas vezes raros sejam reciclados em vez de descartados, esses incentivos decorrem de políticas de governos locais de tratamento de resíduos, a exemplo do Departamento de Reciclados e Recuperação de Recursos da Califórnia, que sugere que a responsabilidade do gerenciamento do descarte de placas fotovoltaicas seja do produtor, retirando do consumidor a destinação final do resíduo, os produtores e distribuidores são encorajados a minimizar os impactos significativos ao meio ambiente em todas as fases do ciclo de vida das placas fotovoltaicas. Assim, o valor do descarte já estaria incluso no custo final do produto e diminuiria drasticamente os possíveis impactos ambientais

5.1.2.4 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Para NREL (2012), embora não existam emissões de aquecimento global associadas à geração de eletricidade a partir da energia solar, existem emissões associadas a outros estágios do ciclo de vida solar, incluindo fabricação, transporte de materiais, instalação, manutenção e descomissionamento e desmatamento. A maioria das estimativas de emissões do ciclo de vida para sistemas fotovoltaicos está entre 31 g e 81 g de dióxido de carbono equivalente por kWh.

No caso brasileiro, a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos instituída pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece uma ordem de prioridade, conforme Figura 21, estabelecendo e determinando o cumprimento das fases para que ocorra esse gerenciamento. Dentro da PNRS, ocorreu no caso brasileiro a definição das responsabilidades para cada uma das partes, respondendo de forma igual, porém não solidária do papel de cada envolvido no processo de gerenciamento do recurso.

Figura 21 - Gestão e Hierarquia do Gerenciamento dos resíduos sólidos



Fonte: DESTINAÇÃO FINAL DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS PÓS CONSUMO NO BRASIL, 2017

Ainda segundo (NREL. 2012), apesar das estimativas de dióxido de carbono equivalente por kWh, verifica-se que isso é muito menor do que as taxas de emissão de ciclo de vida para o gás natural (270g - 900g de CO₂ E/kWh) e carvão (650g - 1,6 Kg de CO₂ E/kWh). Tais dados revelam que as previsões acerca das emissões de CO₂, não mudará nos próximos 10 anos, mantida esta situação, mesmo se a atual taxa de expansão das renováveis for mantida inalterada.

Como apontam a maioria dos estudos, nesse momento se vislumbra um significativo aumento do uso das fontes renováveis, principalmente com o maior

incremento da utilização da energia eólica e solar, para as energias derivadas de fontes como a hidrelétrica e biomassa, a tendência aponta para limites do crescimento de seus usos com menores emissões.

5.2 IMPACTOS ECONÔMICOS

A transição energética para fontes renováveis não provoca impacto somente na maneira como se produz energia, mas também traz efeitos e alterações na conjuntura econômica onde estas fontes estão inseridas. Por um lado, os custos decorrentes de sua implantação e utilização demandam grandes investimentos, a exemplo, dos recursos necessários para a construção de usinas de energia renovável ou interligação de novas linhas de transmissão para a energia gerada, assim como também, os investimentos para a pesquisa de novas tecnologias de armazenamento ou de transmissão.

A geração de energia a partir das renováveis geram necessariamente impactos econômicos, sejam eles, do ponto de vista da toda cadeia produtiva criada em torno dessa geração, assim como também, ocorre de forma análoga, o desenvolvimento de indicadores econômicos-chave, como investimentos, produção bruta de insumos, importações, exportações e principalmente, geração de emprego, isso devido à seu caráter estruturalmente diferente, gerando uma demanda de investimento dessa indústria de energia, o qual fornece impulsos para alavancar outros setores considerados dependentes.

Segundo informações da ABEEólica, no caso brasileiro, a indústria além da geração de emprego, vem também de forma gradativa, se estruturando para ofertar plantas de produção para a fabricação em território nacional de produção de 80% de um aerogerador, conforme regras de financiamento para aquisição de produtos e máquinas do Programa FINAME do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O Brasil tem hoje seis fabricantes de turbinas, fábricas de pás e torres eólicas e centenas de empresas que trabalham em outros componentes, além de transporte, consultorias diversas, planejamento, obras, dentre outros serviços técnicos. (Canal Jornal Bioenergia, 2018)

Sobre a geração de emprego, o mais recente relatório da IRENA, sobre postos de trabalho, revela que a crescente expansão do uso das fontes renováveis demandam por consequência, que os países que produzam, comercializem e instalem

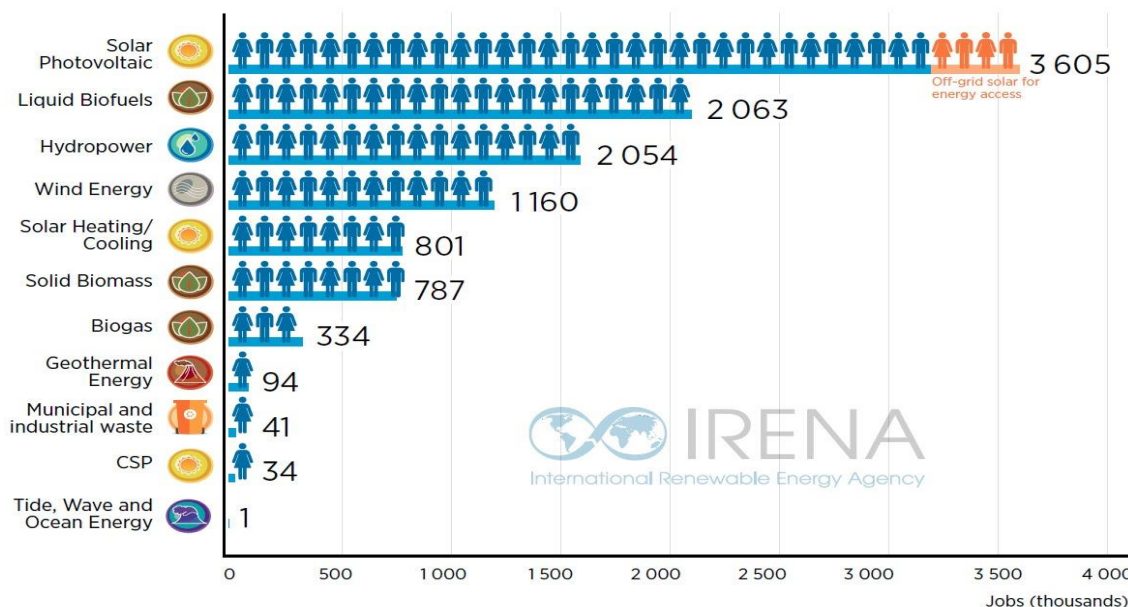
tecnologias baseadas em energias renováveis, gerem um número cada vez maior de empregos no setor das renováveis, causando um crescimento nunca experimentado até então, isso mesmo tendo experimentado nos últimos anos, uma queda no crescimento de mercados-chave de energia renovável, incluindo a China (IRENA, 2018).

A Figura 22 a seguir ilustra essa ascensão do número de postos gerados no setor da geração renovável no mundo.

De acordo com o Diretor-Geral da IRENA, Francesco La Camera, Relatório Energia Renovável e Empregos – Uma Revisão Anual, (IRENA, 2019b, p.02)

Além das metas climáticas, os governos estão priorizando as renováveis como propulsor de crescimento econômico de baixo carbono[...]. As renováveis atendem a todos os principais pilares do desenvolvimento sustentável – ambiental, econômico e social. À medida que a transformação energética global ganha força, essa dimensão empregatícia garante sustentabilidade socioeconômica e oferece ainda mais um motivo para que os países se comprometam com os renováveis.

Figura 22 – Empregos gerados por fonte – IRENA 2018



Source: IRENA jobs database.

Note: Another 7600 jobs, not shown separately here, cannot readily be broken down by individual renewable energy technology.

Fonte IRENA, 2018

Segundo EPE (2016), durante muito tempo, os custos foram a maior desvantagem das energias renováveis, pois estas demandavam valores relativos para cada quilowatt-hora (kWh) mais altos que a energia derivada de combustíveis fósseis. No entanto, os custos por quilowatt-hora são menores, especialmente para grandes

usinas de energia renovável.

No caso de pequenos sistemas geradores, a exemplo de um sistema solar fotovoltaico ou solar térmico, o resultado depende, sobretudo, do nível de autoconsumo, dos preços da energia e dos subsídios oferecidos pela legislação. Se houver subsídios suficientes e os preços dos combustíveis fósseis forem comparativamente mais elevados que das fontes renováveis, estas tendem a melhorar o seu desempenho e, conseqüentemente, possibilitará a sua expansão. O aumento do autoconsumo com a ajuda inovações tecnológicas que incrementem o nível do armazenamento de energia, tendem a favorecer que as redes sejam menos sobrecarregadas, gerando menores custos de produção.

A promoção e a concepção de infraestrutura de redes de energias renováveis custam muito dinheiro. No longo prazo, no entanto, os investimentos tendem a serem compensados, devido à redução de custos pela produção e geração em larga escala.

Especialistas acreditam que as emissões de gases nocivos, significativamente menores, das renováveis levarão a custos mais baixos do que as fontes de energia convencionais, por consequência, tendem a provocar menores gastos com ações preventivas em áreas, por exemplo, relacionadas com a saúde, eliminação de resíduos, bem como na adaptação às mudanças climáticas, proteção contra o calor e a inundação.

Entre as desvantagens frequentemente mencionadas das energias renováveis está a intermitência de seu uso, relacionadas com sua disponibilidade durante o dia ou durante as estações do ano. Isto porque, algumas energias renováveis não estão necessariamente disponíveis constantemente, por exemplo, a solar fotovoltaica, quando não há sol, ou em energia eólica, quando não há vento. Mas aqui também os sinais de mudança dessa realidade, conforme análises feitas no curso deste trabalho.

Tecnologias inovadoras de armazenamento maiores e mais baratas, provocam uma disponibilidade do uso das renováveis, a qual pode ser significativamente aumentada.

Segundo a Energy Storage Association, (ESA, 2019), as formas disponíveis atualmente passam por algumas variações de baterias encontradas no mercado, a saber:

- Baterias de estado sólido, que são células eletroquímicas que convertem a energia armazenada quimicamente em energia elétrica;
- Baterias de fluxo, que um tipo de bateria recarregável onde a recarga é

proporcionada por dois componentes químicos dissolvidos em solução e separados por uma membrana;

- *Flywheels* ou “rodas” inerciais, que são representados por um equipamento composto de um rotor no qual a energia cinética é armazenada e pode fornecer energia de forma instantânea;
- Estações de bombeamento de água para reservatórios, em que a gravidade também pode ser utilizada como uma forma de armazenamento de energia;
- Energia armazenada térmica, que consiste na geração de calor ou frio para armazenar energia; e ainda,
- Armazenamento de energia em ar comprimido, que são sistemas que permitem que a energia gerada em um determinado momento seja utilizada posteriormente.

No caso da eólica, as novas gerações de turbinas eólicas surgiram no mercado nos últimos anos utilizando lâminas maiores, eles garantem um número anual de horas de operação aumentada e uma produção mais regular, mesmo em locais com menor incidência dos ventos. Especialmente para fotovoltaica, existem agora soluções cada vez eficientes de armazenamento acessíveis sob a forma de baterias de materiais diversos.

Soluções econômicas para energia eólica ainda não estão no mercado, mas já estão sendo testadas, como "*Power to Gas*", que é uma tecnologia que converte energia elétrica em combustível a gás, utilizando-se a energia excedente da geração de energia eólica.

Além desses acréscimos específicos com soluções para cada setor, deve-se levar em conta sua complementaridade, baseada na premissa de que os períodos sem vento ou sol são raros. Então, quando há realmente menor geração de vento e menor incidência solar para a fonte fotovoltaica, outras energias podem assumir. Quando utilizada em toda a rede geradora, a complementaridade impede mudanças bruscas na produção de energia elétrica renovável que poderiam colocar em risco o sistema de fornecimento desta energia.

As energias renováveis têm a vantagem da disponibilidade a longo prazo, enquanto muitas fontes de energia fóssil tendem a possuir o seu uso restringido pelas limitações de suas reservas, exigindo alto custo para sua exploração. No entanto, as energias renováveis geralmente estão em abundância, sendo limitadas somente, pela limitação do espaço disponível para implantação e redes de distribuição obsoletas.

Uma das repercussões da expansão das energias renováveis é o aumento da eficiência energética, assim, a demanda por importações de combustíveis fósseis como o petróleo, gás natural e carvão tenderá a ser reduzida, causando efeitos em escala por toda a economia. No entanto, existem aspectos positivos e negativos nessa expansão do uso destas fontes, alguns dos quais abordaremos a seguir.

5.2.1 CUSTO DE CAPITAL

Os custos de capital são fatores que impactam diretamente na viabilidade de projetos sejam eles quais forem. Os impactos desses fatores que compõem esses custos passam pela análise dos índices econômicos do setor de energia, os quais avaliam o custo de tecnologias alternativas de geração de energia, principalmente em um setor como a energia renovável, para o qual, o custo do capital difere amplamente entre os países e as tecnologias adotadas.

5.2.2 INTERMITÊNCIA DAS FONTE RENOVÁVEIS - EÓLICA E SOLAR

Analisando-se a intermitência comum às fontes renováveis, a exemplo da solar fotovoltaica e eólica, alguns analistas entendem que, as energias renováveis não podem e não devem ser desenvolvidas de forma permanente, pois sendo intermitentes, não podem responder a um pedido de consumo de energia elétrica a qualquer momento. Tais fontes têm saída variável, descontínua e não programável porque dependem do clima e do ciclo dia/noite. Em particular, a energia eólica e fotovoltaica, onde o improvável conhecimento preciso das condições climáticas, provocariam a antecipação de mudanças na produção. No entanto, os usos das fontes mencionadas realmente contribuem para a redução da geração de energia fóssil e nuclear.

No que diz respeito à energia eólica, os geradores são incrivelmente simples. A ideia por trás deles é simplesmente girar um enorme gerador contendo um ímã através de fios de cobre e por esse processo, uma corrente elétrica é gerada. Quanto mais rápido ele gira, mais eletricidade é produzida.

O principal desafio à produção de energia elétrica reside em seu armazenamento, aliado ao fato de que as baterias eficientes atuais não possuem produção ainda em escala comercial, assim, toda a eletricidade produzida deve

atender à demanda exata da população. Com grandes geradores solares e eólicos, mesmo que apareça um problema e um destes seja desligado, a paralização temporária poderá ser amenizada com o uso de baterias, que permitam uma janela de tempo para que o problema seja corrigido.

Aliado a esses fatores existem ainda, segundo EWEA (2016), outros pontos que dificultam a expansão das renováveis, tais como a porcentagem do tempo que os recursos renováveis produzem sua capacidade de geração efetiva, que é relativamente baixa. Na Alemanha, considerado país exemplo quando se remete à adoção deste tipo de energia, a fonte solar produz sua potência nominal apenas 11% do tempo, o que significa que você precisa de um backup para 89% do tempo. Para a eólica, os números são um pouco melhores, mas eles também permanecem entre 15 a 25% (dependendo da costa em terra, e a quantidade de vento por ano), então, novamente, 75 a 85% do tempo que você precisa de um armazenamento de segurança.

Ainda conforme os dados (EWEA, 2016), a eficiência da produção de energia do vento e da energia solar é muito baixa, você precisa de instalações muito grandes para coletar a energia. Isso significa que muito material (aço, concreto, vidro, painéis fotovoltaicos, montagem, cabos etc.) deve ser investido na construção das unidades geradora primeiro. Todos esses materiais devem ser produzidos, o que consome vários recursos e muita energia. Um aerogerador de 3 MW é construído usando 200 toneladas de aço, que é feito usando carvão. Portanto, a saída real de CO₂ das energias renováveis é maior do que a maioria das pessoas imagina.

5.2.3 ASPECTOS ECONOMICOS RELACIONADOS ÀS EMISSÕES DE CARBONO

Segundo o relatório (EPE, 2019), as emissões de carbono no Brasil no ano de 2018, atingiram um total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira num montante de 416,1 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq), sendo a maior parte (192,7Mt CO₂-eq) gerada no setor de transportes.

O relatório faz ainda, um comparativo por habitante, onde cada brasileiro, produzindo e consumindo energia em 2018, emitiu em média 2,0 t CO₂-eq, ou seja, cerca de 7,5 vezes menos do que um americano e 3 vezes menos do que emite um

européu ou um chinês de acordo com os últimos dados divulgados pela Agência Internacional de Energia (IEA) para o ano de 2016 (EPE, 2019).

Quando analisado os impactos da emissão de carbono relacionados ao setor elétrico brasileiro, o relatório Balanço Energético Nacional - BEN, EPE (2019), informa que este setor emitiu, em média, apenas 88,0 kg CO₂ para produzir 1 MWh, um índice muito baixo quando se estabelece comparações com países da União, EUA e China.

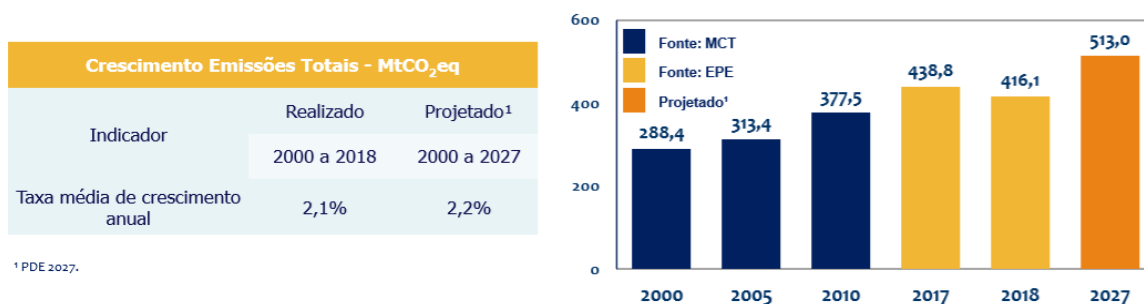
O Balanço Energético Nacional, EPE (2019), traz a evolução dos números das emissões de carbono, estabelecendo um comparativo entre o realizado no período compreendido de 2000 a 2018 e o projetado para os anos de 2000 a 2027. Destaca-se o fato de que em 2018 houve aumento da geração hídrica e eólica e avanço do consumo de fontes renováveis no setor de transportes, que é o principal setor emissor de gases de efeito estufa.

Segundo AIE (2018), embora as energias de fontes renováveis continuem a representar uma pequena parcela do suprimento total de energia, os setores residencial e comercial estão adotando lentamente a energia renovável. Como os preços continuam a diminuir, espera-se que os sistemas, como a energia solar fotovoltaica e eólica se tornem mais predominantes. A tendência global, é que para a solar o preço por KW/h deverá cair para entre 0,04 e 0,06 US\$ / KW/h em 2025 e diminuir ainda mais para apenas 0,02 US\$ / KW/h em 2050.

Supondo que as previsões estejam corretas, a energia solar fotovoltaica estará entre as fontes de energia mais baratas. Com a queda dos preços, o estudo da AIE, 2018, calcula, de forma conservadora, que os sistemas solares fornecerão 5% do consumo global de eletricidade em 2030, aumentando para 16% até 2050. Atingir essa visão exigiria aumentar a capacidade global de energia solar de 150 GW em 2014 para 4600 GW até 2050. Como resultado, com isso, teríamos expressivos impactos nos custos de mitigação das emissões de CO₂, já que essas quedas nos preços por quilowatt / hora, a exemplo da solar, tornam ainda mais economicamente viáveis, o uso desta fonte, e com esse fato, evitaria neste cenário simulado, a emissão de 4 Gt de dióxido de carbono anualmente, conforme Figura 23 com dados do (BEN, 2019).

Figura 23 – Evolução das emissões de CO₂ BEN 2019

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



Em 2018 houve aumento da geração hídrica e eólica e avanço do consumo de fontes renováveis no setor de transportes (principal setor emissor de gases de efeito estufa).

Fonte: EPE – BEN 2019

A indústria de energia solar fotovoltaica vem experimentando um estágio de desenvolvimento em grande escala no Brasil. Neste aspecto, a análise do cenário envolvendo fatores que compõem a cadeia da geração solar fotovoltaica possui relevância para sinalizar quais medidas podem ser adotadas para avaliar os impactos econômicos do desenvolvimento de energia solar na matriz brasileira.

5.2.4 OS CUSTOS DAS FONTES RENOVÁVEIS

As energias renováveis podem assumir um custo muito elevado, quando se trata de sua instalação. A barreira mais comum e amplamente divulgada para a implementação de uma planta de usinas de energia renovável é, sem sombra de dúvidas, o seu custo, especificamente, os custos de capital ou a despesa inicial relacionada à construção e a instalação dos parques solares e eólicos.

Segundo MME (2016), o custo internacional médio, que era em no ano de 2016 para instalar uma planta de sistema de energia solar variou de um pouco mais de US\$ 2.000/KW (utilizando-se os quilowatts como uma medida da capacidade de energia), enquanto para sistemas de larga escala, este custo se situou em torno de US\$ 3.700 para o uso em sistemas residenciais. Só para efeitos de comparação, uma nova planta de gás natural pode custar cerca de US\$ 1.000/kW. Já uma planta utilizando o sistema eólico, apresentou um custo em torno de US\$ 1.200 a US\$ 1.700/kW neste mesmo período. No Brasil, segundo consulta à fabricantes de plantas

solares nacionais, no ano de 2018 o custo de uma usina solar de 1 MW sai torno de R\$4 a R\$5 milhões de reais.

Os altos custos de construção dessas plantas tendem a criar, por consequência, entraves junto às entidades fomentadoras deste tipo de energia, já que as instituições financeiras tendem a se tornarem mais propensas a perceberem que as renováveis possuem um risco maior, provocando empréstimos de capital a taxas mais altas, e como consequência, dificultando para as concessionárias ou incorporadoras essa utilização de taxas elevadas, justificada pelo volume de seu investimento.

Outras fontes de energia, à exemplo das fósseis, podem ter os custos de implantação repassados, diminuindo o risco associado ao investimento inicial. No entanto, se os custos ao longo da vida útil dos projetos de energia forem levados em consideração, a energia solar em larga escala podem tornar-se fontes de geração de energia mais econômicas frente às outras, segundo a empresa alemã de gestão de ativos Lazard, especializada no segmento.

Segundo MME (2016), no ano de 2017, outro fator que causa impacto econômico diz respeito à eficiência média mundial dos painéis solares, que triplicou nas últimas décadas para 15% (143 Wp/m²), a um custo centenas de vezes mais barato (preços entre US\$0,65/Wp e US\$1,20/Wp na maioria dos países, com a Índia detendo os menores valores). Segundo o documento, até 2022 espera-se que a faixa de preços recue para US\$0,5/Wp a US\$1,0/Wp, quando já haverá painéis solares com eficiência de conversão de 23,5% (348 Wp/m²).

O relatório (IRENA, 2018), aponta os novos dados que revelam que os custos de todas as tecnologias de geração de energia renovável comercialmente disponíveis caíram em 2018 em relação aos dados apresentados em 2016. O custo médio ponderado global da eletricidade declinou 26% ano a ano para a energia solar concentrada (CSP), seguida pela bioenergia (-14%), energia solar fotovoltaica (FV) e eólica onshore (ambas -13%), energia hidroelétrica (-12%), eólica offshore (-1%), segundo o relatório.

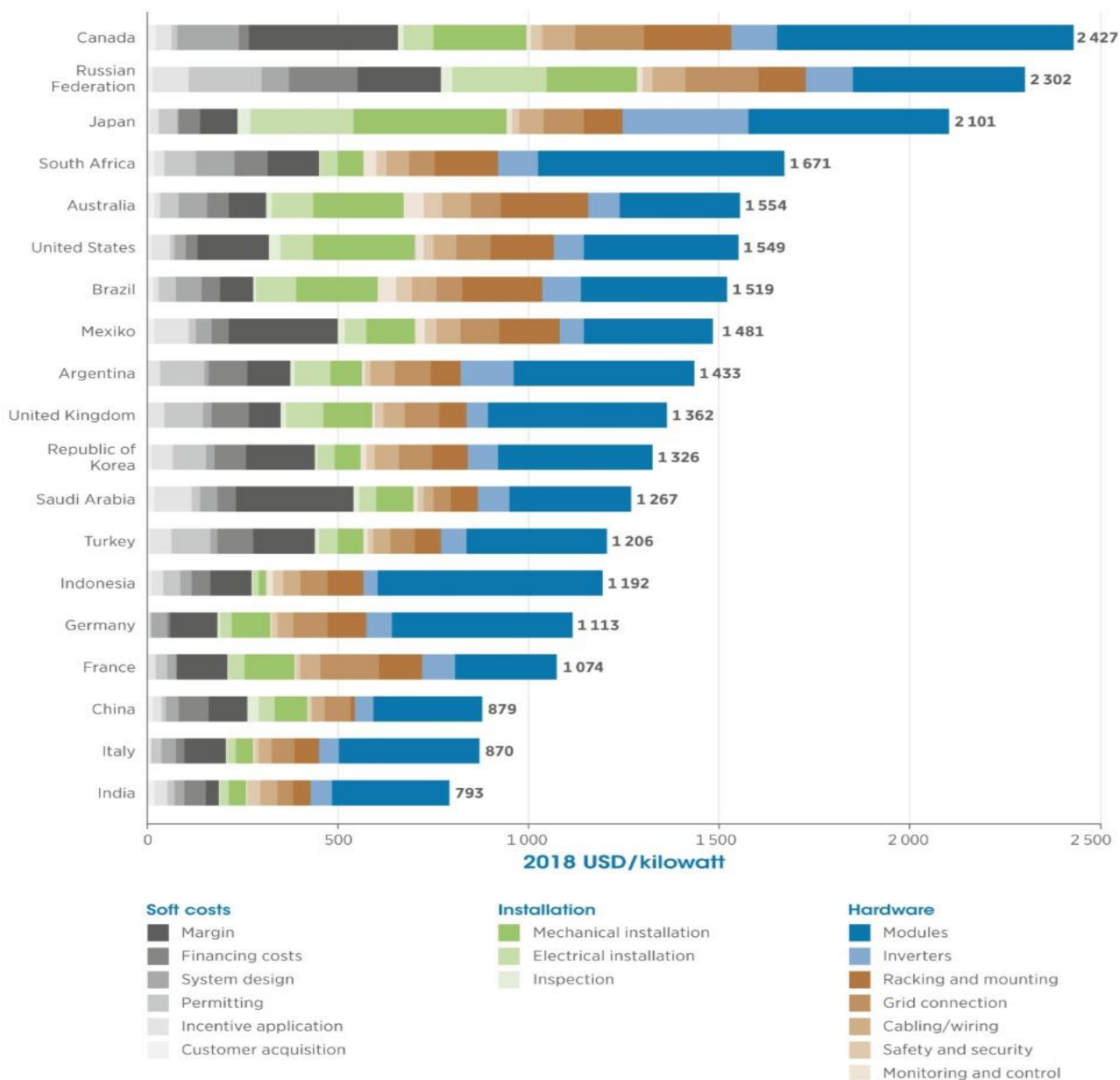
As contínuas quedas de custo, evidenciam o fato de que o futuro tende ao efetivo uso destas fontes renováveis como uma solução de baixo custo para o clima e a descarbonização. Da análise dos dados globais do relatório do IRENA (2018), as previsões feitas indicam que mais de três quartos da energia eólica terrestre e quatro quintos da capacidade dos projetos de energia solar fotovoltaica em escala de

utilidade, devem ser efetivadas até 2020, e devem fornecer eletricidade a preços mais baixos do que os novos combustíveis movidos a fontes como o carvão, petróleo ou gás natural.

Um fator encorajador ao uso de fontes alternativas reside no fato de que os custos de capital de energia renovável caíram internacionalmente desde o início dos anos 2000, e provavelmente continuarão com esta tendência no futuro. De acordo com estudos apresentados pela IRENA, 2018, os números apontam essa tendência de queda permanente. Por exemplo, entre 2006 e 2016, o valor médio internacional dos módulos fotovoltaicos despencou de US\$ 3,50/W para US\$ 0,72/W, uma queda em torno de 80% em apenas 10 anos. (MME, 2016).

No entanto de acordo com o relatório, a redução no custo da energia não ocorre de forma linear mundialmente. Essa diferença de preços Kwh, é evidenciada pela Figura 24, que revela essa dependência de estratégias locais para a redução dos custos dessas fontes. A Figura 24 ainda, segundo o relatório, analisa os componentes de custo em detalhes, informando os custos médios de materiais e insumos para a produção instalados em cada país. IRENA (2019a),

Figura 24 - Custos totais instalados em 2018 por componente e países



Fonte: Relatório IRENA, 2019^a. A queda dos custos de energia renovável abre caminho para uma maior ambição climática. maio 2019. Acesso 16.07.19

A análise dos dados apresentados na Figura 25 mostra os custos das renováveis no ano de 2018 apresentados pelo IRENA (2019) para diversos países, incluindo o Brasil, relacionados com previsões de custos para produção de energia solar fotovoltaica e energia eólica em terra com a construção e implantação dessas plantas.

A primeira da linha dos custos representa os chamados “custos suaves”

relacionados com os custos marginais, financeiros, projetos de sistemas, aplicação de incentivos e relacionados com a aquisição de clientes. A previsão apresentada pelo IRENA (2019) destes custos situa-se em torno de 250 USD / KW, custo esse considerado competitivo quando comparado com outros países apresentados nesta mesma amostra, como Japão, China e Indonésia.

A segunda parte da linha dos custos representa os chamados *custos de instalação*, compreendida por custos efetivos das instalações mecânica e elétrica e de inspeção, sendo que esses custos parciais se situam em torno de 360 USD/KW, custos esses, considerados elevados conforme comparação com os países da amostra, situando-se próximos aos encontrados em países de Austrália e Estados Unidos, no entanto muito acima dos custos encontrados na Itália, Índia, Coreia, Alemanha dentre outros.

A terceira parte da linha dos custos apresentado na Figura 25 está relacionada com os custos para aquisição de equipamentos, abrangendo toda infraestrutura necessária para a instalação das plantas, como módulos e inversores, no caso de plantas solares, além de painéis de conexão à rede e cabeamento. Tais custos se situam numa faixa de 910 USD/KW. A soma desses custos totais apresentados para o Brasil no ano de 2018 situaram-se em torno de 1.519 USD/KW, estando numa faixa situada acima dos custos médios de diversos países como Índia, Itália, China, França, Alemanha, mostrando-se mais elevados, também, de que os custos em países como México, Argentina e Reino Unido.

Esses dados revelam a necessidade do estímulo permanente pela redução dos custos das renováveis, sobretudo os relacionados à implantação de suas plantas.

No caso brasileiro, as fontes de energia renováveis, como a energia eólica e solar, além dos custos de implantação, sofrem ainda, seguindo uma tendência global, barreiras relacionadas aos impactos ambientais apresentados. Além das altas tarifas de importação, a energia solar ainda está em desvantagem devido à falta de políticas de apoio governamental, como subsídios, incentivos fiscais e preços. Em vez de se concentrar numa política de preços mais realista para o uso destas fontes, os quais incluem custos de vida útil dos equipamentos, operações, custos de manutenção e também a reciclagem destes equipamentos, os planejadores dessa infraestrutura energética e investidores, possuem dificuldades frente aos altos custos iniciais de capital da implantação dessas energias renováveis em comparação com as fontes de energia convencionais.

5.2.5 IMPACTOS ECONÔMICOS: LOCALIZAÇÃO E TRANSMISSÃO

Há uma série de desafios associados à construção, implantação e transmissão de um sistema de energia renovável. Existem também, aspectos sociais, econômicos e políticos que precisam ser levados em conta. A fim de aumentar a penetração das energias renováveis em todo o mundo, são necessárias soluções inovadoras para esses problemas.

A difusão das fontes visando a máxima geração de energia renovável trará consigo uma transformação significativa nas redes de eletricidade e o modo como a energia elétrica é transmitida, gerada e vendida. O sistema elétrico do futuro precisa ser altamente flexível para se ajustar rapidamente à potência crescente a ser ofertada pelas fontes renováveis de energia (NREL, 2012)

Além dos efeitos sobre a geração e a transmissão, as características dos conversores atuais de energia renovável, prejudicam o funcionamento dos mercados de eletricidade convencionais. As estruturas de mercado precisam evoluir para integrar adequadamente a energia renovável.

Segundo NREL (2012), as cidades demandam grandes quantidades de eletricidade para funcionar, essa energia é transportada dos locais geradores localizados em áreas remotas, percorrendo centenas ou até milhares de quilômetros de distância, o desafio portanto é, como transmitir o máximo de eletricidade possível das plantas de geração como usinas solares e parques eólicos, sem prejudicar a estrutura das redes de transmissão de energia existentes.

A localização está relacionada à alocação das plantas, dada a necessidade em se distribuir de forma efetiva os elementos componentes destas plantas, como turbinas eólicas e parques solares em grandes áreas de terra. Fazer isso requer negociações, contratos, permissões e relações com a comunidade, os quais podem aumentar os custos e atrasar ou inviabilizar tais projetos.

A transmissão refere-se às linhas de distribuição de energia e a infraestrutura necessárias para possibilitar o transporte da eletricidade, desde onde está é gerada em suas matrizes, até seu destino onde ela é consumida, seja este consumidor residencial ou industrial. Como a energia eólica e a solar são consideradas modelos novos de geração, a maior parte do que existe hoje foi construída para atender a geração de grandes usinas hidrelétricas ou de energia fóssil, como os derivados de petróleo.

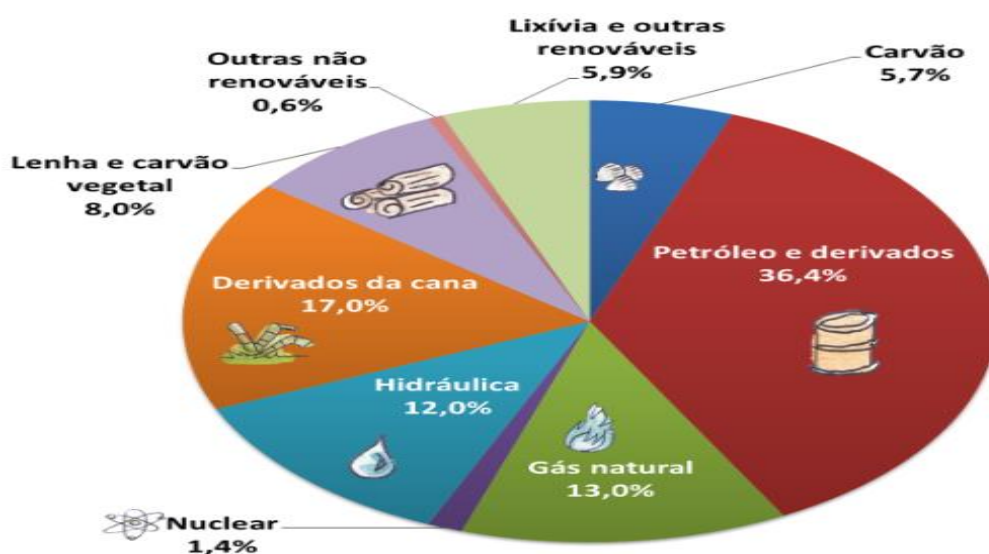
No entanto, as usinas eólicas e solares, devido às suas necessidades de aproveitamento geográfico, não estão todas situadas perto de antigas rotas de distribuição das usinas hidrelétricas ou de combustíveis fósseis. Para aproveitar adequadamente esses recursos, é necessária a criação de uma nova infraestrutura de transmissão, a qual necessitará de um novo investimento com um custo elevado, além da necessidade de serem redes de distribuição muito bem localizadas, a fim de permitir a maior eficiência de transmissão. Tanto o financiamento quanto a localização podem ser barreiras significativas para desenvolvedores e clientes potenciais (NREL, 2012).

Portanto, o cálculo dos fatores acima descritos deve ser levado em consideração diante de uma tendência que reflete uma preocupação permanente dos agentes envolvidos, como governos, entidades de preservação e da comunidade mundial, quando se busca a difusão o uso das renováveis e a consequente redução de emissões de CO₂.

5.2.6 INSERÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NA GERAÇÃO DE ENERGIA

A Figura 25 revela as fontes de eletricidade no Brasil, seguindo a tendência de outros países no ano de 2016. As energias renováveis enfrentam forte concorrência de setores de geração de energia mais estabelecidos, principalmente por parte da indústria dos derivados petróleo. Durante a maior parte do século passado, a eletricidade dos países desenvolvidos, sobretudo, os Estados Unidos e grande parte deste consumo mundial, foi dominada por algumas grandes matrizes produtoras, incluindo o carvão, a nuclear e, mais recentemente, o gás natural. As empresas de geração de energia elétrica, na maioria dos países investiram pesadamente nessas tecnologias, que possuem com característica, o fato de serem bem estabelecidas, maduras e amplamente consolidadas, resultado do enorme poder de mercado, que estas detêm.

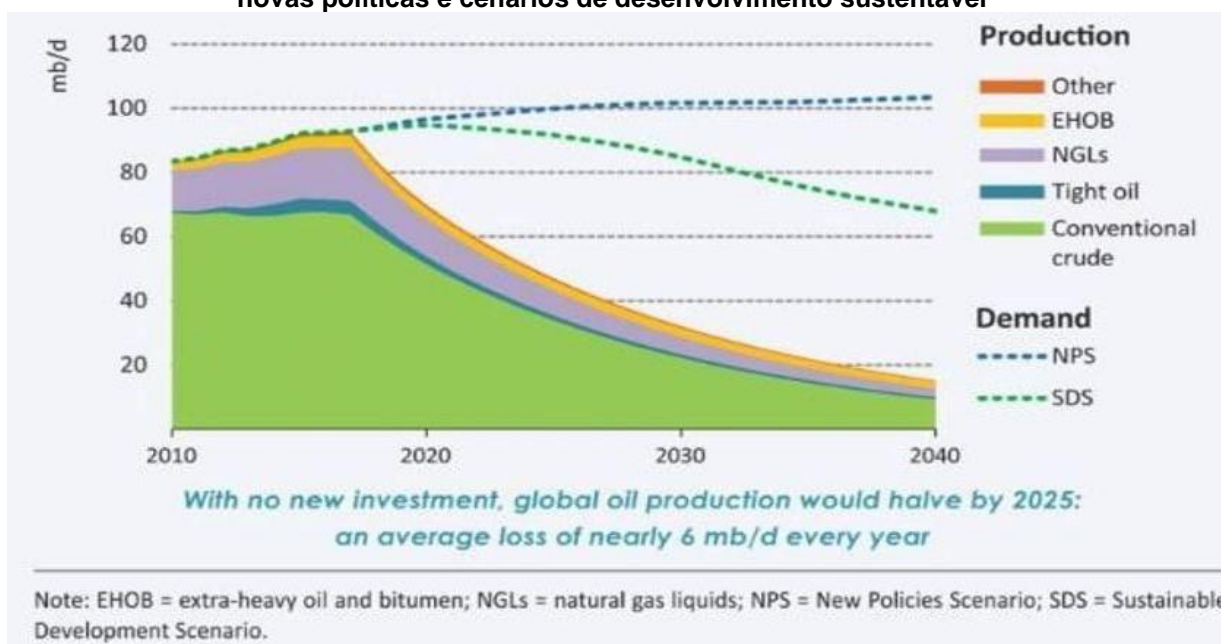
Figura 25 – Percentual de participação fontes Brasil



Fonte: EPE (BEN, 2018).

Essa concorrência com as fontes já estabelecidas apresenta-se como dificuldade de inserção da energia renovável, seja qual for a fonte primária. Recursos solares, eólicos e outros recursos renováveis precisam competir com indústrias mais ricas que se beneficiam da infraestrutura, experiência e política existentes. É um mercado difícil de ingressar, conforme expresso na Figura 26.

Figura 26 - Produção de petróleo sem novos investimentos a partir de 2018 e demanda nas novas políticas e cenários de desenvolvimento sustentável



Fonte: World Energy Outlook 2018.

O relatório (IRENA, 2018), revela a essa dificuldade de ingresso das renováveis, com o surgimento das expectativas das limitações impostas às reservas de petróleo, conforme a Figura 26 acima revela que as fontes de energia renováveis se apresentam como alternativa diante da iminência do limite de uso do Petróleo. Estudos e publicações, mostram que, diante da escalada crescente da demanda por energia e em um cenário sem novos investimentos, a produção global de petróleo, sobretudo as denominadas fontes não convencionais, cairá 50% até 2025.

As estimativas realizadas revelam que a produção anual global de petróleo pode diminuir em aproximadamente seis milhões de barris por dia a partir de 2020. Alguns países produtores de combustíveis fósseis (e não somente a Venezuela) já convivem com a queda da produção. (Oil Change International, 2019).

As novas tecnologias de energias, principalmente as ainda não estabelecidas, como a biomassa e maremotriz, enfrentam barreiras ainda maiores. Elas competem com as principais fontes em atuação no mercado, como carvão e gás natural, e com tecnologias solares e eólicas comprovadas, as quais vem apresentando tendência a se tornarem de baixo custo no curto prazo. Para provar a sua eficiência em relação ao seu investimento, eles devem possuir ganho em escala em sua produção. A maioria dos investidores desejam a geração de grandes quantidades de energia, fato este, que se torna inviável quando as energias eólicas e solar não estão disponíveis. Isso é difícil de realizar e uma das principais razões pelas quais as novas tecnologias sofrem altas taxas de falha nas suas gerações.

Num cenário mundial dominado pelo capital de investidores advindos de diversos ramos produtivos, os opositores ao uso das energias limpas, sob o ponto de vista da ação climática, como o ex-administrador da EPA, Scott Pruitt, há muito, sinalizam em apoiar o ingresso do capital da indústria, sejam quais forem as suas intenções, preservacionistas ou não.

Não se vislumbra num horizonte de curto prazo portanto, seja em escala mundial, assim como no caso brasileiro, grandes investimentos por parte das indústrias multibilionárias no setor das renováveis, sem que ocorra também, uma influência política com concessão de benefícios desproporcionais favoráveis às fontes derivadas do petróleo.

5.2.6.1 FINANCIAMENTO DE ENERGIA FÓSSIL

Segundo Oil Change International (2019) organização americana sem fins lucrativos destinada a expor os verdadeiros custos dos combustíveis fósseis e facilitar a transição contínua para a energia limpa, estima que os Estados Unidos gastam US\$ 37,5 bilhões em subsídios para combustíveis fósseis a cada ano, enfatizando a tendência mundial de privilégio de benefícios em países em que o petróleo é utilizado como a principal fonte primária de geração de energia, a exemplo do caso brasileiro.

Através de subsídios diretos, incentivos fiscais e outros incentivos e brechas na legislação, os contribuintes desses países, que incluem o Brasil, ajudam a financiar a pesquisa e o desenvolvimento da indústria, mineração, perfuração e geração de energia. Embora os subsídios tenham progressivamente aumentado a produção doméstica de derivados de Petróleo, eles também desviaram o capital de atividades mais produtivas (como eficiência energética) e restringiram o crescimento de energia renovável (a energia solar e eólica tem menos subsídios e, geralmente, recebem tratamento político muito menos preferencial).

Ainda segundo Oil Change International (2019), durante décadas, a indústria de combustíveis fósseis usou sua influência para disseminar informações falsas ou enganosas sobre as mudanças climáticas, que é identificada como uma forte motivação para escolha das fontes de energia de baixo carbono, como eólica ou solar, além das conhecidas razões econômicas.

Historicamente, os líderes da indústria sabiam sobre os riscos do aquecimento global já na década de 1970, mas reconheceram que lidar com o aquecimento global significava usar menos combustíveis fósseis. Portanto, foi necessária a minimização de campanhas de informação sobre o clima, incitando possíveis dúvidas sobre as afirmações acerca das mudanças climáticas e o uso das energias renováveis.

Percebe-se, no entanto, que seus esforços em omitir a questão climática não foram bem-sucedidos. Apesar do amplo consenso sobre a necessidade da manutenção da complementariedade das fontes, a ação climática é agora uma questão prioritária em muitas nações, a exemplo do Brasil, o que facilita os esforços para se mudar a matriz de combustíveis fósseis para a energia limpa e renovável.

A desconexão entre ciência e política significa que o preço que é pago por energias poluentes, como o petróleo, o carvão e o gás não é representativo do

verdadeiro custo dos combustíveis fósseis, não reflete os enormes custos do aquecimento global e outros prejuízos ao meio ambiente, isso, por sua vez, significa que as energias renováveis não estão entrando em igualdade de condições, elas estão competindo com as indústrias que são subsidiadas diretamente, seja via incentivos governamentais, ou indiretamente, quando não são punidas por suas ações enquanto poluidores.

5.2.6.2 IMPLICAÇÕES SOCIAIS, POLÍTICAS E ECONÔMICAS

Todas as ações para difundir o uso de fontes renováveis, resultarão em impactos locais, assim definidas, como repercussões ambientais e econômicos, os quais repercutirão em cadeia para as comunidades às quais estão inseridas. Em nível local, as sociedades podem se beneficiar de produção de energia renovável de origem municipal e de pequenas comunidades.

Em nível nacional, a difusão da energia renovável é positiva, haja visto seus benefícios como a redução da dependência de combustíveis fósseis, melhora na oferta de empregos e redução na emissão de poluentes. Esta difusão pode também, auxiliar o desenvolvimento do uso dessas fontes, em direção a um plano de longo prazo com riscos menores associados às flutuações derivadas da importação de combustível, dos preços dos derivados de petróleo e tensões políticas, principalmente em nações dependentes das importações de combustíveis.

O custo da energia renovável vem diminuindo há décadas mais rápido do que o previsto. Atualmente a energia renovável está reduzindo os preços da eletricidade em alguns países e requer o apoio dos governos locais para que se efetive essa redução. Portanto, no longo prazo, à medida que a tecnologia dessa geração for consolidada, existe uma tendência que os custos de funcionamento de todo um sistema de energia renovável tornem-se menores e os subsídios aos combustíveis fósseis provavelmente tendam a desaparecer.

5.2.6.3 CONFIABILIDADE DE GERAÇÃO LIMPA.

Segundo estudo publicado no corrente ano, Oil Change International (2019), a confiabilidade no uso de fontes renováveis, quando exercida corretamente, deixa de ser um ponto de desconfiança para a adoção das energias eólica e solar, passando a

se constituir um reforço para a sua adoção para países como o Brasil que vem experimentando um incremento no número de projetos a partir dessas fontes, contrapondo-se com a visão dos oponentes à política de expansão à energia derivadas de fontes renováveis.

Tal oposição, representada principalmente por gestores da infraestrutura hidrelétrica e pelos investidores em fontes fósseis, é enfática em destacar a variabilidade do sol e do vento, como forma de reforçar o uso de usinas como as hidrelétricas, além de outras poluentes como as movidas à carvão, gás e nuclear, que podem operar mais facilmente sob demanda ou fornecer energia “*de base*”, continuada. O argumento é usado para contrapor-se aos grandes investimentos em energia renovável, e apresenta-se como uma barreira recorrente para o aumento das taxas de adoção do uso da eólica e do solar.

As fontes Solar e eólica são altamente previsíveis, principalmente, quando implementadas em grandes áreas geográficas, sob sistema de fontes complementares de geração, torna-se altamente confiáveis. Tecnologias de rede modernas, como baterias avançadas, monitoramento em tempo real e aparelhos de medição inteligentes também podem ajudar a energia solar e eólica a serem elementos essenciais de uma rede eficiente, com alto desempenho.

Experiências em grandes sítios solares e eólicos revelam, através de testes realizados, a exemplo das plantas construídas na Alemanha e nos Estados Unidos (Califórnia), que estes possuem algumas das taxas mais altas de eficiência de geração de eletricidade renovável no mundo, afirmando ao mundo real, a ideia de que a energia solar e eólica pode de fato melhorar a confiabilidade da rede. Um relatório do Departamento de Energia americano no ano de 2017 confirmou este fato citando a experiência de plantas como a da Califórnia e de vários estudos científicos para confirmar que qualquer nação, a exemplo dos Estados Unidos podem operar com segurança e confiabilidade a rede elétrica com altos níveis de utilização das renováveis.

No caso brasileiro ainda estamos percorrendo o caminho para, em breve, demonstrar a confiabilidade da fonte eólica, porém já atestamos a sua eficiência através das plantas existentes, no entanto, não possuímos ainda grandes fazendas solares no Brasil que confirmem os resultados de pesquisas e testes realizados.

Muitas concessionárias, no entanto, ainda não consideram esse nível de confiabilidade desprezando o real valor do uso da energia eólica, solar e outras fontes

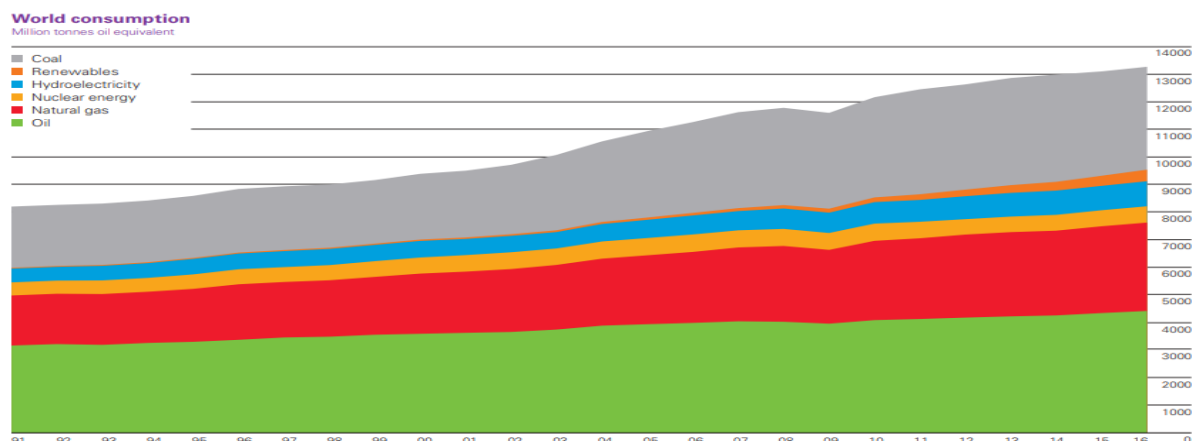
renováveis. Os planejadores de energia geralmente consideram parâmetros de custo delimitados e perdem as oportunidades de longo prazo que as renováveis oferecem. Por isso é extremamente necessária uma maior conscientização, e sobretudo, a disposição de ir além do mito da ausência de confiabilidade das fontes renováveis.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A expansão da demanda por volumes de energia cada vez maiores, exige um significativo avanço da produção de energia proveniente de fontes renováveis, e por consequência, os desafios enfrentados pela implementação de forma consolidada dessas fontes, são cada vez mais urgentes. O ritmo da transição energética tem se mostrado lento diante da gravidade dos desafios ecológicos. Como a população e a economia mundial continuam crescendo em volume, aumentam, em consequência, por exemplo, a extração de recursos do meio ambiente, elevam as emissões de gases de efeito estufa (GEE), acelerando o aquecimento global, o que aumenta a “*Pegada Ecológica do Planeta*” e reduz a biocapacidade e a biodiversidade.

A Figura 27 apresenta que a energia renovável, pode certamente, ter algum impacto no consumo global de eletricidade, especialmente em regiões onde a eletricidade é cara, mas em larga escala, a qual utilizamos, ainda temos um longo caminho para trilhar. Isto é confirmado com estatísticas atuais, em que a energia solar contribui no ano de 2017 com apenas 1% para a demanda global de eletricidade e o vento com cerca de 3%, sabemos que estes números são alterados ano após ano, pois que estas tendem a evoluir buscando atender ao aumento da demanda por estas fontes.

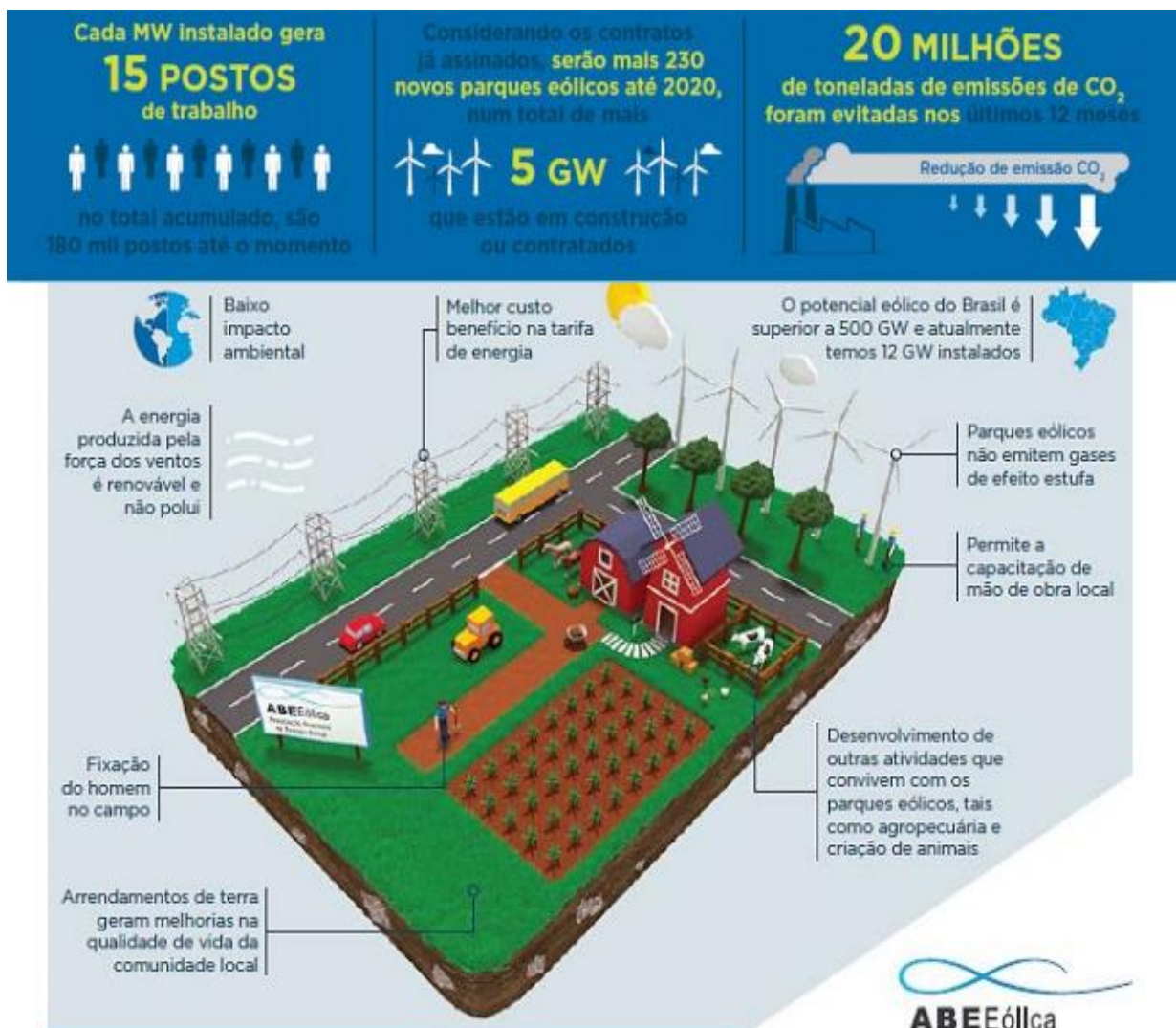
Figura 27: Estatísticas mundiais de energia da BP 2017



Fonte: Relatório BP 2017- Mostra a escala do desafio. A faixa laranja é a produção mundial de energia renovável até 2017.

No entanto, existem correntes de oposição às fontes renováveis as quais insistem no equívoco, baseado na possibilidade de um cenário hipotético, de que uma possível falta de ventos em turbinas eólicas, e sem a promessa de sol consistente para produção das fazendas solares, desencadearia um problema fundamental com a energia renovável, se toda a rede dependesse exclusivamente de recursos renováveis, a produção de energia flutuaria muito, excedendo ou debilitando a demanda e, portanto, causando enorme transtornos aos consumidores, equipamentos e falhas da rede. No entanto, como demonstrado segundo ABEEólica, (Canal Jornal Bioenergia, 2018) na Figura 28 as renováveis, a exemplo da fonte eólica, estas fontes possuem efeitos compensadores, onde a grandeza dos números fala por si, permitindo dimensionar a força dessas fontes na matriz brasileira.

Figura 28 – Contribuições da energia eólica para o Brasil



Fonte: ABEEólica, 2019.

Um dos maiores desafios no setor de energia é o armazenamento, que visa combinar os tempos entre geração e consumo de energia. Em um dia favorável à produção de energia, o sol brilha e o vento forte preenche nossa rede elétrica com energia renovável barata. Em um dia de céu cinzento e pouco vento, contaremos com o apoio da geração hídrica ou de outras fontes convencionais, a exemplo do petróleo e carvão.

Para a produção eólica, algumas técnicas ainda estão em teste, visando amenizar o seu caráter intermitente, tornando-a uma fonte com elevado grau de confiabilidade. Técnicos que atuam no setor, no entanto, estão desenvolvendo maneiras econômicas de armazenar eletricidade produzida em períodos de maior incidência de vento, para períodos em que há pouco ou nenhum vento. Atualmente, alguns parques eólicos utilizam, de forma experimental, o *armazenamento bombeado*, que consiste em utilizar a geração de eletricidade eólica para o bombeamento de grande volume de água em uma montanha, até um reservatório situado em nível mais elevado, alterando os níveis de água em dois reservatórios, usando a energia gravitacional no mais alto para alimentar uma turbina hidrelétrica através do volume de água que desce, para geração de energia em momentos de menor incidência dos ventos.

Outras ações tecnológicas, também em fase de teste, a exemplo das pesquisas com o uso de baterias em larga escala conectadas a parques eólicos individuais, que podem tornarem-se eficientes. A empresa estatal petrolífera norueguesa (Statoil), planeja instalar uma enorme bateria movida a energia eólica chamada *BatWind* na Escócia, baseadas no uso de rodas pesadas volantes de baixa fricção que armazenam energia à medida que giram. Essas e outras dessas ações estão em desenvolvimento visando a redução do caráter intermitente das renováveis.

Nesse sentido, deve-se pensar numa proposta para uma possível universalização do uso das renováveis, a qual poderá contribuir para atender grande parte da oferta de energia futura. Devemos entender, portanto, que o objetivo não é cobrir grandes extensões de terra e a paisagem e deixar o horizonte desaparecer sob dezenas de milhares de painéis solares ou grandes parques com turbinas eólicas, mas sim usar fontes renováveis de maneira inteligente. Para atender às demandas futuras, precisamos criar mais interações entre setores e sistemas geradores, deve-se, portanto, buscar reunir forças no sentido da busca da chamada “*complementariedade entre as fontes*”.

A produção aliada a seu respectivo armazenamento e a resposta à demanda, é a chave para auxiliar os sistemas de energia futuros a manter o equilíbrio à medida que ocorre o direcionamento para um consumo de energia mais centrado em fontes específicas. A solução passa então, por uma geração de energia, seja ela para aquecimento, eletricidade ou transporte totalmente interligada por meio de um armazenamento eficiente, monitorada e distribuída por medidores inteligentes e alterada por meio de deslocamento voluntário de demanda.

Em todo o mundo, iniciativas estão sendo tomadas para minimizar as emissões de carbono e os impactos da mudança climática. O aumento do uso das energias renováveis é fundamental para alcançarmos um futuro sustentável e sem grandes danos relacionados ao clima e ao meio ambiente, e é uma solução que já está sendo implementada em diferentes nações, à exemplo do caso brasileiro. Os limites para as energias renováveis não são técnicos, financeiros ou regulatórios, devem ser pensados nos limites os quais estabelecemos para nós mesmos e para as gerações futuras.

Ciente dessa necessidade de expansão das fontes renováveis e os limites decorrentes, o governo federal brasileiro vem apresentando, nas últimas décadas, iniciativas e incentivos que fomentaram a introdução de energias renováveis no mix brasileiro, dentre estas, encontramos as Legislações implementadas a partir do ano 2000, sobretudo as que tratam da implementação da cogeração de energia solar, como a Resolução Normativa nº 482/12 e 689/15 além de subsídios, como reduções de impostos e subsídios para compra de equipamentos, a abertura dos *leilões de energia*, que buscam o barateamento da energia tanto para a fonte solar fotovoltaica, como para o uso de outras fontes renováveis.

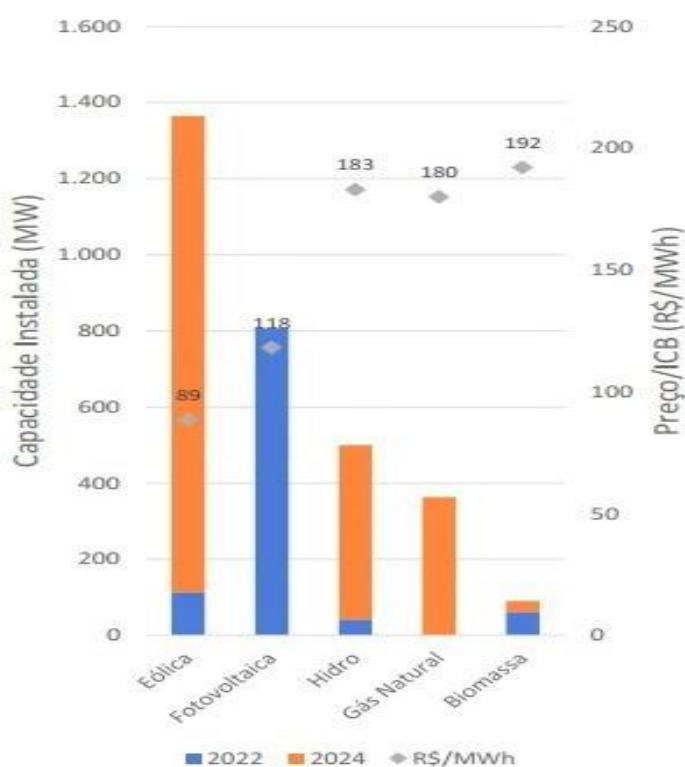
Os leilões de energia são portanto, reconhecidos como um marco na inserção das renováveis, sobretudo, através das legislações que possibilitaram a geração distribuída na matriz energética. Além disso, outros fatores também fomentaram essa inclusão, como: a necessidade de manutenção do incentivo de compensação e a parcela da tarifa correspondente aos custos de uso das redes, instituídos pela mesma legislação a partir do ano 2000.

No entanto, tal modelo não deve perpetuar-se indefinidamente, como acontece com diversos subsídios do setor elétrico. menciona-se estimativa da EPE (2016) de que os custos de instalação de painéis fotovoltaicos se reduzirão cerca de 30% até 2020 e 50% até 2030.

Conforme EPE (2019), a tendência de queda dos preços da renováveis vem sendo confirmada, quando observamos o decréscimo nos valores ofertados das diversas fontes de energia, o qual pode ser ilustrada a partir da análise dos valores finais ofertados em leilões no ano de 2018. A Figura 29 apresenta um resumo das contratações, em capacidade instalada total por fonte e preço médio da energia, no caso das hidrelétricas (contrato por quantidade), no caso das demais fontes (contrato por disponibilidade).

Figura 29 - Resultados Leilões A - 4 e A - 6 de 2018

Fonte: elaboração EPE, 2019.



A análise dos resultados dos Leilões A - 4 e A - 6 de 2018 revelam o patamar em valores por fontes contratadas, num total de 298,7MW e 835,0 MW médios respectivamente, Os preços médios de venda por produto foram R\$ 181,48x/MWh (hidrelétrica), R\$ 198,94/MWh (biomassa), R\$ 179,85/MWh (termelétrica, R\$ 67,60/MWh (eólica), e R\$ 118,07/MWh (solar fotovoltaica).

Portanto, os novos patamares de preços, já decrescentes em 2017, sendo evidenciados ainda menores em 2018, retratam que estes podem ter sido influenciadas, em parte, por situações conjunturais, tais como:

- Novas estratégias para comercialização, incluindo todos os riscos envolvidos, especialmente o de conexão e de obtenção de licença

ambiental;

- Avanços tecnológicos, especialmente relacionados a fontes energéticas ainda não consolidadas em sua plenitude (ex : solar fotovoltaica);
- Estruturas de capital menos convencionais, incluindo assumir maiores riscos e financiamento externo; e
- Alta competição entre os contratados.

A análise da Figura 30 retrata os preços de venda praticados em leilões de energia no ano de 2018 segundo EPE (2019), destacando-se as fontes Eólica e Solar Fotovoltaica e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH).

Figura 30 - Preço de venda nos leilões de energia para as fontes Eólica, Solar e PCH



Fonte: EPE, 2019

Na Figura 30 podemos observar que, no que tange aos preços, cabe destacar os valores ofertados para a fonte eólica e solar fotovoltaica. A energia fotovoltaica contratada a cerca de 31 USD/MWh e a energia eólica a 24 USD/MWh, situando-se a patamares bastante inferiores aos observados nos últimos anos no Brasil, aproximando-se dos preços praticados no país àqueles observados recentemente em leilões realizados em outros países. No caso das térmicas, especialmente

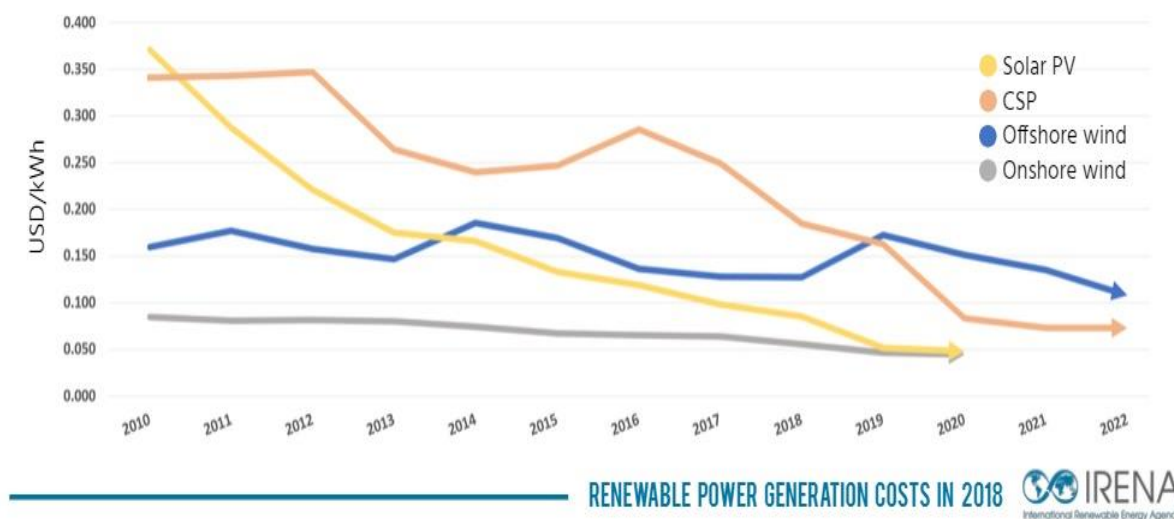
considerando gás natural, foram obtidos preços esperados ao consumidor da ordem de 47 USD/MWh, que também são bastante competitivos diante dos preços praticados em anos anteriores. (EPE, 2019).

De forma geral, a redução dos valores ofertados das fontes de energias limpas, provocaram a sua expansão, e hoje, estas representam um percentual expressivo da matriz energética nacional. Este fato é reforçado pelo número de projetos eólicos, que têm crescido constantemente ao longo dos anos, atingindo hoje cerca de 8,8% da matriz energética do Brasil, segundo dados (MME, 2019).

O número de projetos solares também está aumentando. Nos últimos dois anos, o número de projetos de energia solar cresceu 70%, e os participantes estimam que, até 2030, as fontes solares corresponderão a 10% da matriz energética, (MME, 2019). Grande parte deste crescimento, deve-se a redução dos custos das tecnologias envolvidas na geração da renováveis, principalmente solar fotovoltaica e eólica.

Segundo relatório IRENA, (2019a), a agência estima que, até 2020, a eletricidade produzida a partir da energia eólica e solar fotovoltaica seja consideravelmente mais barata do que a gerada por qualquer fonte de combustível fóssil. Essa previsão baseia-se nos dados desse relatório de onde foi extraído a Figura 29, que retrata a queda dos custos das fontes eólica onshore e offshore, além das solar na modalidade CSP e fotovoltaica.

Figura 31 - Redução dos custos das fontes renováveis



Fonte: Relatório IRENA, 2019a. A queda dos custos de energia renovável abre caminho para uma maior ambição climática. maio 2019. Acesso 16.07.19.

Ainda segundo o relatório, a maior queda no comparativo 2017-2018 foi relacionada à energia solar térmica concentrada (CSP): o custo médio global caiu 26%. Em seguida vem a bioenergia, que ficou, em média, 14% mais barata. O custo da produção gerada por painéis fotovoltaicos, por sua vez, caiu 13%, assim como aquele da produção eólica “onshore” (referente às usinas instalada em terra firme). Também foram registradas quedas no custo de produção das hidrelétricas (11%) e eólicas offshore (que ficam em alto mar, 1%) (IRENA, 2019a).

No entanto, essa queda nos custos de energia eólica terrestre e solar fotovoltaica, não ocorre de forma uniforme, o valor entre três e quatro centavos de dólar dos EUA por quilowatt / hora já são possíveis em áreas com bons recursos onde já estejam estabelecidas estruturas regulatórias e institucionais. Por exemplo, os preços de leilão para a energia solar fotovoltaica no Chile, México, Peru, Arábia Saudita e Emirados Árabes Unidos tiveram um custo nivelado de eletricidade de apenas três centavos de dólar por Kwh (US\$ 0,03 / kWh). (IRENA, 2019a).

Segundo SORJ (2018), há, no entanto, ainda algumas dificuldades a serem superadas, como financiamento sem recurso, restrições de transmissão e aumento no número de fornecedores de equipamentos, que poderiam ser resolvidos da seguinte forma:

- Apoio financeiro adequado: em 2016, em vista da recente desaceleração que afetou a capacidade de financiamento dos bancos nacionais de desenvolvimento e da economia brasileira, em geral, os empreendedores enfrentam dificuldades e dificuldades, enquanto recorrem ao BNDES para financiamento. Além disso, tendo em vista a estrutura comercial adotada para projetos de energia do fundo no país, é possível verificar que o Brasil ainda carece de financiamento através de estruturas de financiamento de projetos puros.
- Restrições de transmissão: restrições de transmissão ou falta de capacidade de transmissão impedem o desenvolvimento de usinas de energia em geral, vários projetos de energia eólica não puderam iniciar suas operações comerciais devido ao fato de algumas empresas de transmissão não terem construído instalações de conexão. No entanto, os projetos que enfrentam ‘restrições de transmissão estão agora expressamente isentos de passivos relacionados a penalidades regulatórias ou contratuais.
- Emissões de gases de efeito estufa: como solução pode-se sugerir a implantação de taxas de emissão ou limites de poluição total, de forma individualizada

para cada país, com permissões de emissão para atividades comercializáveis, são exemplos de maneiras que poderíamos usar para ajudar a remover essa barreira.

- Fornecedores de equipamentos: os governos federal e estadual ainda precisam desenvolver mecanismos para atrair fornecedores de equipamentos de energia para o Brasil. Por exemplo, temos um mercado de painéis fotovoltaicos incipientes que poderia ajudar a reduzir o preço da energia solar no país. (SORJ, 2018).

Os impactos decorrentes do uso de fontes limpas, quando analisados do ponto de vista econômico e ambiental, convergem para a análise do rápido crescimento da produção destas, aliada às pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias as quais pautadas em elevados padrões de qualidade que estimulem a competição entre as fontes alternativas e convencionais nacional, barateando no longo prazo, o preço da energia no país.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos decorrentes do uso de fontes limpas, quando analisados do ponto de vista econômico e ambiental, convergem para a análise do rápido crescimento da produção de energia derivado destas. As pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias as quais devem ser pautadas em elevados padrões de qualidade que estimulem a competição entre as fontes alternativas e convencionais nacional, barateando no longo prazo, o preço da energia no país.

O estudo realizado pelo presente trabalho buscou traçar um panorama através da análise dos dados primários extraídos de agências nacionais, regionais e mundiais de fontes de energia, sejam estas oficiais ou entidades de representação, visando aumentar a consistência das informações coletadas e do trabalho como um todo.

As conclusões aqui apresentadas decorrem da análise dos principais desafios das políticas energéticas no Brasil, tais como a de garantir a oferta contínua de energia sem perder o foco, do que já se encontra historicamente estabelecido, o uso de tecnologias limpas; a busca pela diversificação da matriz energética para reduzir riscos decorrentes impostos pelas limitações das reservas fósseis e importações de energia de países vizinhos; a promoção da diversificação das fontes de geração; a busca pela diversificação dos riscos hidrológicos, que possam comprometer a nossa maior fonte de geração, a hidroelétrica; Contribuir para o desenvolvimento

sustentável; provocar o desenvolvimento de um ambiente competitivo de forma a proteger o consumidor de energia; buscar a expansão das redes de transmissão e distribuição para integração das novas fontes com as já estabelecidas; provocar a expansão das Fontes Renováveis, através de Leis e incentivos destinados à Cogeração e complementariedade.

No quesito Leis e incentivos, destaca-se a ação da abertura dos Leilões de venda de energia decorrentes das bases instituídas pela cogeração, com ênfase na questão dos custos e seus impactos reais na consolidação das renováveis, os quais permitem a análise de diversas variáveis econômicas, dentre estas, os valores projetados para atendimento dos leilões de energia, observando-se segundo EPE (2019), os elementos mais relevantes a serem destacados nas experiências desses Leilões no ano de 2018, com vistas à um planejamento da expansão do uso desta fontes, quais são:

- Os custos das diferentes fontes/tecnologias, com destaque para a eólica e os preços obtidos nos empreendimentos solares fotovoltaicos;
- A diversidade de recursos renováveis no país e sua complementariedade de produção, é importante estudar a participação de uma variedade de diferentes de projetos. A participação de projetos “híbridos”, a exemplo da solar e eólica;
- O uso de novas tecnologias, a exemplo da eólica offshore pode ser uma realidade nos próximos anos;
- Mudança nas regras de comercialização de energia elétrica previstas para o ano de 2019; e
- Apoiar e estimular as distintas características de projetos dentro de uma ótica de interesse econômico.

Da análise dos dados levantados, retiram-se algumas conclusões sobre os indicadores atuais, tais como: o fato de que a expansão das fontes renováveis tende a ser uma realidade num futuro próximo, justificada esta, quando analisados por exemplo, dados sobre a redução dos custos destas fontes. O custo de implantação da geração solar pode chegar a 50 vezes o custo de uma pequena central hidrelétrica, entretanto o custo da energia gerada durante a vida útil do sistema, de aproximadamente 30 anos, mostra-se 10 vezes maior. Com a redução anual do custo dos sistemas solares e a valoração dos custos ambientais e sociais da geração centralizada, o sistema solar tende a se tornar economicamente competitivo a curto prazo.

O Brasil, apesar de ainda apresentar tímida participação no mercado eólico mundial, teve crescimento significativo em sua capacidade instalada na última década decorrentes dos Incentivos governamentais destinados ao setor, que lograram êxito em aumentar a participação eólica na matriz elétrica brasileira. A fonte eólica, por meio dos leilões de energia, vem aumentando sua participação na matriz elétrica nacional de forma consistente, com crescente expansão de novos investimentos em plantas eólicas de grande porte, apesar dos seus altos custos de implementação.

Os novos objetivos para minimizar tais impactos, portanto, passam por uma discussão sobre a cadeia produtiva destas fontes na matriz brasileira, com o incremento dos incentivos governamentais e mitigação dos efeitos porventura causados ao ecossistema onde são inseridos, sobretudo, os incidentes no meio ambiente.

Conclui-se que, da avaliação dos benefícios e impactos decorrentes da inserção das renováveis na matriz energética brasileira, são urgentes e necessárias a adoção de soluções que priorizem o uso de novas tecnologias favoráveis às fontes renováveis dentro de um desenvolvimento sustentável do setor e um contexto de mudanças e novas perspectivas para a utilização de fontes renováveis de energia na matriz energética nacional.

8 REFERÊNCIAS

ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Geração Distribuída Solar Fotovoltaica**. Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE. Rio de Janeiro, 2016.

ADEME - Agência Ambiental e Domínio da Energia. 2015 Disponível em: <https://reporterre.net/IMG/pdf/pap4_-_ademe_-_impacts-environnementaux-eolien-francais-2015.pdf>. Acesso 22 /07/2019

ANEEL - **Geração distribuída Brasil ultrapassa marca de 1gw em geração distribuída regulamentos da agência possibilitaram avanço da geração distribuída**, junho de 2019.

BOURILLON, C. Wind Energy - Clean Power for **Generations Renewable Energy** 16, 1-4, Jan 1999: 948-953.

BANDEIRA, F. P. M. O aproveitamento da energia solar no Brasil – **situação e perspectivas**. Brasília. Câmara dos Deputados. 2012.

Canal Jornal Bioenergia - **Eólica já é a segunda fonte da matriz elétrica brasileira com 15 GW de capacidade instalada**, junho de 2018 .Disponível em :<<http://www.canalbioenergia.com.br/eolica-ja-e-a-segunda-fonte-da-matriz-eletrica-brasileira-com-15-gw-de-capacidade-instalada/>>. Acesso em 25/06/2019.

DEWI - Deutsches Windenergie Institut. Environmental **Aspects and Acceptance of Wind Energy**. Wilhelmshavenm, Eldorado Summer School. 1996

EPA - Agência de Proteção Ambiental EUA Energias Renováveis em Sítios de Mineração. junho de 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética **O compromisso do Brasil no combate às mudanças climáticas: Produção e Uso da Energia**. Rio de Janeiro, junho/2016.

EPE - Empresa Pesquisa de Energética. **Balanco Energético Nacional – BEN 2019** - Ministério de Minas e Energia – MME.

Disponível em : <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>> . Acesso 21/06/2019.

ESA - Energy Storage Association, 2019. **Unleashing the Power of Energy Storage**. Disponível em <<http://energystorage.org/energy-storage>>. Acesso em15/07/2019.

EWEA - European Wind Energy Association. **Wind Energy - The Facts**

Environment, Vol. 4. 2000d. Disponível na internet via <http://www.ewea.org> (consultado em 18/05/2019).

GIANNINI, Marcio Pereira, FARIAS, Cristiane Camacho, FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos, SILVA, Neilton Fidelis da, **The renewable energy market in Brazil: Current status and potential**, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 16, Issue 6, 2012, Pages 3786-3802, ISSN 1364-0321, disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.024>>.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112002079>)

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

IPCC, 2011: **I Relatório Especial do PCC sobre Fontes de Energia Renováveis e Mitigação das Mudanças Climáticas**. Preparado pelo Grupo de Trabalho III do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NY, EUA, 1075 pp. (Capítulos 7 e 9).

IPCC, 2019: **Relatório Especial do PCC sobre Fontes de Energia Renováveis e Mitigação das Mudanças Climáticas**. Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, junho de 2019.

IRENA, **Renewable capacity highlights**, 31 March 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE_capacity_highlights_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F>. Acesso em 10/06/2019.

IRENA, 2019a **Falling Renewable Power Costs Open Door to Greater Climate Ambition**. Disponível em: <<https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2019/May/Falling-Renewable-Power-Costs-Open-Door-to-Greater-Climate-Ambition>>. Acesso em 16/07/2019.

IRENA, 2019b. **Renewable Energy and Jobs Annual Review 2019**. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2019/Jun/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2019>>. Acesso em 25/06/2019.

IRENA, 2018 **Renewable power generation costs in 2018**. Disponível em: <https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf>. Acesso em 14/05/2019

Michel, J.; H; Chato, C; Healy, E .; Evans, W .; Dean, J; McGillis, A .; Hain, J. 2007. **Síntese e Análise Mundial das Informações Existentes sobre os Efeitos Ambientais de Usos de Energia Alternativa na Plataforma Continental Exterior** . MMS 2007-038. Preparado por Research Planning e ICF International.

Ministério de Minas e Energia – MME, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético - Panorama no Brasil, junho de 2019.

Ministério de Minas e Energia - MME, Departamento de Informações e Estudos Energéticos - SPE/MME, Balanço Mensal de Energia, julho de 2017.

Ministério de Minas e Energia – MME, 2016. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>. Acesso em 10/05/2019.

NREL - Laboratório Nacional de Energia Renovável 2012. **Estudo de Futuros de Eletricidade Renovável** . Mão, MM; Baldwin, S .; DeMeo, E .; Reilly, JM; Mai, T; Arent, D .; Porro, G; Meshek, M; Sandor, D. eds. 4 vols. NREL / TP-6A20-52409. Golden, CO: Laboratório Nacional de Energia Renovável.

NREL - Laboratório Nacional de Energias Renováveis. 2012. Estudo de Futuros de Eletricidade Renovável.

Oil Change International. Banking on Climate Change 2019: Fossil Fuel Finance Report Card. 2019. Disponível em :<<http://priceofoil.org/2019/03/20/banking-on-climate-change-report-card-2019/>>. Acesso 14/06/2019.

Portal Energia - **A verdade sobre a morte de aves por colisão com turbinas eólicas**. 27.01.2019 Disponível em <https://www.portal-energia.com/verdade-sobre-morte-de-aves-por-colisao-com-turbinas-eolicas/>. Acesso em 10/06/2019.

REN21, Renewables. Global Status Report A Comprehensive Annual Overview of The State of Renewable Energy. Disponível em :<<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso 03 jul.2019.

SORJ, Pablo. The Renewable Energy Law Review - 1st Edition – Brasil, 2018. Disponível em <<https://thelawreviews.co.uk/>>. Acesso 08/07/2019.

TERCIOTE, Ricardo. **A energia eólica e o meio ambiente** . In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Proceedings online ... Disponível em:<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000>

0022002000100002&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 13/07/2019

The New York Times - **19 Countries Vowed to Phase Out Coal. But They Don't Use Much Coal.** junho 2017. Disponível em <<https://www.nytimes.com/interactive/2017/11/16/climate/alliance-phase-out-coal.html>>. Acesso em 25/06/2019.