



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**JEAN CHARLES MELLO DE MESQUITA**

**ESTUDO SOBRE A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA MATRIZ ELÉTRICA**  
**BRASILEIRA**

**FORTALEZA**

**2022**

JEAN CHARLES MELLO DE MESQUITA

ESTUDO SOBRE A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, com requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro em Engenharia de Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO NIVALDO AGUIAR FREIRE

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M544e Mesquita, Jean Charles de.  
Estudo sobre a transição energética na matriz elétrica brasileira / Jean Charles de Mesquita. – 2022.  
65 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire.
1. Transição energética. 2. Matriz elétrica. 3. Energia renovável. I. Título.

CDD 621.042

---

Jean Charles Mello de Mesquita

ESTUDO SOBRE A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, com requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro em Engenharia de Energias Renováveis.

Aprovada em:    /    /

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. FRANCISCO NIVALDO AGUIAR FREIRE (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. ANA FABÍOLA LEITE ALMEIDA  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. CARLA FREITAS DE ANDRADE  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Jeanne e Charles

A minha namorada, Carol

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradecer aos meus pais, que sempre me mostraram os novos caminhos que eu poderia seguir e me possibilitaram oportunidades únicas de me desenvolver e aprender.

Ao meu orientador Francisco Nivaldo Aguiar Freire que permitiu e concordou com a elaboração desse trabalho com um tema escolhido por mim.

A minha namorada Carol, que sempre me incentivou a “ir mais longe” através da minha capacidade e dedicação, com muito apoio e carinho.

A minha família, que sempre foi entusiasta com as minhas escolhas.

Aos meus amigos que dividiram e vivenciaram comigo as alegrias e preocupações, desafios e conquistas e sempre me disseram que eu era capaz.

A todos os professores do Curso de Engenharia de Energias Renováveis da UFC que se mostraram, antes de tudo, exemplos de educação e respeito comigo.

“Conhecendo tanto a derrota quanto a vitória,  
andando por aí derramando lágrimas, é assim  
que você se torna um verdadeiro homem...”  
(Eiichiro Oda)

## RESUMO

O Brasil possui atualmente uma matriz elétrica com 84,8 % da energia sendo proveniente de fontes renováveis, em especial as fontes hídricas. Essa forte dependência de fontes hídricas torna o país suscetível a flutuações na participação de energia renováveis e a crises de abastecimento, existindo em alguns anos a ameaça de um racionamento de energia. Como resposta a essas crises, o Governo Federal tem investido em aumentar a presença de energias renováveis nos leilões de energia nova, em especial a Energia Eólica, a Energia Solar e Geração a Partir de Biomassa, além de buscar regulamentar e dar maior segurança jurídica a Geração Distribuída, importante setor para a entrada de energias renováveis na geração de energia elétrica. Há, por parte do setor elétrico, a inclusão da transição energética no Plano Nacional de Energia 2050, um documento importante que trás as diretrizes, recomendações e dados de apoio para a tomada de decisões sobre todo o sistema energético nacional a curto e longo prazo. A transição energética da matriz elétrica brasileira é definida pelo Plano Nacional de Energia 2050 como sendo uma combinação de participação majoritária das fontes renováveis na matriz com nível de emissões de gases de efeito estufa próxima de 0%. Este trabalho, é uma pesquisa bibliográfica quantitativa, que tem como objetivo apresentar um estudo do panorama geral da transição energética e a diversificação da matriz na rede elétrica brasileira. Pode-se observar, que há no Brasil uma tendência natural de desenvolvimento das fontes de energia renováveis, sendo presente, ainda que incipientes, iniciativas para o avanço da transição energética. Por fim, se observa que o elevado potencial de geração de energia por fontes renováveis do Brasil torna possível, no futuro, ter-se uma matriz elétrica que seja 100% renovável ou que pelo menos possua um grau de emissões próximo de zero, sendo necessário para isso investimento, empenho e planejamento para que se possa aliar o crescimento econômico com sustentabilidade e qualidade de vida.

**Palavras – Chave:** Transição Energética. Matriz Elétrica. Energia Renovável.

## ABSTRACT

Brazil possesses an electric matrix with 84,8 % of the energy coming from renewable sources, especially the hydric one. This strong dependency in hydric sources makes the country susceptible to fluctuations in the renewable energy participation and supply crises, existing in some years the treat of energy rationing. As an answer to these crises, the Federal Government is investing in increasing the renewable energy presence on new energy auctions, especially Eolic Energy, Solar Energy and Energy Generated through Biomass, besides searching to regulate and give better legal security to the Distributed Generation, an important sector to the renewable energy entry in the electric energy generation. There is, on the energy sector part, the inclusion of energy transition on the National Energy Plan 2050, an important document that brings guidelines, recommendations and support data for the decision making about all the national energy system in the short and long term. The energy transition of the Brazilian electric matrix is defined by the National Energy Plan 2050 as being a combination of majority renewable energy participation in the matrix with greenhouse gas emissions being near 0%. This work is bibliographic quantitative research, that has as goal report a study of the general outlook of the energy transition and the energy matrix diversification in the Brazilian electric network. It is noticeable, that there is in Brazil a natural tendency to the development of renewable energy sources, being present, although incipient, initiatives for the energy transition advance. This work has as its goal to present an analysis about the overview in the energy transition and diversification on the Brazilian electric matrix Finally, it is noted that the high energy generation potential for renewable energies makes possible for Brazil, in the future, to have an 100% renewable electric matrix or one, that at least, has greenhouse emissions near zero, being necessary for this, investments, efforts and planning to make possible associate economic growth with sustainability and life quality.

**Keywords:** Energy Transition. Electric Matrix. Renewable Energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura Institucional do Sistema Elétrico Nacional .....	25
Figura 2 – Base da Transição Energética .....	41
Figura 3 – Estimativa de irradiação solar média .....	55
Figura 4 – Insumos e tecnologias para a produção de Biomassa .....	61

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo Total de Energia no Planeta por Fonte (1973-2018) .....	15
Gráfico 2 – Consumo Total de Energia Elétrica (1973-2018) .....	15
Gráfico 3 – Matriz Energética Brasileira.....	19
Gráfico 4 – Participação das fontes renováveis na oferta interna de energia.....	20
Gráfico 5 – Matriz elétrica brasileira .....	20
Gráfico 6 – Participação das fontes renováveis na matriz elétrica .....	21
Gráfico 7 – Expansão 100% renovável x Expansão com Restrições .....	48
Gráfico 8 – Análise VPL do Custo Total da Geração Centralizada .....	49
Gráfico 9 – Empreendimentos Outorgados ou em Implantação em MW (04/2021) .....	50
Gráfico 10– Evolução da Geração Eólica .....	53
Gráfico 11 – Evolução da expansão da Fonte Eólica .....	53
Gráfico 12– Geração Distribuída Total em GWH .....	56
Gráfico 13– Participação de cada fonte na geração distribuída .....	57
Gráfico 14– Expansão da Energia Solar Fotovoltaica Centralizada .....	58
Gráfico 15– Participação de cada fonte na geração termelétrica 2020 .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração de Energia Elétrica por Fonte .....	22
Tabela 2 – Capacidade Instalada em MW .....	22
Tabela 3 – Potencial Eólico dos Atlas Estaduais .....	51
Tabela 4 – Potencial Eólico Offshore Total .....	52
Tabela 5 – Capacidade Instalada em MW de Mini e Microgeração Distribuídas .....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	International Energy Agency
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
MTEP	Milhões de Toneladas Equivalente de Petróleo
KW	Quilowatt-Hora
TW	Terawatt-Hora
GW	Gigawatt-Hora
MW	Megawatt-Hora
KV	Quilo-Volt
MME	Ministério de Minas e Energias
ONS	Operador Nacional do Sistema
SIN	Sistema Integrado Nacional
PNE	Plano Nacional de Energia
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
WEF	World Economic Forum
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CCEE	Câmara de Comercialização da Energia Elétrica
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ACL	Ambiente de Contratação Livre
CCEAR	Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado
PROINFA	Programa de Incentivo as Fontes Alternativas
UHE	Usina Hidrelétrica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>ORGANIZAÇÃO DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NACIONAL ...</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>FUNCIONAMENTO DOS SETORES CHAVE NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA .....</b>	<b>29</b>
<b>6.1</b>	<b>Modelos de Contratação de Energia .....</b>	<b>31</b>
<b>6.2</b>	<b>Modelos de Leilão de Energia .....</b>	<b>33</b>
<b>6.3</b>	<b>Micro e Mini Geração Distribuídas .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>POLÍTICAS NACIONAIS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA .....</b>	<b>39</b>
<b>7.1</b>	<b>Plano Nacional de Energia 2050 .....</b>	<b>40</b>
<b>7.2</b>	<b>Cenários para a transição a uma matriz elétrica não emissora .....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>POTENCIAL DE GERAÇÃO EÓLICA, SOLAR E POR BIOMASSA NACIONAL.....</b>	<b>49</b>
<b>8.1</b>	<b>Energia Eólica .....</b>	<b>50</b>
<b>8.2</b>	<b>Energia Solar .....</b>	<b>54</b>
<b>8.3</b>	<b>Biomassa .....</b>	<b>59</b>
<b>9</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

## 1 Introdução

A energia é uma das forças motrizes da humanidade. O desenvolvimento humano e os avanços nas sociedades costumam ser ligados a aumentos na qualidade da energia, na sua distribuição e na sua transição para fontes que tenham melhor rendimento, maiores aplicações e maior custo-benefício. Sociedades modernas usam muitas formas de energia para satisfazer vários usos finais (VACLAV SMIL, 2010).

A transição energética, é definida por Vaclav Smil (2010), como um termo utilizado para descrever mudanças na estrutura e composição das fontes de um sistema de energia. A transição energética é, portanto, um termo associado a mudanças amplas nas bases energéticas de um sistema e não em mudanças individuais ou tecnológicas em uma fonte específica.

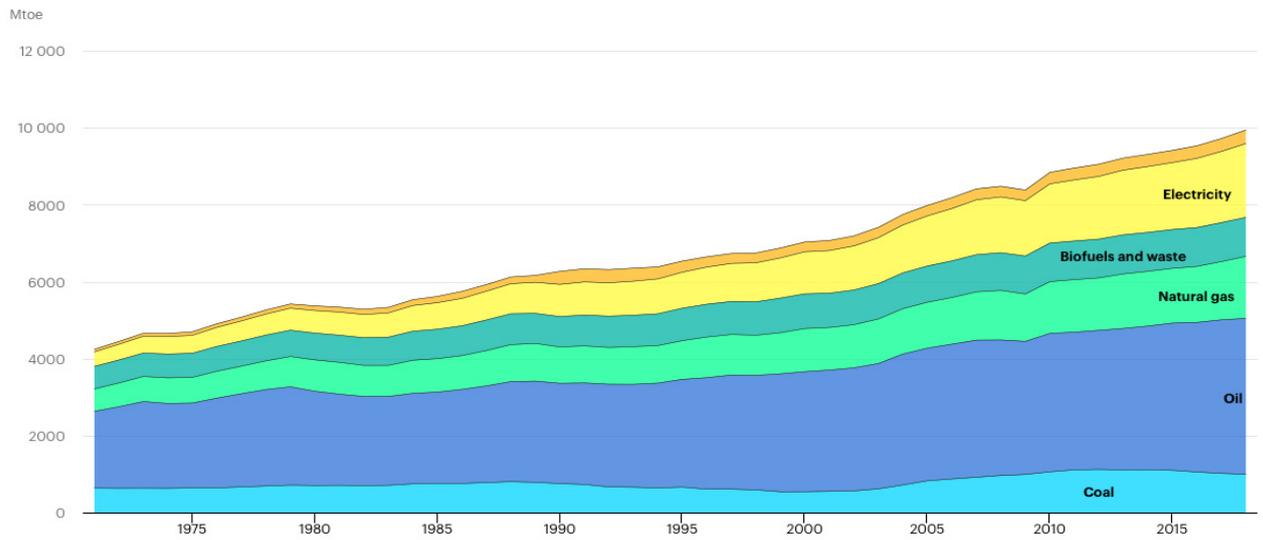
O processo de transição energética tem uma demora natural, uma demora associada a dificuldade de adaptação tecnológica, resistência aos novos sistemas, pouca oferta, políticas de energia e demandas sociais. As transições energéticas tendem a ser aceleradas ou freadas em conjunto com as demandas e necessidades de cada período e de cada país.

Um exemplo de transição energética, foi descrito por Grubler et al. (2016) como a transição no uso de biomassa tradicional e outras fontes renováveis diretas (vento, água e força muscular) para um uso industrial, caracterizado pela mecanização (vapor) e o uso de carvão. É importante diferenciar, que a transição energética não termina excluindo uma fonte de forma total da matriz, o que ocorre é que seu nível de participação tende a ser gradualmente suplantado por outra até seus níveis de uso se tornarem bem menores do que o original.

Se torna válido avaliar a transição energética também de maneira específica para determinados setores da economia, como por exemplo o setor elétrico e o de transportes, pois a transição pode ser mais acelerada ou mais lenta de um setor para o outro.

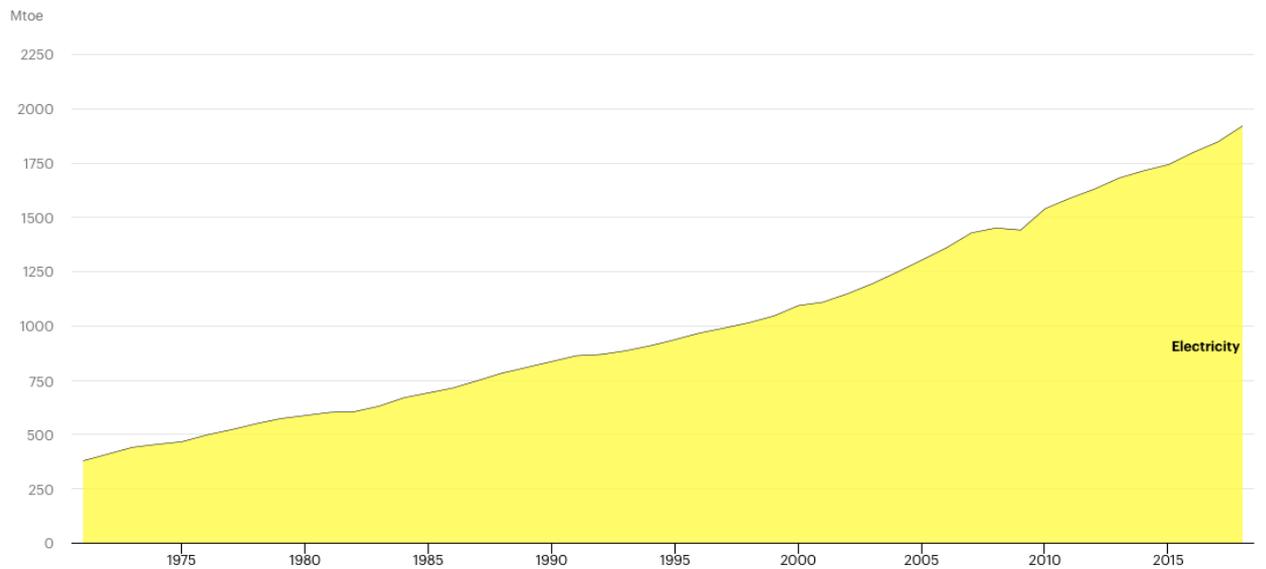
A energia elétrica é responsável por uma boa parte do consumo e dos investimentos em pesquisa, sendo parte inerente da vida das sociedades modernas. O consumo de energia elétrica tem crescido mais rápido que o consumo de energia no geral, o que significa que a eletricidade possui uma fatia cada vez maior no consumo global de energia (VINCENT PETIT, 2019). Segundo a International Energy Agency, a participação da energia elétrica vem sendo cada vez maior no consumo total de energia, tendo crescido continuamente ao longo dos anos (gráfico 1), o consumo total de energia elétrica no mundo praticamente dobrou nos últimos 20 anos, pulando de mais ou menos 377,1 TEP em 1971 para algo em torno de 1818,8 TEP em 2018 (gráfico 2).

Gráfico 1: Consumo Total de Energia no Planeta por Fonte (1973-2018)



Fonte: IEA Data Overview (2020)

Gráfico 2: Consumo Total de Energia Elétrica (1973-2018)



Fonte: IEA Data Overview (2020)

O consumo de energia elétrica acompanha as demandas sociais e de desenvolvimento dos países. O Brasil está classificado como um país em desenvolvimento, segundo o World Economic Outlook – Organização das Nações Unidas (2020), com base no seu índice de desenvolvimento humano, vulnerabilidade econômica e renda per capita, portanto é um país que ainda está em processo de desenvolvimento de sua economia e capital social/humano. Os países em desenvolvimento possuem uma demanda de energia elevada durante o seu crescimento econômico, exemplificado pela alta demanda energética da China.

As mudanças climáticas e os consequentes acordos assinados para a diminuição do impacto humano no aquecimento do planeta podem agir como um estímulo a aceleração da transição energética, pois o aquecimento global é um efeito das emissões de gases do efeito estufa, muitas dessas emissões associadas a geração de energia elétrica a partir de fontes tradicionais de energia.

A International Renewable Energy Agency classifica a atual transição energética como uma transformação gradual do setor atual de energia baseado em combustíveis fósseis para uma energia baseada no modelo zero-carbono até a segunda metade do século. Cabe aos países em desenvolvimento associar o crescimento econômico e social com suas novas demandas energéticas. Fazer o crescimento econômico de maneira associada com uma transição energética com base em energias renováveis e limpas auxilia estes países a cumprirem os acordos assinados de diminuição de emissões, como o Acordo de Paris, e os auxilia a evitarem custos futuros com problemas ligados ao clima.

O World Economic Forum (WEF 2020) descreve a transição energética para um modelo de zero carbono e de energia renováveis, como uma transição pautadas em três pilares: incremento na eficiência energética, desenvolvimento de energias alternativas e de baixo teor de carbono e a captura das emissões inevitáveis. O WEF 2020, também ressalta que os setores relacionados a entrada e comercialização de energia podem agir como motores, para uma aceleração no processo total de transição energética, por serem os setores que envolvem um maior capital político e financeiro, nas diferentes nações.

O Brasil é um país em desenvolvimento com boas perspectivas para a transição energética, tendo um bom potencial de geração, relativa capacidade tecnológica e uma matriz já mais diversificada. Cabe ao Brasil aliar seus potenciais com políticas e práticas que mantenham o incentivo e a aceitação de novas fontes energéticas.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é fazer um estudo sobre a transição energética no Brasil com foco na transição na energia elétrica e a diversificação na matriz elétrica brasileira.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Foi relatado o estágio atual de transição energética no setor elétrico brasileiro
- Foi descrito o funcionamento de setores chaves do setor elétrico nacional para a transição energética
  - Foram enumeradas as políticas nacionais de desenvolvimento energético para a transição energética na matriz elétrica
  - Foi relatado o potencial de geração do Brasil com relação a fontes de energias renováveis, seu potencial, presença atual e desafios futuros.

### 3 Metodologia

Foi utilizado o método de pesquisa bibliográfica, com a finalidade de estudar a transição energética no Brasil no setor de energia elétrica, através de um estudo das suas definições, aplicações e estágio atual de desenvolvimento, partindo de uma revisão bibliográfica composta por publicações sobre o tema, trabalhos acadêmicos, artigos, livros e afins, documentos e dados governamentais, que foram aqui selecionados. A finalidade é traçar um retrato, de como têm se desenvolvido e pode se desenvolver a transição energética na matriz elétrica brasileira.

Para isso, foi realizada uma coletânea de dados e séries históricas no que diz respeito aos dados de capacidade instalada, geração e consumo de energia elétrica no ambiente nacional.

Dados relacionados a organização do setor elétrico nacional, o funcionamento dos setores chave para a transição energética, modelos de contratação de energia, leilão e micro e minigeração distribuída também foram abordados no intuito de apresentar a estrutura atual do setor elétrico e o modo o qual este setor opera quando visto sob o ponto de vista da transição energética.

Também foi levado em consideração as políticas nacionais para a transição energética, como ela se desenvolve nos planos nacionais de energia e os cenários para a transição energética no cenário mais viável economicamente.

Por fim, o potencial de geração de energia das fontes eólica, solar e de biomassa foi relatado, levando-se em consideração não apenas o seu potencial em si, mas os desafios e necessidades para que a expansão de geração dessas fontes seja potencializada.

O estudo terá caráter essencialmente quantitativo, com ênfase na observação e estudo documental, com respeito a toda a pesquisa bibliográfica já feita.

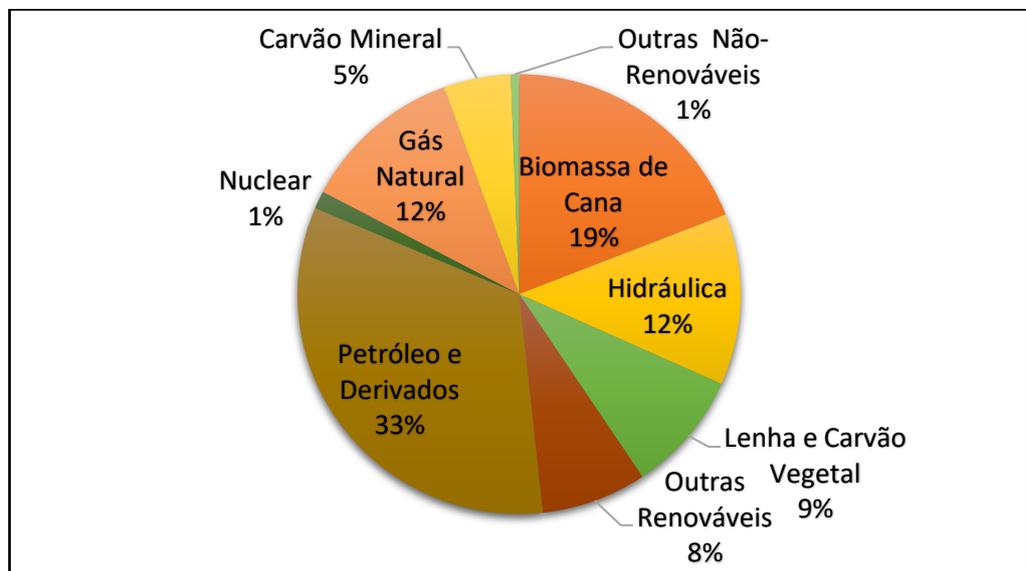
#### 4 Panorama Energético Nacional

O primeiro passo para uma análise do estágio de transição energética no setor elétrico no Brasil é avaliar o estágio atual da matriz energética brasileira, da matriz elétrica e as características de geração e oferta.

A matriz energética Brasileira, como um todo, apresenta forte participação de fontes renováveis. Levando em conta a matriz energética mundial, conforme dados da IEA 2018, somente 2% da energia produzida provém de fontes renováveis e segundo os dados da EPE, com relação ao ano de 2020, 48,4% da energia produzida no Brasil era proveniente de fontes renováveis.

A matriz energética brasileira (gráfico 3) está dividida entre 48,4% provenientes de fontes renováveis e 51,6% provenientes de fontes não renováveis. Com relação as fontes renováveis o maior percentual é o da biomassa de cana (19,1%) seguido da energia hidráulica (12,6%), já nas fontes não renováveis o maior percentual é o de petróleo e derivados (33,1%) seguido do gás natural (11,8%).

Gráfico 3: Matriz Energética Brasileira



Fonte: Autoria Própria com base nos dados do BEN 2021 (2021)

A série recente de participação das energias renováveis na oferta interna de energia (gráfico 4) demonstra a tendência de crescimento na participação por fontes renováveis, com a série possuindo crescimento quase constante, em 2011 a participação era de 43,6% e em 2020 de 48,4%.

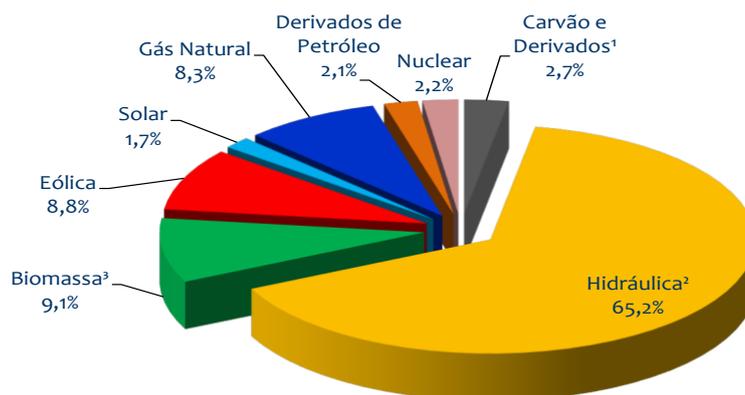
Gráfico 4: Participação das fontes renováveis na oferta interna de energia



Fonte: BEN 2021 (2021)

Já a matriz elétrica brasileira (gráfico 5), possui 65,2% de sua geração proveniente da energia hidráulica, com 9,1% proveniente de biomassa, 8,8% proveniente da energia eólica e 1,7% da energia solar, com o restante proveniente de fontes não renováveis de energia como petróleo, gás natural, carvão e energia nuclear. Portanto, na matriz elétrica brasileira, a participação de energia renovável corresponde a 84,8%, valor bastante superior a participação das energias renováveis na matriz elétrica mundial, colocado pela IEA como sendo 23% no ano de 2018.

Gráfico 5: Matriz elétrica brasileira



Fonte: BEN 2021 (2021)

A série recente da participação das energias renováveis na matriz elétrica (gráfico 6) mostra como essa porcentagem elevada da fonte hidráulica afeta a produção anual de energia e as características da matriz, pois a dependência das chuvas sazonais para a manutenção dos

reservatórios faz com que períodos de seca correspondam a quedas na participação das fontes renováveis na matriz, já que o modelo brasileiro costuma compensar deficiências na produção de energia com o acionamento de termelétricas tradicionais.

Gráfico 6: Participação das fontes renováveis na matriz elétrica



Fonte: BEN 2021 (2021)

A localização dos reservatórios hidrelétricos também é um ponto relevante quanto a queda da participação das energias renováveis na matriz elétrica, pois como exemplificado no gráfico acima, a participação sofreu queda significativa de 2012 a 2015, um período, em que segundo o INPE, houve seca na região sudeste do país.

Conforme dados do BEN 2021, tendo como ano base 2020, a oferta de energia interna foi de 287,6 Mtep, registrando uma queda de 2,2% com relação ao ano base anterior (2019), essa oferta menor de energia interna é decorrente de uma ramificação da pandemia do coronavírus onde houve flutuação na disponibilidade de certas fontes, menor consumo em diversos setores e do começo de uma crise hídrica, que deve se intensificar durante o ano de 2021.

A oferta de energia interna no setor elétrico sofreu um recuo, ficando em 645,9 TWh, uma queda de -0,8% em relação ao ano base 2019. Com relação aos tipos específicos, a geração hidráulica reduziu 0,4%, acompanhando diminuição de importações e menor oferta hídrica. Nas demais fontes renováveis houve um aumento, com a geração eólica atingindo 57 GWh - crescimento de 1,9%. A geração solar atingiu 10,7 GWh (geração centralizada e distribuída), o que representou um avanço de 61,5% em relação ao ano anterior. Com isso, a participação de fontes renováveis na matriz elétrica atingiu 84,8% em 2020.

Tabela 1: Geração de Energia Elétrica por Fonte

Fonte	2019	2020	
Hidrelétrica	397.877	396.327	-0,4%
Gás Natural	60.448	53.464	-11,6%
Eólica	55.986	57.051	1,9%
Biomassa <sup>2</sup>	52.543	56.167	6,9%
Nuclear	16.129	14.053	-12,9%
Carvão Vapor	15.327	11.946	-22,1%
Derivados do Petróleo <sup>3</sup>	6.926	7.745	11,8%
Solar Fotovoltaica	6.655	10.750	61,5%
Outras <sup>4</sup>	14.438	13.696	-5,1%
<b>Geração Total</b>	<b>626.328</b>	<b>621.198</b>	<b>-0,8%</b>

Fonte: BEN 2021 (2021)

A capacidade instalada total, se manteve crescendo, ainda que talvez em um ritmo menos acelerado do que o ritmo anterior a pandemia, com todas as fontes mostrando crescimento percentual no comparativo 2019/2020, com exceção da energia nuclear, cujo incremento na capacidade demanda iniciativa federal em larga escala.

Tabela 2: Capacidade Instalada em MW

Fonte	2019	2020	
Hidrelétrica	109.058	109.271	0,2%
Térmica <sup>2</sup>	41.219	43.057	4,5%
Eólica	15.378	17.131	11,4%
Solar	2.473	3.287	32,9%
Nuclear	1.990	1.990	0,0%
Capacidade disponível	170.118	174.737	2,7%

Fonte: BEN 2021 (2021)

A tendência de retomada gradual da economia deve retornar o padrão de crescimento da oferta de energia interna, o maior agravante no momento a retomada deste padrão é a ocorrência de nova crise hídrica, com o governo federal através do Ministério de Minas e Energias já realizando até mesmo campanhas sobre o uso consciente, tentando evitar um racionamento de energia e acelerando os leilões de energia nova para expansão na oferta de energia elétrica.

## **5 Organização do Setor de Energia Elétrica Nacional**

O setor elétrico no País, é organizado a partir de um modelo composto de quatro segmentos base: Geração, Transmissão, Distribuição e Comercialização. Cada um dos segmentos tem participantes específicos, funções e regulações

A Geração, é o segmento que engloba o processo de geração de energia para o país, o número de participantes nesse setor é mais variado, pois engloba geradores públicos, geradores privados, autoprodutores e produtores independentes, é um segmento com um nível de regulação mais variável, pois depende de cada modalidade de geração.

A Transmissão, é o segmento que engloba o transporte de energia, composto do transporte do centro de geração ao ponto de distribuição e/ou consumo, participam desse segmento as empresas públicas ou privadas que detenham os lotes de transmissão e o seu nível de regulamentação é bem estruturado.

A Distribuição, é o segmento responsável pela diminuição da tensão elétrica e a sua chegada ao consumidor final, as concessionárias de energia alocadas a cada estado ou região que ficam responsáveis por esta parte do processo e o nível de regulação é elevado.

A Comercialização, é o segmento que envolve a compra e venda da energia elétrica no ambiente de contratação livre, é um segmento cuja entrada de participação é bem regulada, mas a regulação é variável, tem como participantes os geradores comercializadores, os consumidores livres especiais, os exportadores e os importadores.

A primeira unidade básica no sistema elétrico brasileiro, é o consumidor, e os consumidores são divididos em duas categorias, cada uma possuindo diferente nível de participação e autonomia no todo. Essa diferenciação entre os consumidores é feita segundo uma determinação base de consumo, regida por lei, a partir do qual um consumidor pode mudar de categoria. Com o avanço da regulamentação e a inclusão de novas modalidades, há tipos especiais de consumidor, em geral ligados a programas de incentivo no uso de fontes renováveis

de energia. Os consumidores são divididos primeiramente entre: consumidores cativos e consumidores livres.

Os consumidores cativos, são consumidores que compram energia de forma compulsória da empresa que possui os direitos de distribuição na região onde estão conectados, eles não possuem autonomia para trocarem de fornecedor, tendo somente a opção de se desligarem ou ligarem da rede elétrica local gerida pelo fornecedor, as unidades consumidoras pagam somente uma fatura por mês, onde estão incluídos os serviços de distribuição, geração e iluminação pública, com o governo controlando o valor das tarifas.

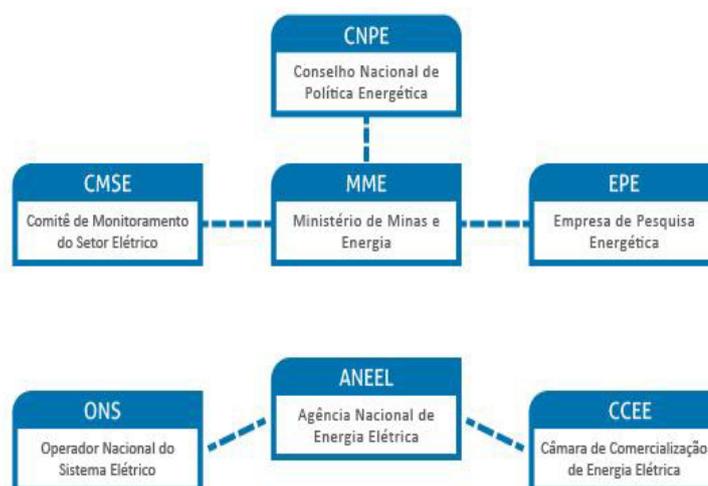
Os consumidores livres, são consumidores que compram energia diretamente dos geradores ou comercializadores, a partir da modalidade de contratos bilaterais com condições livremente pactuadas. Os consumidores passam a ter o direito de se tornarem livres, a partir de um consumo de 2000 KW atendido em qualquer tensão, limite este definido pela portaria Portaria MME nº 514/2018. Os consumidores passam a pagar uma fatura referente a distribuição para a concessionárias local, a chamada tarifa do fio, regulada por lei e pagam uma ou mais faturas para o seu fornecedor de energia, com os valores das tarifas e a periodicidade das cobranças sendo acordos em contrato.

Os consumidores especiais, são unidades individuais ou cooperativas, com cargas maiores ou iguais a 500 KW pertencentes ao grupo A de consumo, este tipo de consumidor possui como restrição a possibilidade de adquirir energia de forma livre somente de fornecedores cuja fonte geradora seja do tipo renovável. A regulamentação nesta modalidade ainda é volátil.

Existe ainda a divisão entre os grupos de consumos: o grupo A e o grupo B. O grupo A sendo constituído por grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia e o grupo B sendo constituído por grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômio.

O sistema elétrico nacional teve o seu atual modelo implantado em 2004, possui um conjunto de instituições, organizados de modo hierárquico vertical e horizontal, com um bom nível de cooperação interinstitucional. As organizações tendem a atribuir certas competências umas as outras e desenvolver atividades em paralelo, num modelo dinâmico. O modelo institucional do sistema elétrico nacional está apresentado na figura a seguir:

Figura 1: Estrutura Institucional do Sistema Elétrico Nacional



Fonte: CCEE (2021)

Institucionalmente, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) é o órgão com maior influência política e de maior impacto nos rumos das decisões dos demais setores. É um órgão interministerial, que tem como função assessorar a Presidência da República. Entre suas atribuições estão auxiliar no entendimento e na formulação de políticas e diretrizes de energia, como os planos anuais e os planos de maior duração. O CNPE também possui como atribuição revisar de maneira periódica as matrizes energéticas de cada região do país e estabelecer as regras e diretrizes de programas específicos de incentivo e regras para o mercado de exportação de energia, em suas reuniões é comum haver a presença dos presidentes e membros do conselho dos demais órgãos.

O CNPE, portanto, é o órgão que auxilia a Presidência da República nas tomadas de decisões gerais a respeito dos rumos da energia elétrica no país, é a partir dos encontros deste órgão que se estabelecem por exemplo programas de subsídio a fontes de energias renováveis, os programas de abertura de leilões e demais processos inerentes a gestão elétrica em larga escala. A partir das decisões deste órgão que os demais passam a regular e organizar os detalhes inerentes ao sistema elétrico e tornar as políticas e diretrizes determinadas em um sistema funcional compatível com a burocracia e controle necessários a operação da rede elétrica e seus atores.

O Ministério de Minas e Energias (MME) é um órgão, do governo federal, responsável pela condução das políticas energéticas do país, também é um setor de maior influência política. Entre suas atribuições estão a formulação e implementações das políticas do setor energético

definidas pelas diretrizes do CNPE, o planejamento do setor energético nacional, alocação de investimentos e monitoramento da segurança energética nacional.

O MME é uma continuação do CNPE, nesse caso com um grupo formado por pessoas ligadas essencialmente ao setor de energia, e é ao ministério que os demais órgão participantes do sistema elétrico reportam inicialmente, o Ministério de Minas e Energia tem como função principal garantir a ligação entre as diretrizes gerais energéticas e políticas de energia e as regulações e mecanismos de controle e incentivo necessários para que elas sejam implementadas.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é um órgão ligado ao Ministério de Minas e Energia, responsável por conduzir os estudos e pesquisas necessários para a coleta de dados e informações que auxiliem no planejamento energético. Entre suas atribuições estão o levantamento de dados e a organização das projeções e séries históricas da matriz energética brasileira, os estudos para planejamento integrado dos recursos energéticos, projeções para expansão energética e análises sobre impactos do tipo socioeconômico e socioambiental do setor energético. Este setor também deve auxiliar no fornecimento de informações e estudos que sirvam como base para a exploração comercial da energia (leilões e abertura de programas) regulados pelo setor comercial.

O EPE é um dos órgãos mais importantes para a gestão geral do sistema elétrico, pois é quem coordena a grande quantidade de dados disponíveis e os organiza de forma a complementar o processo de tomada de decisões dos demais órgãos reguladores. Também é sua função divulgar estes dados para a população em geral e o setor acadêmico, além de custear e promover estudos sobre a energia a curto, médio e longo prazo, que ajudem a aumentar e melhorar o uso da base de dados disponível. O EPE tem como uma das suas principais publicações o Balanço Energético Nacional (BEN) uma publicação que é um relatório síntese de todo o panorama energético brasileiro por um ano, desde sua matriz energética geral até dados específicos, como o consumo por setores etc. Esses dados servem como base para um número muito grande de estudos, publicações e políticas e é uma tarefa que recai para a EPE.

O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) é um órgão, sob a coordenação direta do Ministério de Minas e Energia, com a função de monitorar o nível de segurança do sistema elétrico, acompanhando e avaliando o nível de segurança do suprimento elétrico nacional. Entre suas atribuições estão o monitoramento do nível de desenvolvimento da geração, transmissão, distribuição, comercialização, exportação e importação da energia elétrica, ou seja, do sistema como um todo. O órgão realiza periodicamente uma avaliação das condições de abastecimento e atendimento da demanda elétrica de forma integrada, também

compete ao órgão identificar os gargalos e dificuldades do setor e elaborar propostas para ajustes, ações preditivas e preventivas e alternativas para expansão do nível de segurança elétrica.

O CMSE é um órgão que atua bastante interligado com Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) pois sua função é monitorar e garantir que o suprimento de energia esteja no nível correto e de forma eficiente. É um órgão com um certo nível de autonomia, para tomadas de decisões de médio e curto prazo, pois a segurança do fornecimento elétrico é uma questão de segurança nacional. O CMSE tem papel relevante na tomada de decisões do Ministério de Minas e Energia, pois as ações relativas à manutenção e segurança da rede elétrica tem prioridade sobre as demais políticas energéticas.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é um órgão que tem como função ser uma agência reguladora do setor elétrico nacional, fiscalizando e regulando a produção, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica. A ANEEL é responsável por estabelecer as tarifas aos consumidores finais, promover as licitações da modalidade de leilão, determinar as regras e definições para a classificação de consumidores, geradores e outros atores no cenário elétrico e buscar garantir a universalização do atendimento e a boa qualidade dos serviços do setor elétrico, a partir da regulação e fiscalização.

A ANEEL, como a agência reguladora, é quem dá a base legal para a operação do setor elétrico como um todo. A partir das regulações da ANEEL que os setores civis e públicos podem pautar as estratégias e atender aos encargos e compromissos que lhe são cabíveis. A ANEEL realiza várias consultas públicas sobre matérias sensíveis da regulação elétrica, como por exemplo a resolução sobre a geração distribuída, pois é a partir das suas regulações que são definidas as regras para atuação do mercado e quais os limites de cada modelo e tipo comercial.

A Câmara de Comercialização da Energia Elétrica (CCEE), é um órgão responsável por coordenar o mercado de compra e venda de energia, atua como um operador no mercado brasileiro de energia elétrica, realizando a interlocução entre os setores participantes. No quesito operacional, a CCEE contabiliza as operações de compra e venda de energia em nível mensal, enumerando os montantes movimentados, os contratos firmados de compra e venda e os montantes de energia envolvidos nas transações. A CCEE também divulga e determina os procedimentos e regras para as transações comerciais e promove os leilões de compra e venda de energia, além de monitorar o mercado a procura de possíveis quebras nas regras comerciais e vantagens indevidas.

A CCEE é um órgão com um nível de impacto elevado quanto ao quesito da transição energética, pois é onde as políticas e diretrizes para incentivo das energias renováveis se tornam

viáveis, a partir de regulações comerciais favoráveis e a abertura de leilões. É talvez o órgão com maior atividade interinstitucional, pois sua atividade demanda contato constante com todos os demais órgãos do sistema, em especial ANEEL, que passa partes das suas responsabilidades para a CCEE e o CMSE, pois a atividade reguladora comercial é de interesse ao controle geral da segurança de energia e um importante braço na resolução de crises, como as crises de abastecimento, a partir de leilões emergenciais e ordens de aquisição.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é um órgão responsável por operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica do Sistema Integrado Nacional (SIN) e por administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil. O ONS tem como atribuições um grupo de caráter mais técnico, como atender aos requisitos de carga e atender a todas as especificações necessárias para o funcionamento adequado do sistema, também é responsável pelas condições de acesso a malha de transmissão em alta tensão.

O Sistema Integrado Nacional (SIN) é o conjunto de instalações e equipamentos que coordenam e controlam a energia elétrica no país, é um sistema interconectado através de uma extensa rede de malhas de distribuição, que garante a transferência de energia entre as regiões e garante uma maior segurança ao abastecimento nacional de energia elétrica. O SIN é subdividido em quatro grandes mercados além de uma série de mercados isolados, os quatro grandes mercados são: Subsistema Sudeste/Centro Oeste (SE/CO), Subsistema Sul (S), Subsistema Nordeste (NE) e o Subsistema Norte (N). Os sistemas isolados são sistemas em zonas remotas, de baixo consumo e representam cerca de 1% do consumo total nacional. Os estados brasileiros estão divididos de acordo com o SIN em: Amapá, Amazonas, Pará, Maranhão e Tocantins (N); Piauí, Ceará, Bahia, Pernambuco, Paraíba, Sergipe, Alagoas, Rio Grande do Norte (NE); Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina (S); Rondônia, Acre, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo (SE/CO), o único estado fora do SIN é Roraima cujo abastecimento vem em parte da Venezuela.

O SIN é a parte operante do sistema elétrico nacional, é nesse sistema que ocorrem as negociações referentes a compra e venda de energia, já que para ser um membro não cativo do mercado de energia é necessário haver uma ligação ao SIN. A partir dessa ligação passa ser possível negociar diretamente com os outros membros e fazer isso de maneira independente da ligação física entre eles, quanto a geração e transmissão, pois o mercado funciona de um modo que a energia injetada no SIN entra numa contagem total, sendo possível comprar energia de um estado para o outro, por exemplo. A malha interconectada do SIN é que permite esse tipo de operação, pois se considera que o sistema possua capacidade de funcionar como um todo,

sendo assim há a possibilidade de transferências de energia entre subsistemas e ganhos de energia benéficos.

O SIN também é importante para a manutenção de um nível seguro de abastecimento, é a partir dele que se configuram os sistemas de compensação que entram em vigor diante de problemas em determinada região e os sistemas de backup por energia disponível. A base de geração do SIN como visto no gráfico da matriz de energia elétrica são as fontes hídricas, as usinas hidrelétricas, organizadas em torno de 16 bacias hidrográficas, mas também das demais fontes, atuando de maneira integrada. O estabelecimento do sistema SIN também é um incentivo a um avanço na transição energética, pois a potencialização da geração regional e a capacidade de utilizar fontes de geração distintas para aumento na disponibilidade e na segurança energéticas contribuem para a abertura de mercado das energias de fontes renováveis, sendo um incentivo a entrada e comercialização deste tipo de fonte.

É possível utilizar a malha interconectada do sistema para diminuir os efeitos da crise hídrica vigente, pois um aumento na produção de energia elétrica em uma região não afetada, seja ele por fonte renovável ou não, diminui o nível de estresse em regiões com crise de abastecimento, seja por oferecer a energia elétrica propriamente dita seja por diminuir a necessidade de uso das fontes em nível crítico.

## **6 Funcionamento dos setores chave na transição energética**

Tendo descrito a organização do sistema elétrico e os órgãos que controlam e regulam os diversos componentes deste sistema, é possível observar quais os setores chaves quanto ao processo de transição energética e em quais estágios seu impacto pode ser mais observado.

A transição energética, no setor elétrico, pode ser avaliada em torno de três diferentes estágios: Entrada, Comercialização e Geração Distribuída. Em que a entrada é ligada aos contratos, programas e regulações para a entrada no sistema de geração em uma maior escala, a comercialização é ligada ao alcance comercial dos agentes geradores no mercado energético e a geração distribuída é ligada tanto a um aumento na geração individual quanto a diversificação no acesso a energia por parte dos consumidores.

Entre os quatro segmentos base do sistema elétrico: Geração, Transmissão, Distribuição e Comercialização; os segmentos da Comercialização e Geração são os setores com maior capacidade de impactarem o ritmo da transição energética em uma menor quantidade de tempo, por envolverem legislações e restrições cujas revisões e ajustes demandam um menor tempo de ajuste para o mercado e o sistema elétrico em si e por serem sistemas ligados a entrada de

energia na rede e alcance comercial. O segmento da distribuição e o segmento da transmissão, são segmentos cuja demanda para adaptação e planejamento tende a se desenvolver de maneira mais gradual, sendo mais setorizados e composto por grandes empresas, agindo como segmentos de suporte.

O setor comercial, do sistema elétrico nacional, regido pela CCEE, é o setor onde são realizadas as contratações de energia, em suas diversas modalidades e definidas as regras para a regulação do mercado de energia. É neste setor que há a abertura comercial para inserção de novos tipos de energia na rede, seja por programas de incentivo, seja por leilões específicos, seja por flexibilização em regulamentos.

As relações comerciais, no atual modelo do sistema elétrico nacional, ocorrem mediante dois tipos de ambientes de contratação: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Há ainda o Mercado de Curto Prazo, um mercado em que as contratações são voltadas especificamente para a liquidação e contabilização dos montantes de energia gerados e consumidos por cada agente, quando há diferenças entre essa relação geração/consumo as diferenças são comercializadas segundo a valoração do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) no Mercado de Curto Prazo.

O Ambiente de Contratação Livre (ACL) funciona mediante compra e venda de energia, a partir da relação direta entre os agentes vendedores e o consumidor final. Neste ambiente de contratação, o consumidor final escolhe seu fornecedor de energia e o tipo, por meio de contratos de cunho bilateral. É o modelo que engloba os consumidores do tipo livre, que possuem restrição de entrada e de saída, possui contratos flexíveis com condições puramente negociáveis e é um ambiente de contratação cujo impacto no contexto da transição energética é em uma etapa mais avançada, é um ambiente que favorece os geradores com fontes de energia renovável que já estão inseridos no mercado, pois aumenta sua capacidade comercial e alcance.

O Ambiente de Contratação Regulada (ACR) funciona a partir de regulações específicas para vários aspectos, como vigência de suprimento, preço da energia e outros, que não podem ser alterados por meio de acordos bilaterais entre as partes. Os leilões de energia ocorrem nesse tipo de contratação, sendo definidos pelo CNPE e realizados pela ANEEL. Como esse tipo de contratação é regulada pela ANEEL, uma mudança de regras, uma flexibilização de modalidades ou programas de incentivo tem um impacto muito grande no setor como um todo, ao influenciar diretamente a dinâmica do mercado de energia e seus setores. É a partir desse modelo de contratação que ocorre a maior parte em volume da entrada de energia proveniente de fontes renováveis no setor elétrico, pois existe alguns tipos de contratação e leilão que visam justamente incentivar este tipo de energia.

## 6.1 Modelos de Contratação de Energia

Existem vários tipos de contratos do modelo ACR listados diretamente no CCEE, embora haja mais modalidades de contrato, existem contratos listados que possuem maior abrangência e maior volume, sejam em valores, alcance comercial ou em carga. Os contratos, contam com uma regulação específica definida por lei e abrangências específicas, portanto vale-se destacar: Contratos de Geração Distribuída; Contratos de Ajuste; Contratos do PROINFA; Contratos de Energia de Reserva (CER), Contratos de Uso da Energia de Reserva (Conuer) e o Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR).

A REN ANEEL 783, de 26.09.20107 é a resolução normativa que estabelece os critérios e procedimentos para o controle dos contratos de comercialização de energia elétrica, é a partir desta resolução que há a definição normativa dos contratos, onde deve ser feito seu registro, sua homologação e aprovação. É importante destacar, que a ANEEL determina os prazos, procedimentos e critérios para cada tipo de contrato, que o registro dos contratos é feito na CCEE (com exceção dos contratos do PROINFA) e que a aprovação e homologação é feita também pela ANEEL.

Os Contratos de Geração Distribuída, são definidos como contratos destinados a compra e venda de energia elétrica, mediante chamada pública ou processo de desverticalização promovido pelo distribuidor conectado no SIN. É um contrato onde um agente distribuidor pode iniciar uma chamada pública para realizar compra de energia de outro agente distribuidor, de modo a integrar o seu próprio sistema.

Os Contratos de Ajuste, são definidos como contratos destinado à comercialização de energia elétrica no SIN, por quantidade, são contratos que tem por objetivo complementar a carga de energia detectada como necessário para o atendimento total do mercado consumidor das concessionárias de distribuição, portanto a chamada para a contratação deve partir das concessionárias. Esse modelo de contrato costuma ser contemplado a partir de um leilão, onde há o objetivo de obter uma carga de até 5% do valor necessário para o abastecimento do mercado consumidor da concessionária de distribuição por até dois anos. É um tipo de contratação que busca corrigir desvios com a relação as previsões efetuadas nos demais contratos e permite uma adequação na contratação de energias das distribuidoras compradoras, por isso o nome ajuste.

Os Contratos do PROINFA, são definidos como contratos de aquisição de energia elétrica no âmbito do Programa de Incentivo as Fontes Alternativas (PROINFA). Toda a energia

adquirida através dos participantes do programa, têm garantia de contratação da Eletrobrás por 20 anos, tendo como vendedoras as usinas que participam do programa PROINFA e como compradoras as concessionárias de distribuição de energia, os consumidores livres, os consumidores especiais e os autoprodutores que adquirem quotas de participação no programa. O PROINFA, é um programa de incentivo a disseminação de fontes alternativas, que auxiliam o desenvolvimento do mercado de energias renováveis e sua inserção na rede, a partir de pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e usinas de biomassa, cuja regulação e funcionamento serão abordados em outro tópico.

Os Contratos de Energia Reserva, são definidos como contratos destinados a comercialização de energia elétrica de reserva no SIN, tanto por disponibilidade quanto por qualidade, proveniente de empreendimentos de geração existentes ou futuros. É um mecanismo que foi criado com o objetivo de aumentar o nível de segurança da rede de fornecimento do SIN, com energia de usinas que fossem contratadas especificamente para isto, ou seja, as usinas ficariam com o objetivo de gerarem energia exclusivamente no modelo de reserva e não no modelo de geração contínua. A contratação das usinas geradoras se dá por meio dos leilões de energia reserva.

Os Contratos do Uso de Energia Reserva, são contratos anexos ao sistema de energia elétrica de reserva, derivam da determinação, dos contratos gerais de reserva, onde se pode contratar as usinas que ainda não estejam prontas com o objetivo de uso futuro, portanto caso se faça o uso da energia na usina, se assina este contrato regulatório extra, com mais especificações referentes ao uso direto na rede.

Os Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR), são contratos definidos como os contratos destinados a comercialização de energia elétrica no SIN, por disponibilidade ou quantidade, de geração existente ou futura. É um contrato bilateral de compra e venda de energia elétrica, com potência associada e celebrada entre o vendedor e o distribuidor, tem contratos específicos para cada tipo de modalidade e geração, contendo editais e cláusulas com condições fixas que não podem ser alteradas pelos agentes, sendo organizada a contratação a partir de leilões de energia elétrica.

Existem dois tipos de CCEAR, os por quantidade e os por disponibilidade. O CCEAR por quantidade, funciona de modo que os riscos hidrológicos da operação são assumidos pelos geradores, cabendo a eles os custos referentes ao fornecimento da energia contratada. O CCEAR por disponibilidade, funciona de modo que os custos dos riscos hidrológicos são assumidos pelas distribuidoras que adquirem o serviço, sendo as perdas e eventuais falhas financeiras assumidas pelas distribuidoras com repasse ao consumidor final.

## 6.2 Modelos de Leilão de Energia

Os leilões, são o mecanismo base para a contratação de energia no Brasil, em suas diversas modalidades, e é por meio desse mecanismo legal que o sistema elétrico garante o atendimento do mercado. Os leilões ocorrem de modo a garantir a contratação de energia segundo o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e são realizados pela CCEE por delegação de portarias da Aneel. Analisadas as condições base e as prioridades definidas pelos editais de cada modalidade e de cada leilão específico, se utiliza o critério de menor tarifa para definir os vencedores das licenças, com a justificativa de se buscar uma maior eficiência na contratação de energia.

Existem várias modalidades legais de leilão definidas pela CCEE, cada uma abrangendo diferentes regimes de contratação e especificações diferentes quanto a energia contemplada. Entre as modalidades de leilão, vale destacar as seguintes: Leilão de Venda; Leilão de Fontes Alternativas; Leilão Estruturante; Leilão de Energia de Reserva; Leilão de Energia Nova; Leilão de Energia Existente e Leilão de Ajuste. É importante definir e comentar cada modalidade de leilão, para compreender como em determinados momentos a política energética nacional faz com que haja um número maior de abertura de leilões de uma ou outra modalidade específica, como vem sendo visto no ano de 2021 com a abertura de leilões em resposta a crise hídrica.

O Leilão de Venda, foi um leilão realizado em 2002 com o objetivo de tornar abertos aos agentes distribuidores e comercializadores os lotes de energia provenientes da privatização dos lotes geridos por empresas estatais, foi um marco importante da energia, pois construiu diretrizes e procedimentos que influenciaram os leilões posteriores, como por exemplo o uso do meio eletrônico para a compra e venda de energia.

O Leilão de Fontes Alternativas, é um leilão que foi concebido com a ideia de aumentar a participação das fontes alternativas na matriz energética e atender aos crescimentos desse mercado. Essa modalidade contempla preferencialmente as fontes renováveis de origem eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. Esse tipo de leilão, foi regulamentado a partir do Decreto nº 6.048, de 27 de fevereiro de 2007, o qual altera a redação do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, portanto é uma modalidade que já sofreu ajustes e que há propostas para mudar novamente, abrangendo novos tipos de energia. É um tipo de leilão que ocorre em períodos mais longos, podendo ser citados até o momento a realização de 3 leilões, nos anos de 2007, 2010 e 2015, seguindo marginalmente os marcos dos planos nacionais de energia delimitados pelo Ministério de Minas e Energia.

Os Leilões Estruturantes, são leilões destinados a compra de energia proveniente de projetos de geração indicados por resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e aprovados pelo Presidente da República. São leilões pautados pelo seu caráter estratégico e interesse público, possuindo prioridade de licitação e implantação. Esse tipo de leilão ocorre com uma frequência menor, já que o tamanho dos empreendimentos e o seu valor base é bastante elevado. É uma modalidade que abrange projetos governamentais de grande alcance, podendo ser citados como exemplos: o Leilão da UHE de Belo Monte, o Leilão da UHE de Jirau e o Leilão da UHE de Santo Antônio; todos os empreendimentos de grandes usinas hidrelétricas e que demandam recursos e atenção jurídica em larga escala.

O Leilão de Energia Reserva, é um tipo de leilão que foi criado com o objetivo de aumentar a segurança do fornecimento de energia elétrica ligado no SIN, tendo como contemplado usinas contratadas especialmente para essa finalidade (novos empreendimentos ou já existentes). A energia de reserva, contratada por essa modalidade, gerou o Encargo de Energia Reserva (EER), um encargo destinado a cobrir os custos decorrentes dessa contratação, que são rateados entre os usuários da energia reserva, é uma energia que é liquidada e contabilizada no regime de mercado de curto prazo. É definido pelo Decreto nº 337/2008 quem são os usuários da energia de reserva, sendo eles: agentes de distribuição, consumidores livres, consumidores especiais, autoprodutores (na parcela da energia adquirida), agentes de geração com perfil de consumo e agentes de exportação participantes da CCEE.

O Leilão de Energia Nova, é um leilão que tem como objetivo atender ao aumento de carga das distribuidoras, é uma modalidade onde se contrata energia de usinas que ainda irão ser construídas, sendo dividido em dois tipos: A-5 (usinas que entrarão em operação em até cinco anos) e A-3 (usinas que entrarão em operação comercial em até três anos). Esse tipo de leilão é um dos mais comumente realizados pelo governo, podendo ser realizado como uma resposta a demanda crescente de energia e as possíveis crises de abastecimento. Somente no ano de 2021, até o mês de setembro, estão programadas a realização de três leilões de energia nova, em resposta a crise hídrica atual. É uma modalidade, em que a cada leilão pode determinar preferências quanto ao tipo de energia a vir ser contratada e o prazo de abastecimento que cada usina deve atender. Como um exemplo, o 35º Leilão de Energia Nova AI-5, estabelecido pela Portaria MME nº 10 (30/04/2021) e previsto para a data de 30/09/2021, estabelece como prioridades de contratação e com os seguintes prazos de abastecimento, as seguintes modalidades: 25 anos para empreendimentos hidrelétricos, 15 anos para empreendimentos eólicos, 15 anos para empreendimentos solares fotovoltaicos e 20 anos para empreendimentos termelétricos movidos a biomassa, carvão mineral nacional e gás natural.

Os Leilões de Energia Existente, são leilões realizados para contratação de energia gerada a partir de usinas já construídas e que já estejam em operação, cujos investimentos já foram amortizados e possuem custo mais baixo. É uma modalidade de leilão com menos regras e definições quanto a entrada, tipo de energia e prazos, portanto se assemelha mais com um leilão do modelo pregão, mais definido por regras e necessidades de mercado entre compradores e vendedores.

O Leilão de Ajuste, é um tipo de leilão que busca adequar a contratação de energia pelas distribuidoras, tentando sanar os eventuais desvios oriundos da diferença entre previsões feitas pelas distribuidoras em leilões anteriores e o comportamento de seu mercado. São leilões, com contratos de curta duração, de três meses a dois anos, normalmente com o objetivo de complementar a carga de energia necessária ao atendimento do mercado consumidor das concessionárias de distribuição, até um limite em torno de 5% dessa carga ou menos.

A frequência dos leilões, é definida pela Ministério de Minas e Energias e a ANEEL, em conjunto com os demais setores do sistema elétrico nacional. Normalmente, busca-se adequar as aberturas de leilões com marcos no plano nacional de energia elétrica, para que seja possível cumprir com as diretrizes delimitadas por ele. Como pode ser observado nos momentos de crise de abastecimentos, normalmente ligados a crises hídricas, há uma aceleração na abertura de licitações de leilões e um maior relaxamento quanto a certos prazos e documentos a serem apresentados. Tendo como base os anos de 2019 até o mês de agosto de 2021, houve a abertura de 13 editais de leilão, divididos como o disposto a seguir: 2 leilões de sistema isolado (sendo um deles específico de Roraima), 7 leilões de energia existente (sendo dois deles no ano de 2021) e 4 leilões de energia nova (sendo dois deles do ano de 2021).

Essa tendência, entre os leilões, mostra que nos momentos de flutuação no suprimento de energia elétrica, as duas ações tomadas pelo governo costumam ser aumentar a oferta de energia (leilões de energia nova) e reajustar o suprimento (leilões de energia existente). Pode ser observado, nos editais dos leilões já deste ano de 2021, um ano de crise hídrica, uma tendência nos leilões de energia existente com ênfase na busca por usinas termelétricas tradicionais, de carvão, e nos leilões de energia nova uma ênfase por usinas provenientes de fontes renováveis (eólica, solar fotovoltaica, hídrica e biomassa). É esperado que o governo instaure novos leilões para o período de 2022 caso a situação hídrica continue em estado crítico, visando evitar racionamentos futuros.

### 6.3 Micro e Minigeração Distribuídas

A geração distribuída, é uma modalidade de geração em que o consumidor pode instalar um sistema gerador próprio e conectá-lo a rede local, recebendo uma série de benefícios da concessionária e podendo gerar e consumir sua própria energia.

Essa é uma inovação que pode aliar economia financeira, consciência socioambiental e sustentabilidade, além de trazer benefícios ao sistema elétrico, como por exemplo: o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, diminuição das pegadas de carbono, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

O marco inicial, para a regulação e vigência da Micro e Minigeração Distribuídas, foi a entrada em vigor da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que determinou que os consumidores nacionais passariam a poder gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Esse marco regulatório, sofreu uma atualização a partir da publicação da Resolução Normativa nº 687/2015 que está em vigor até hoje e dá as diretrizes gerais dessa modalidade de geração.

As regras atuais, ditam que é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além de cogeração qualificada, delimitando como microgeração o sistema gerador de energia elétrica através de fontes renováveis com potência instalada inferior ou igual a 75 kW e como minigeração o sistema gerador de energia elétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW (para fonte hídrica) e menor ou igual a 5 MW para as demais fontes renováveis (Solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada). Com as fontes geradoras conectadas na rede de distribuição por meio de instalações nas unidades consumidoras.

Todo consumidor ativamente cadastrado no Ministério da Fazenda, por um CPF ou um CNPJ a uma unidade consumidora, tem concessão para conectar um sistema gerador de energia elétrica próprio, oriundo de fontes renováveis (hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada), paralelamente às redes de distribuição das concessionárias.

Para se conectar a micro ou minigeração distribuídas, foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar o sistema gerador é de 34 dias úteis para a microgeração e de 49 dias úteis para a minigeração. Atualmente os consumidores podem fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet.

A maior compensação financeira, no modelo atual de regulação sobre a micro e minigeração distribuídas, é por meio do sistema de créditos de energia, que funciona da seguinte

forma: Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele mesmo período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. O prazo de validade desses créditos é de 60 meses, expirando após este período, podendo também serem utilizados para abater o consumo de unidades consumidoras sob o mesmo titular (mesmo CPF ou CNPJ cadastrados) em outro local, desde que sob o atendimento da mesma distribuidora, é o chamado autoconsumo remoto.

Tendo como exemplo a microgeração por fonte de energia solar fotovoltaica, durante o dia é gerado excedente de energia pela unidade geradora que é então repassado para a rede; à noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. A rede passa a funcionar como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora.

Esse é o modelo base para a instalação dos sistemas na rede, medição da energia e a contabilidade dos créditos. É instalado um medidor do tipo bidirecional para medição dos valores de entrada na rede e consumo da unidade, sendo a instalação desse medidor um encargo coberto pela distribuidora na microgeração e pelo solicitante na minigeração.

Em cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, a compensação deve acontecer primeiro no posto tarifário em que ocorreu a geração (local em que o sistema solar está instalado) e, posteriormente, nos demais postos tarifários, devendo ser observada a relação dos valores das tarifas de energia praticadas em cada região, como por exemplo a compensação de unidades em municípios diferentes, com diferentes taxas base de energia.

Eventuais créditos de energia ativa existentes no momento do encerramento da relação contratual do consumidor (quando o consumidor muda de residência, por exemplo) devem ser contabilizados pela distribuidora em nome do titular da respectiva unidade consumidora pelo prazo máximo também de 60 meses após a data do faturamento. Isso só não ocorre caso exista outra unidade consumidora sob a mesma titularidade e na mesma área de concessão, sendo permitida, nesse caso, a transferência dos créditos restantes. Se o cliente mudar para um imóvel em que a conta de energia esteja no mesmo nome, e pertença a mesma concessionária, ele poderá utilizar os créditos energéticos provenientes da geração de energia solar feita no imóvel anterior.

É importante destacar, que fica vedada a concessão do acesso à rede por parte de concessionária local quando caracterizada a venda de créditos energéticos por parte dos consumidores geradores a outrem e, no caso de geração remota em área local, que caracterize a relação de cobrança de mensalidade em proporção a energia gerada (ANEEL, 2015). Ou seja,

não é permitido realizar venda de créditos a terceiros, sob pena de perder o acesso a rede da distribuidora.

Ficam definidas como modalidades de geração distribuída o autoconsumo (créditos gerados na própria unidade consumidora), o autoconsumo remoto (créditos gerados em unidade consumidora sob o mesmo cadastro na distribuidora), a geração distribuída em condomínios e a geração compartilhada.

A geração distribuída em condomínios, é uma modalidade instaurada na Resolução Normativa nº 687/2015, que permite a geração de energia elétrica em condomínios (residenciais, apartamentos etc.) com um único sistema comum a todos, de modo que a energia elétrica excedente seja aproveitada de forma fracionada regida por contrato delimitando de forma individual a fração dos créditos cabíveis a cada unidade. Sendo necessário que as unidades consumidoras e geradora estejam localizadas em uma mesma propriedade ou propriedades contíguas e que as áreas comuns sejam consideradas unidades consumidoras distintas.

A geração compartilhada, é outra modalidade instaurada pela Resolução Normativa nº 687/2015, que permite que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa e instalem uma unidade de micro ou minigeração distribuída para utilizar a energia gerada em redução das faturas dos consorciados ou cooperados. Esta modalidade, permite que um grupo de pessoas, por meio de uma cooperativa ou consórcio, composto por pessoa física ou jurídica, instalem um sistema gerador de energia em um local distinto da sua unidade consumidora, definindo o rateio dos créditos por contrato

Para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será cobrado o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico) e o valor referente a iluminação pública.

Para unidades consumidoras conectadas em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura poderá ser zerada (caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida) e a cobrança, caso necessária, será pelo consumo de energia (ativo e reativo) nos horários de ponta e fora de ponta. Os créditos, serão atribuídos no regime de compensação a partir do mesmo horário em que foi gerada a energia, pode-se utilizar esse excedente para compensar o consumo de energia no posto (horário) seguinte, devendo ser observada a proporção entre os valores das tarifas de energia para os diferentes postos tarifários (horários), já que 1 kWh (quilowatt-hora) gerado na fora de ponta possui um valor de tarifa de energia inferior ao valor de 1 kWh gerado na ponta.

A potência do sistema de micro ou minigeração tem como único parâmetro limitante a potência disponibilizada pela concessionária local à unidade consumidora. Para os consumidores do grupo B (baixa tensão) pode-se estimar a potência máxima instalada do sistema gerador multiplicando-se o valor da capacidade de corrente do disjuntor geral pela tensão nominal, disponíveis no ramal de entrada (relógio de luz). E caso seja necessário potência instalada superior, basta que se solicite o aumento da potência disponibilizada pela concessionária de energia elétrica. No caso de empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, entende-se como potência disponibilizada àquela contratada pelo condomínio.

Comercialmente, para clientes do grupo B, o dimensionamento do sistema é feito com base na sua média de consumo anual, não sendo comum passar da potência suportada pela rede local. As regras permitem ampliar o sistema gerador, adicionando por exemplo mais módulos solares, desde que sendo feito o procedimento padrão de pedido junto a concessionária.

A geração elétrica por fontes de energia renováveis, através dos sistemas de micro e minigeração, possui isenção de impostos a níveis federal e estadual, os impostos de PIS e COFINS já são isentos em todo o país, de acordo com lei aprovada pelo governo e a isenção de ICMS para energia solar é atualmente aplicada em todos os estados brasileiros mais o Distrito Federal, conforme convênio criado pelo CONFAZ (Conselho Nacional de Política Fazendária).

As resoluções que gerem a modalidade geradora de micro e minigeração distribuídas são resoluções que envolvem sempre bastante debate e disputas de interesse, como por exemplo disputas entre as concessionárias e os representantes dos vendedores de sistemas e consumidores. A expectativa é que com a tendência de aumento crescente de unidades consumidoras geradoras de energia haja uma iniciativa por parte da ANEEL e dos legisladores de estarem sempre de acordo com as novas tendências de mercado.

## **7 Políticas Nacionais para a transição energética**

As diretrizes e o planejamento energético nacional, costumavam ser realizadas de maneira reativa ou a partir de planos com prazos mais arbitrários, idealizados por cada governo. No ano de 2007, foi elaborado o primeiro Plano Nacional de Energia, com o título de PNE 2030, um estudo elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE em estreita vinculação com o Ministério de Minas e Energia – MME.

A formulação de trabalhos desse tipo, fornece os subsídios para a formulação de uma estratégia de expansão da oferta de energia econômica e sustentável com vistas ao atendimento da evolução da demanda, segundo uma perspectiva de longo prazo.

Analisando o PNE 2030, foi possível observar que ele conseguiu prever tendências energéticas, como por exemplo o aumento na geração distribuída, tendência de diversificação da matriz energética, maior eletrificação nacional e desencadeou uma série de ações alinhadas com suas diretrizes base, como por exemplo: a instalação da usina hidrelétrica de Belo Monte, promulgação da Lei do Gás, leilões de energia alternativa, promulgação da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 entre outros.

Tendo em vista certas defasagens técnicas, com relação ao PNE 2030 e as novas tendências e desafios provenientes do cenário macroeconômico mundial pós pandemia do coronavírus, o governo federal aprovou em dezembro de 2020 o Plano Nacional de Energia 2050, apresentando um conjunto de recomendações e diretrizes a serem seguidas ao longo do horizonte de 2050.

Também está sendo produzido o Plano Decenal de Expansão 2031 (2022-2031) como uma atualização ao Plano Decenal de Expansão 2030, pois os cenários abordados no novo plano já levam em conta o cenário econômico atual e os impactos da pandemia, esse plano decenal deve ser concluído até o primeiro semestre de 2022.

Com relação as políticas concretas de estímulo da transição energética, podem ser citados como exemplos as novas resoluções da ANEEL com relação a geração distribuída, os leilões de energia nova sendo abertos com ênfase da energia por fonte renováveis e o PROINFA, um programa voltado especificamente para o desenvolvimento de energia renovável.

## **7.1 Plano Nacional de Energia 2050**

O Plano Nacional de Energia 2050, dedica um capítulo ao tema da transição energética, o que é um bom avanço quanto a abrangência e importância do tema na mente dos gestores do sistema energético nacional. O PNE 2050 trata do tema com relação a transição do sistema energético como um todo e do sistema elétrico em particular, além de tratar de diretrizes, recomendações e listar desafios ligados ao tema.

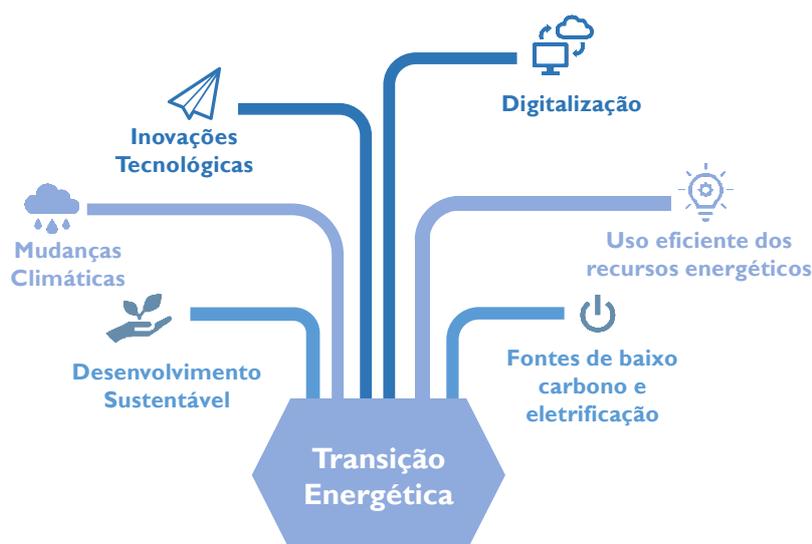
O PNE 2050 define o modelo atual de transição energética como um processo de transformações em direção a uma economia de baixo carbono e menor pegada ambiental

embasado por condicionantes como desenvolvimento sustentável, mudanças climáticas e inovações tecnológicas associadas à eletrônica e à entrada na era digital.

A transição energética, segundo o PNE 2050, está ligada à redução da participação de combustíveis mais intensivos em emissões de carbono na matriz energética primária mundial em favor de fontes de baixo carbono (sobretudo renováveis e o uso do gás natural como combustível de transição), bem como à eletrificação em processos de conversão de energia.

O PNE lista como bases específicas para a nova transição energética: a maior eletrificação do sistema como um todo, uma maior entrada dos biocombustíveis no setor de transportes, aumento da produção e diversificação das fontes de energia, aumento da eficiência energética, digitalização e o uso do gás natural como combustível de transição. A figura 2 retrata como o PNE enxerga a base da transição energética.

Figura 2: Base da Transição Energética



Fonte: PNE 2050 (2021)

A transição energética da matriz elétrica brasileira é definida pelo Plano Nacional de Energia 2050 como sendo uma combinação de participação majoritária das fontes renováveis na matriz com nível de emissões de gases de efeito estufa próxima de 0%

O PNE 2050 reforça que não há no momento uma política específica para a transição energética no Brasil, mas relata uma série de políticas que afetam e favorecem a transição energética. Especialmente os programas e diretrizes que afetam a expansão no setor de energia.

Entre os programas citados, vale a pena destacar os seguintes programas, relacionados a transição energética como um todo e a transição energética no setor elétrico: Política Nacional

Sobre a Mudança no Clima (PNMC); Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC); Política Nacional de Biocombustíveis – (RenovaBio); a Consulta Pública para a Modernização do Setor Elétrico e o Programa de Incentivo as Fontes Alternativas (PROINFA).

A Política Nacional Sobre a Mudança no Clima, promulgada pela Lei 12.187 de 2009, define o compromisso nacional voluntario de redução de 36,1% a 38,9% das emissões projetadas até 2020. O decreto 7.390/10, que regulamenta a política, instituiu o Plano Decenal de Expansão de Energia mais recente disponível, como o plano setorial de mitigação e adaptação à mudança do clima do setor de energia.

A Contribuição Nacionalmente Determinada, regulamenta o compromisso de reduzir, até 2025, as emissões de gases geradores do efeito estufa em 37% e, em 2030, possui a indicação de reduzir em 43% as emissões. Os valores para a redução têm o ano de 2005 como referência. Essas medidas consideram todo o conjunto da economia em território nacional, não havendo uma distribuição formal da contribuição de cada setor específico.

A Política Nacional de Biocombustíveis, promulgada pela Lei no 13.576, de 26 de dezembro de 2017, trata sobre a Política Nacional de Biocombustíveis e dá outras providências para o mercado. Essa política busca incrementar a produção e a participação dos biocombustíveis na matriz de combustíveis base do Brasil, de maneira gradual e crescente e colaborar com o aumento do grau de previsibilidade para a participação competitiva dos diferentes biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis. Também visa cooperar para o atendimento aos compromissos do Brasil no âmbito do Acordo de Paris.

A Consulta Pública para o Aprimoramento da Energia Elétrica, (Aprimoramento do marco legal do setor elétrico), Portaria no 187/2019, PLS 232/2016 e PL 1.917/2015, tem como objetivo aprimorar as propostas que viabilizem a modernização do setor elétrico, buscando ampliar a competição, reduzir os subsídios e distorções na formação de preços, promover o mercado livre, permitir a alocação adequada de custos e riscos, facilitar a incorporação de inovações tecnológicas no setor elétrico e incorporar apropriadamente recursos energéticos distribuídos no sistema elétrico.

O Programa de Incentivo as Fontes Alternativas (PROINFA), criado pela Lei nº 10.438/2002, tem o objetivo de aumentar a participação de fontes alternativas renováveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos termelétricos a biomassa) na produção de energia elétrica, privilegiando empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição.

Participam do PRONIFA, todos os consumidores conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN), exceto os consumidores classificados no regime de baixa renda, e que realizem

o pagamento na tarifa da TUSD/TUST (Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição e Transmissão) por meio da contratação de cotas dos geradores que fazem parte do programa.

Todos os anos a ANEEL é a responsável por determinar e divulgar em Resolução Homologatória a cota anual de cada uma das unidades consumidoras, tendo como referência o histórico dos últimos 12 meses de consumo.

O cálculo das cotas é feito segundo o consumo PROINFA, o consumo de cada unidade consumidora do Brasil, referente ao período de 12 meses do Ano PROINFA (setembro de um ano até agosto do próximo, por exemplo Setembro 2021 até agosto de 2022). Também é divulgado pela CCEE, o Fator PROINFA, que é a proporção obtida entre o consumo estimado anual do Brasil (A) e a geração estimada das usinas participantes do programa (B), portanto o Fator PROINFA é calculado como:  $FP = A/B$ , sendo um indicativo do alcance do programa.

O valor total da cota anual, é então dividido entre os consumidores. Para o ano de 2021 o custo do programa é da ordem de 4 bilhões de reais, a maior parte das cotas é dividida entre as concessionárias de distribuição, que ficarão responsáveis por arrecadar R\$ 3,7 bilhões para um total de 7,4 milhões MWh a ser pago pelos consumidores cativos. As cooperativas de eletrificação rural que atuam como permissionárias de distribuição terão cota de custeio de R\$ 30,5 milhões (77,4 mil MWh). O restante das cotas em MWh é dividido entre consumidores livres conectados à Rede Básica (755,7 mil MWh) e consumidores livres conectados às cooperativas (3,1 mil MWh) e às distribuidoras (2,9 milhões MWh).

O pagamento é feito pelos consumidores cativos a partir do valor da tarifa básica de energia, onde o valor do custeio do programa entra no cálculo da tarifa de cada concessionária como um encargo setorial, tendo cada concessionária um valor específico da cota total para cobrir.

A delimitação das unidades geradoras contempladas pelo PROINFA, foi feito com o estabelecimento dos contratos PROINFA, oficializados em 2002 e que tem validade de 20 anos, portanto em 2022 será necessário haver uma revisão do programa como um todo e dos contratos.

O PROINFA, é um programa que foi criado com o objetivo de aumentar a segurança do abastecimento e garantir que toda a demanda seja suprida, especialmente em períodos de crise hídrica, já que no período de sua concepção estava em curso séria crise hídrica no país, com racionamentos de energia e ameaças de apagão. Foi um programa pioneiro e que impulsionou uma primeira onda de entrada de usinas geradoras com base em fontes renováveis no território nacional. A partir do PROINFA, foi possível observar na prática como seria o funcionamento

e integração dessas fontes no SIN e como elas podem ser um impacto positivo com relação a segurança energética do sistema como um todo.

Atualmente, na política de leilões do ano de 2021, já é possível observar uma maior participação das fontes de energias renováveis nos leilões tradicionais, de energia nova, portanto ainda não é claro se haverá o estabelecimento de um novo programa como o PROINFA ou somente a continuação das novas diretrizes de contratação para a entrada de energias renováveis na matriz elétrica brasileira.

O PNE 2050, também destaca a influência que diversas iniciativas de organismos internacionais sobre a transição energética mundial têm na dinâmica do mercado interno. Dentre elas destacam-se as iniciativas da International Maritime Organization (IMO), para limitar emissão de dióxido de enxofre e carbono no transporte marítimo, e as metas da Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), para atingimento da neutralidade das emissões. Além dos já citados acordos internacionais dos quais o Brasil faz parte, como o Acordo de Paris.

O PNE cita uma série de recomendações a respeito da transição energética, se dividindo entre aquelas que reforçam vantagens competitivas do Brasil e nas que desenvolvem novas vantagens e gerenciam as incertezas associadas à transição energética.

É recomendado, promover a sinergia de políticas públicas e desenhos de mercado associados e sobretudo buscar sinergias, ampliando suas potências. É preciso ter em mente o horizonte temporal das políticas públicas e seus balanceamentos para estabelecer coerência. É necessário alinhar o desenho das diretrizes de mercado para potencializar os benefícios em prol da transição, tendo o cuidado de manter os estágios de passagem equilibrados. A sinergia das políticas públicas, pode ser alcançada combinando diferentes políticas em prol da transição energética, como por exemplo o que vem sendo implementado, com a política de aumento da oferta de energia estando vinculada a uma preferência pelas unidades geradores de fontes renováveis. Portanto o estabelecimento de políticas públicas deve estar atento tanto ao aperfeiçoamento/reforço de mecanismos existentes bem-sucedidos, quanto a promoção de novos mecanismos de política pública no Brasil na área de eficiência energética, realizando a articulação adequada para promoção de planos de ação para efetivar a implantação das ações de eficiência energética.

Recomenda-se o estabelecimento de políticas públicas para o incentivo da utilização das tecnologias de hidrogênio na transição energética brasileira, pois trata-se de um energético versátil que pode ser produzido a partir de inúmeras fontes, incluindo produção por eletrólise da água a partir de sistemas de energia renovável. Neste caso, o hidrogênio pode ser produzido

nos momentos que os preços de energia estão baixos, podendo oferecer oportunidades de acoplamento com setores de difícil descarbonização, como o setor de transportes, e representar uma oportunidade de provimento de flexibilidade aos sistemas energéticos, sendo também uma área boa para o desenvolvimento de pesquisas e unidades de desenvolvimento nas universidades federais.

Recomenda-se articular as políticas energéticas com políticas e compromissos ambientais, se considerando os aspectos de desenvolvimento sustentável voltados para processo de transformações em direção a uma economia de baixo carbono e menor pegada ambiental. É importante considerar a articulação entre as políticas para o desenvolvimento energético e o planejamento de novos negócios junto às políticas ambientais e os compromissos internacionais assumidos pelo país visando um desenvolvimento mais sustentável para o setor, além de poder minimizar a imprevisibilidade de alguns empreendimentos quanto a incertezas climáticas e ambientais.

Considera-se necessário adequar arranjos institucionais, regulatórios e de desenho de mercado apropriados para potencializar a transição energética. Serão requeridos aperfeiçoamentos nos arranjos institucionais, legais e/ou regulatórios tanto para internalizar nos preços de energia as externalidades ambientais quanto tornar o mercado mais aberto, diversificado, competitivo e ágil para lidar com as modificações das condições de mercado. Para o contexto brasileiro, vale ressaltar o papel central das distribuidoras para esse processo, por meio de iniciativas de digitalização e a grande relevância da contínua busca pela adequada remuneração dos serviços prestados ao sistema, assim como o fomento à inovação tecnológica.

Considera-se necessário desenvolver estratégias flexíveis para lidar com incertezas e baseá-las nas vantagens competitivas do país, priorizando políticas que evitem o arrendimento e o trancamento tecnológico. O país deve aproveitar suas vantagens competitivas nas escolhas associadas à transição energética, não há rotas tecnológicas inequívocas na transição energética e nem certeza em relação ao momento de acelerar as transformações. Aproveitar as vantagens competitivas como base para desenvolver ou migrar competências é usualmente mais custo efetivo no longo prazo, portanto buscar somente uma rota tecnológica constitui um grande risco, é mais adequado estabelecer políticas que promovam resultados e não as rotas tecnológicas para atingi-los. As políticas devem criar um ambiente de negócios que promova a correta sinalização de preços e a competição entre rotas tecnológicas, ao invés de promover uma rota específica.

Recomenda-se reforçar alianças e redes estratégicas internacionais para desenvolver maior flexibilidade nas escolhas estratégicas associadas a transição energética, para que haja

margem suficiente para o estabelecimento de parcerias e projetos em diferentes áreas e com países distintos, dotando-o com estratégias abrangentes (diferentes segmentos de mercado), flexíveis e adaptáveis (pela pluralidade de ações).

Recomenda-se articular as políticas energéticas com políticas de tecnologia e educação, desenvolvimento de novas capacitações e vantagens competitivas. No contexto da transição energética é importante reforçar a ligação entre o planejamento energético nacional e o planejamento do sistema nacional de inovação, políticas de tecnologia e educação, para que seja possível criar um ambiente de negócios favorável à inovação em mercados abertos e competitivos.

O PNE 2050 também lista uma série de desafios ligados a transição energética, associados ao processo de tomada de decisões no setor de energia e aos problemas inerentes a transição em si.

Um desafio, é reconhecer que a organização de mercado e o alcance regulatório e institucional atuais não potencializam a transição energética. As novas tecnologias, associadas a transição energética, enfrentam com frequência barreiras de cunho não econômico, como escassez de informação, aversão ao risco tecnológico, falta de previsão regulatória ou restrições/normas associadas ao paradigma tecnológico anterior.

Outro desafio, são as incertezas crescentes sobre as condicionantes de evolução do setor. Os processos de inovação em curso apontam para uma nova revolução industrial, que envolve eletrificação, automação, conectividade e renovabilidade/descarbonização. Ainda que promissoras, muitas dessas inovações enfrentam desafios econômicos e competitivos, sendo necessário monitorar sua dinâmica de preços e de penetração no mercado. É fundamental monitorar as diversas incertezas (tecnológicas, econômicas e ambientais), evitando construir trajetórias muito rígidas que impliquem em risco de arrependimento e custos de correção de rumo das políticas públicas.

Por último, é necessário levar em conta a multiplicidade de dimensões da transição energética. É uma mudança que trás desafios e oportunidades, portanto é conveniente identificar e promover oportunidades de negócios associados às vantagens competitivas do Brasil. Desenvolver novas vantagens custo-efetivas e garantir o alinhamento com diversos setores da sociedade, como o setor de educação, setor industrial e a comunidade como um todo. É chave para o processo garantir que a transição energética não dependa exclusivamente de iniciativas do governo, mas sim de uma combinação entre governo e sociedade.

## 7.2 Cenários para a transição a uma matriz elétrica não emissora

A premissa base da transição energética disposta no PNE 2050 é que a matriz energética nacional seja majoritariamente renovável e totalmente não emissora. Esse é o modelo ideal disposto no plano e foram criadas simulações levando em conta diferentes formas de atingir esse objetivo.

O PNE 2050 elabora um cenário em que o país consegue obter uma matriz elétrica 100% renovável, é uma simulação que leva em conta o potencial de geração do Brasil e a evolução progressiva da matriz, que já tem um grau elevado de participação das fontes renováveis.

Para esse cenário, a simulação prevê uma matriz ainda com predominância hidráulica, cerca de 80%, com emissões de gases do efeito estufa decrescentes ao longo do período de adaptação e com a complementação da potência sendo feita completamente por fontes renováveis. Para tal cenário, foi considerado o descomissionamento gradual das usinas termelétricas.

Em valores, a simulação relata que uma matriz elétrica com praticamente 100% de energia proveniente de fontes renováveis poderia ser alcançada no sistema centralizado em 2050 desde que a complementação de potência (de 77 GW a 85 GW de capacidade instalada em 2050) também fosse feita a partir de fontes exclusivamente renováveis. A parcela não renovável da matriz (de cerca de 0,5% da capacidade instalada em 2050) corresponderia às usinas term nucleares do complexo de Angra, já que no horizonte de 2050, elas ainda não teriam sido totalmente retiradas do parque de geração nacional.

Considerando os custos e as implicações quanto a operação do sistema elétrico (sazonalidade, backup de potência, energia de reserva etc.) é sugerido pelo PNE 2050 um cenário menos restritivo, em que a matriz ainda estaria em um patamar elevado de participação de energias renováveis (mais de 75%), mas que a geração de forma mais tradicional e emissora seria mitigada por tecnologias associadas de não emissão, como por exemplo sequestro e armazenamento de carbono.

Vale ressaltar, que em ambos os cenários a matriz elétrica brasileira estaria em um patamar próximo de ser completamente renovável e que em ambos os cenários o nível de emissões de gases do efeito estufa é aproximadamente 0.

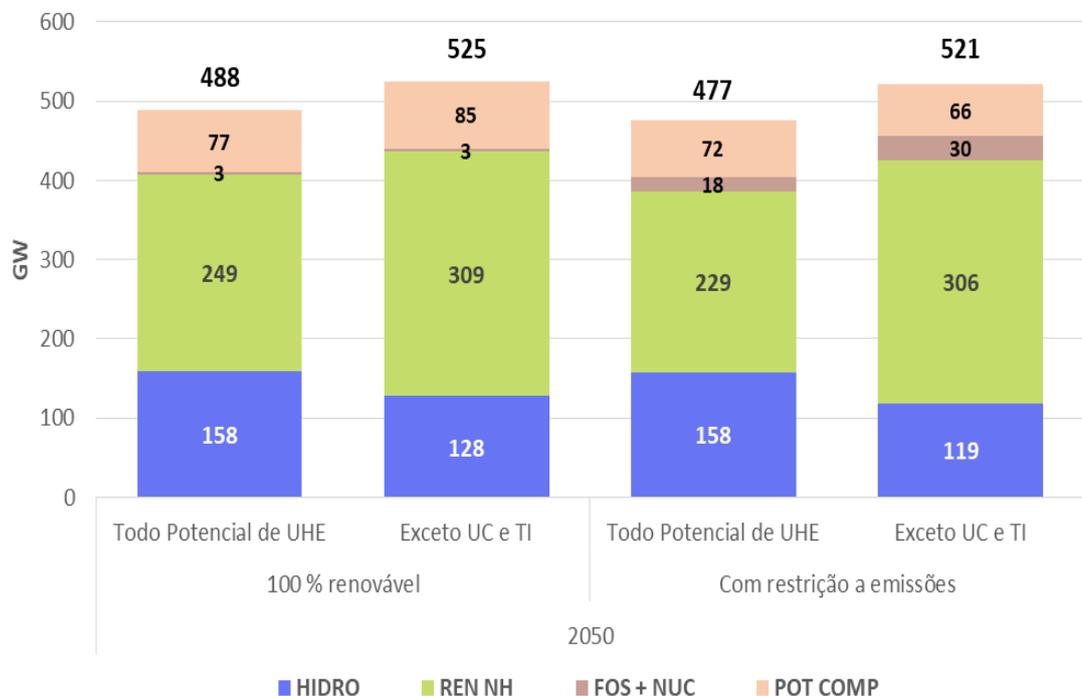
Na simulação em termos de capacidade instalada total em 2050, tem-se uma variação de acordo com a disponibilidade da cesta de usinas hidrelétricas acima de 30 MW com interferência em áreas protegidas para a expansão, ou seja, quando apenas aquelas que não possuam tal tipo de interferência estão disponíveis (caso chamado Exceto UC e TI: contam

apenas com usinas hidrelétricas sem interferência em áreas de Unidades de Conservação (UC) ou Terras Indígenas ou Quilombolas (TI)).

O fato de um volume elevado do território propício a geração hidrelétrica se encontrar em áreas preservadas ou destinadas aos povos indígenas e quilombolas é um ponto importante para a discussão da expansão hidrelétrica. O ônus social e ambiental ligada a grandes usinas hidrelétricas e a sua sazonalidade não pode ser ignorado no planejamento energético e é um fator que impulsiona a busca por alternativas renováveis.

Há a análise da geração em GW na expansão de geração com a matriz 100% renovável e com a matriz com restrição total de emissões, demonstrando o cenário em que se considera a potência total hidrelétrica e o cenário em que não são relacionadas na geração os locais com restrição. Avaliando os cenários, pode-se observar que levando em conta as restrições quanto a construção de hidrelétricas, há um crescimento natural da geração por fontes renováveis não hídricas, pois mesmo quando há a possibilidade de haver construção de termelétricas pela restrição de emissões a sua instalação e operação ainda é menos atrativa a longo prazo.

Gráfico 7: Expansão 100% renovável x Expansão com Restrições



Fonte: PNE 2050 (2021)

O gráfico 8, trás a análise exposta no PNE 2050 sobre o valor presente líquido (VPL) do custo total da geração centralizada, ou seja, uma análise sobre a viabilidade financeira dos

cenários e seu grau de atração. Se o VPL for positivo, isso é um sinal de que o investimento é executável e o investidor terá ganhos financeiros e conseguirá valorização nos projetos. É pontuado com relação a essa análise, que os altos custos relacionados aos projetos de expansão de geração devem ser levados em conta na análise do gestor, por isso se considera mais viável o cenário híbrido, com a geração por fontes renováveis em torno de 75% a 80% e grau de emissões zero, já que o seu custo de implementação é menor. É permitida nessa expansão o uso de tecnologias não emissoras. Levando em conta a tendência de eletrificação do sistema, essas tecnologias seriam parte do programa de complementação da potência.

Gráfico 8: Análise VPL do Custo Total da Geração Centralizada

	100% renováveis: <i>Não é permitida expansão de UTE a combustíveis fósseis</i>		Com restrição sobre emissões: <i>É permitida expansão apenas de tecnologias que não emitam</i>	
Casos relativos a todo o potencial inventariado de UHEs acima de 30 MW	Todo Potencial de UHE; <i>Inclui todo potencial inventariado de UHE acima de 30 MW</i>	Exceto UC e TI; <i>Considera na expansão apenas UHEs sem interferência em áreas protegidas</i>	Todo Potencial de UHE; <i>Inclui todo potencial inventariado de UHE acima de 30 MW</i>	Exceto UC e TI; <i>Considera na expansão apenas UHEs sem interferência em áreas protegidas</i>
VPL do Custo Total da Geração Centralizada (R\$ bilhões)	767	794	747	772

Fonte: PNE 2050 (2021)

## 8 Potencial de Geração Eólica, Solar e por Biomassa nacionais

A partir do modelo de transição energética apresentado pelo PNE 2050 e levando-se em conta as dificuldades relativas à expansão contínua da oferta de energia por aumento no número de hidrelétricas, é possível observar, que as fontes mais promissoras quanto a potencial energético para instalação e expansão dos sistemas são as fontes de geração Eólica, Solar e por Biomassa.

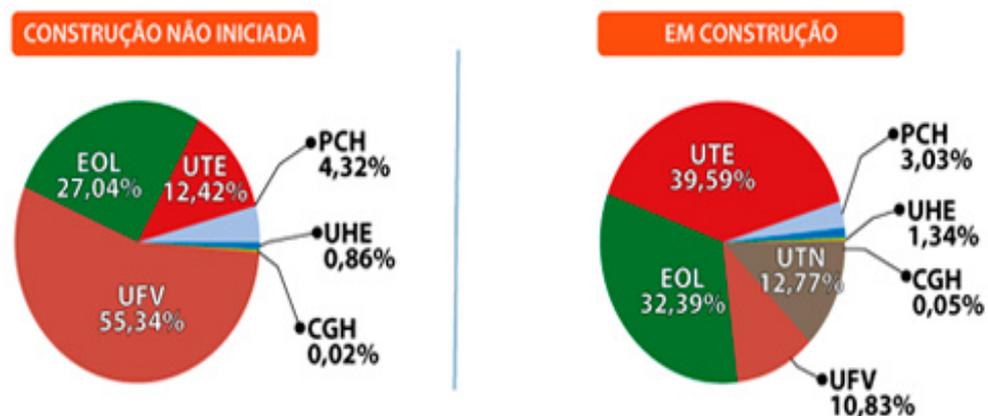
São essas fontes, que segundo o PNE 2050, irão ser responsáveis por impedir a estagnação natural do sistema, que é associada aos limites da expansão hidrelétrica e que farão parte em especial da complementação de potência necessária para um funcionamento seguro da rede elétrica.

A participação de energias renováveis na matriz elétrica brasileira vem em uma trajetória de crescimento nas séries recentes, conforme os dados do BEN 2021, impulsionado

pelas novas fontes de energia e com destaque para a energia eólica, que possui um mercado já mais estruturado no cenário nacional.

O potencial de geração do país com relação a essas três fontes é bastante elevado e há esforços sendo feitos por parte do Ministério de Minas e Energias para alavancar a entrada dessas fontes no processo de expansão da rede elétrica, como pode ser exemplificado pelo gráfico 9.

Gráfico 9: Empreendimentos Outorgados ou em Implantação em MW (04/2021)



Fonte: ANEEL (2021)

A partir da imagem, tem-se que dos projetos cuja construção ainda não foi iniciada, 55,34% são de usinas de energia solar fotovoltaica, 27,04% de usinas de energia eólica e 12,42% de usinas termelétricas. Das usinas já em construção, 39,39% são usinas termelétricas, 32,39% usinas eólicas e 10,83% usinas de energia solar fotovoltaica.

Vale ressaltar, que há nos editais recentes para leilões de energia nova, a inclusão de termelétricas geradoras a partir de biomassa, presentes na modalidade de suprimento de até 25 anos em conjunto com as termelétricas de carvão mineral.

## 8.1 Energia Eólica

A Energia Eólica no Brasil, vem sendo inserida no processo de expansão da oferta de energia elétrica desde o começo dos anos 2000, com sua inserção no PROINFA e posteriormente nos leilões de energia nova, de reserva, entre outros.

Parte do sucesso da exploração da energia eólica no Brasil pode ser atribuída às características do recurso eólico e sua abundância, principalmente na Região Nordeste. O

aprimoramento das análises do potencial eólico, aprendizado dos agentes e alta competitividade foram, entre outros aspectos, essenciais para a queda dos preços da energia eólica no Brasil, proporcionando o desenvolvimento permanente desta fonte e a consolidação do seu mercado.

Os projetos de energia eólica no Brasil se concentram somente na modalidade onshore (em terra firme), a modalidade offshore (no oceano) representa a atual fronteira para o desenvolvimento da energia eólica, com aumento expressivo na exploração da fonte em diversos países. No caso do Brasil, o mapeamento preliminar do potencial eólico offshore para as águas jurisdicionais brasileiras identificou áreas com ventos superiores a 7 m/s, abrindo novas perspectivas para a possível exploração desse recurso energético no País.

Com relação ao Potencial Eólico Brasileiro, foi elaborado o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Cepel, 2017), indicando um potencial instalável de 143 GW para todo o País. Desde então, vem sendo divulgados uma série de estudos mais atuais sobre o potencial eólico, a maioria em nível estadual e seguindo cada qual seu próprio modelo técnico, refletindo o potencial à sua época de edição. Os resultados indicam que o Brasil possui um enorme potencial eólico onshore a ser explorado.

Tabela 3: Potencial Eólico dos Atlas Estaduais

Estados	Data da Publicação	Potência Instalável (MW)			Energia Anual (GWh)		
	Altura	75m 80m* 70m**	100m	150m 140m*	75m 80m* 70m**	100m	150m 140m*
Alagoas	2008	336	649	n.d.	822	1.340	n.d.
Bahia	2013	38.600*	70.100	195.200	150.400*	273.500	766.500
Ceará	2019	23.144*	41.770	94.274	82.660*	153.065	362.162
Espírito Santo	2009	448	1.143	n.d.	1.073	2.397	n.d.
Minas Gerais	2010	24.742	39.043	n.d.	57.812	92.076	n.d.
Paraíba	2017	6.000**	14.700	42.100	23.690**	58.770	167.880
Paraná	2007	1.363	3.375	n.d.	3.756	9.386	n.d.
Pernambuco	2017	6.600*	10.725	20.830*	25.775*	42.100	84.159*
Rio de Janeiro	2002	1.524	2.813	n.d.	4.835	8.872	n.d.
Rio Grande do Norte	2003	19.431	27.080	n.d.	55.901	69.293	n.d.
Rio Grande do Sul	2014	n.d.	102.800	245.300	n.d.	382.000	911.000
São Paulo	2012	15	564	n.d.	48	1.753	n.d.
<b>Total dos Atlas</b>		<b>122.203</b>	<b>314.762</b>	<b>597.704</b>	<b>406.772</b>	<b>1.094.552</b>	<b>2.291.701</b>

Fonte: PNE 2050 (2021)

Embora os estados do Maranhão, Piauí e Sergipe não tenham atualmente atlas próprios, são estados com elevada disponibilidade de recurso eólico, como mostra o “Atlas do Potencial

Eólico Brasileiro” (Cepel, 2017), ainda que sem apontar números por estado, além de contarem com diversos projetos participando dos leilões de energia ou já em operação.

Para o potencial eólico offshore (marítimo) a EPE conduziu um estudo utilizando dados de reanálises da base ERA5, disponibilizada pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Esta base possui dados horários com resolução de 30 km para toda Zona Econômica Exclusiva do Brasil, com referência no período entre 2000 e 2017. Os resultados são mostrados na Tabela abaixo e conclui-se que o potencial também é muito grande, mesmo considerando as incertezas relativas aos dados

Tabela 4: Potencial Eólico Offshore Total

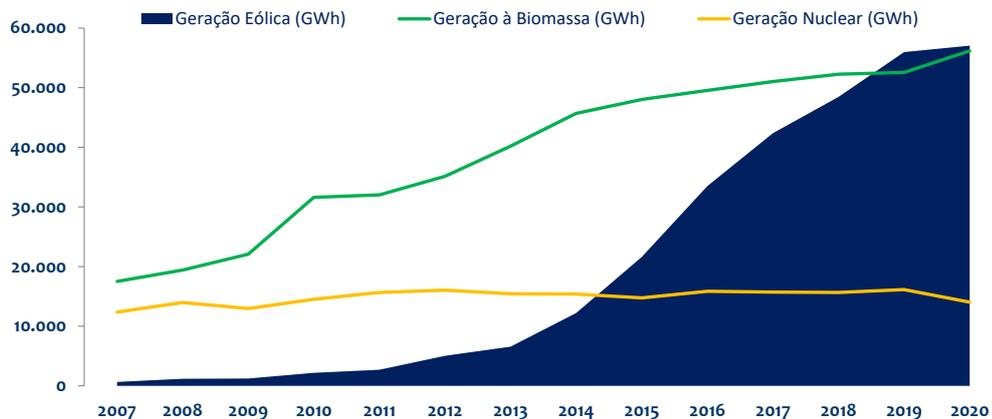
Velocidade (m/s)	Batimetria (m)							
	0-20	20-50	50-100	>100	0-20	20-50	50-100	>100
	GW				TWh			
>6.0	628	641	531	9.100	1.789	2.048	1.576	30.140
>6.5	522	591	467	8.420	1.582	1.949	1.450	28.793
>7.0	276	421	237	5.833	1.008	1.528	902	21.872
>7.5	129	209	159	4.014	566	890	667	16.101
>8.0	100	147	137	2.056	456	664	587	8.934
>8.5	63	81	87	993	308	398	383	4.612
>9.0	15	28	7	399	82	149	38	1.929
>9.5	3	2	1	11	16	12	3	63

Fonte: PNE 2050 (2021)

Com base nos dados disponíveis, é possível observar o elevado potencial brasileiro para a geração de eletricidade a partir de fonte eólica, com destaque para o potencial relativo à região nordeste. Já é na região nordeste que tem se concentrado o maior número de investimentos de pesquisa e desenvolvimento sobre os dados de potencial eólico e onde estão sendo localizadas a entrada de empresas especializadas na manufatura de peças associadas a geração eólica.

A evolução da energia eólica vem se desenvolvendo em um ritmo crescente, o gráfico abaixo demonstra como a geração eólica ultrapassou a geração de biomassa e a de energia nuclear.

Gráfico 10: Evolução da Geração Eólica

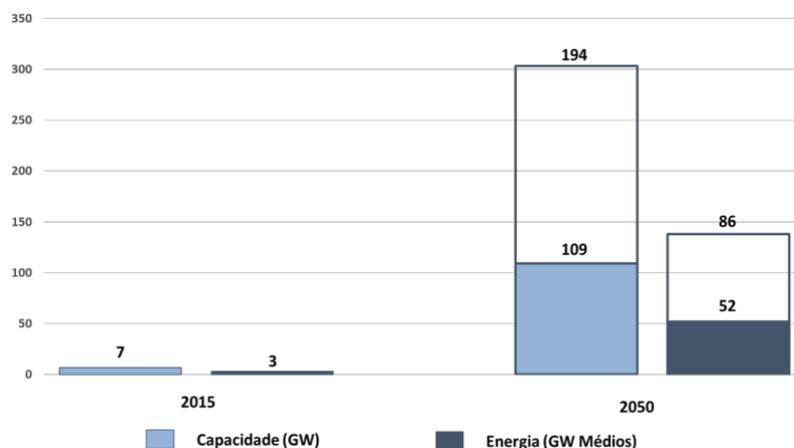


Fonte: PNE 2050 (2021)

A Associação Brasileira de Energia Eólica, informa que até o momento no ano de 2021 existem 726 usinas instaladas no Brasil, com uma capacidade instalada total de 19 GW e capacidade em construção de 4 GW. Essas Usinas Eólicas representam redução de emissões de CO<sub>2</sub> de aproximadamente 22.900.000 Toneladas ao ano.

O PNE 2050, elabora o cenário da energia eólica no Brasil em 2050 e nos próximos anos, como um cenário de expansão na maior parte dos casos rodados. A fonte eólica atinge aproximadamente entre 110 a 195 GW em termos de capacidade instalada e entre 50 a 85 GW médios em termos de energia em 2050, denotando sua crescente importância na matriz elétrica no horizonte estudado (em torno de 22% a 33% da capacidade instalada total ou de 27% a 40% em termos de energia total em 2050). Também foi considerado no cenário, que a produção onshore continuaria a ser suficiente para expansão do sistema e aquecimento do mercado, sem uma necessidade forte que impusesse a implementação de energia offshore que cobrisse os seus custos.

Gráfico 11: Evolução da expansão da Fonte Eólica



Fonte: PNE 2050 (2021)

Entre os desafios ao aproveitamento ótimo da capacidade total de geração eólica do Brasil, podem ser citados: percentual de geração variável e menor capacidade de controle; a dificuldade logística no transporte de equipamentos eólicos, repotencialização e descomissionamento dos parques antigos e continuidade do desenvolvimento e melhoria nas redes de transmissão.

Como medidas mitigadoras aos desafios impostos pela expansão da geração eólica, pode-se citar: aprimoramento da previsão de geração eólica, em virtude da variabilidade e da fonte, sendo necessário maior conhecimento do clima e integração entre equipes de meteorologistas e equipes responsáveis pela operação do sistema elétrico; incentivos para o desenvolvimento da indústria eólica local, para que mais peças tenham fabricação nacional, diminuindo os custos de compra e instalação e diminuição de gargalos logísticos; um estudo de viabilidade para os parques eólicos mais antigos, para que se observe a possibilidade de repotencialização do sistema, com incremento na potência e atualização de aerogeradores e estudos sobre impactos ambientais e econômicos e legislação específica para os parques que sejam indicados como propensos a descomissionamento; inovações e melhorias no planejamento e na operação do SIN para melhoria das redes de transmissão

## **8.2 Energia Solar**

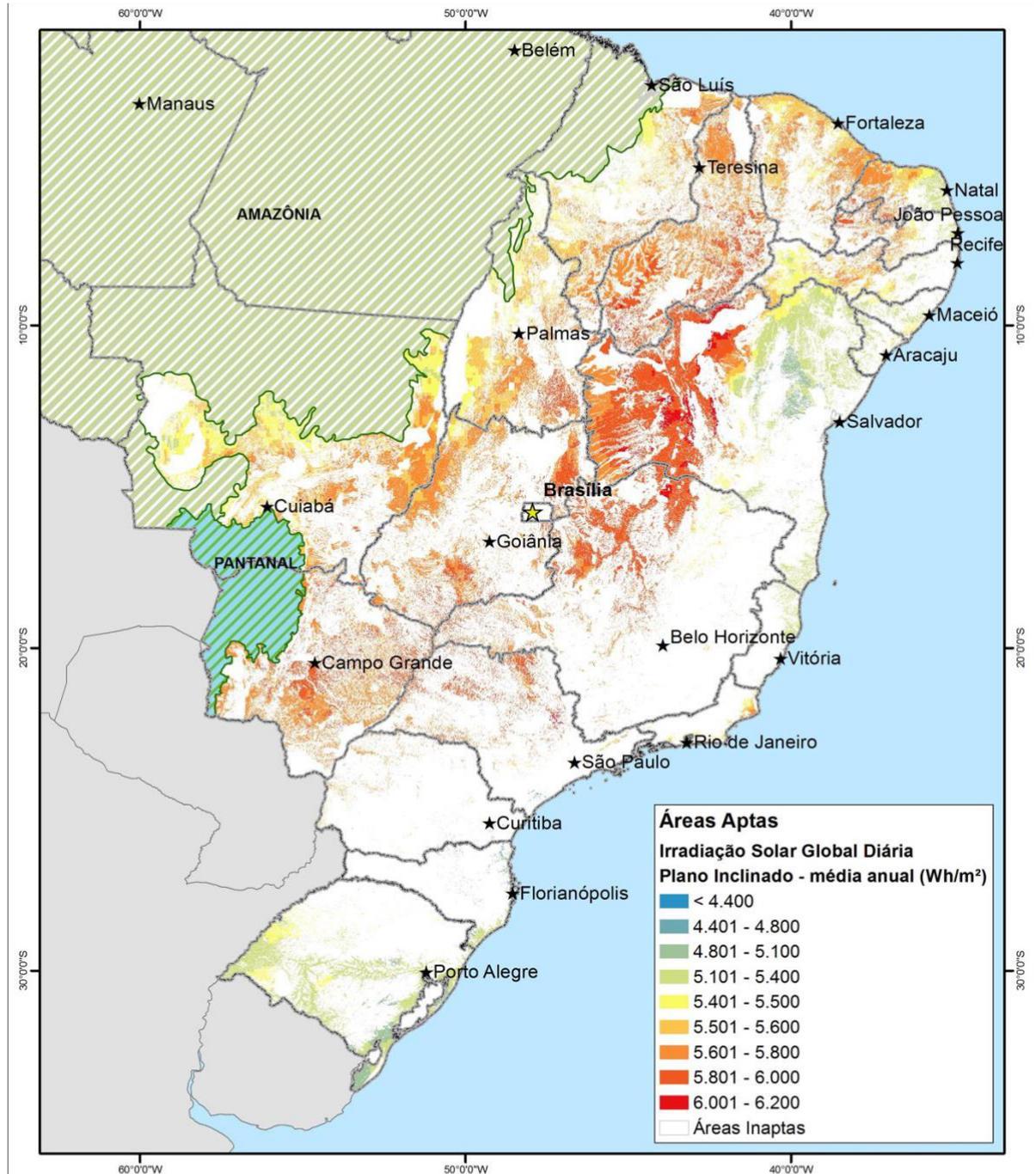
A Energia Solar, vem entrando na matriz elétrica brasileira de duas maneiras: geração centralizada e geração distribuída. Com os dois mercados se desenvolvendo de maneira paralela, tendo a geração distribuída uma legislação e incentivos próprios. Desse modo a Energia Solar se desenvolve em duas frentes, uma frente liderada pelos grandes investimentos e promovida por leilões e ações integradoras do Ministério de Minas e Energia e uma frente movida pelo mercado comum, dos consumidores, em sua maioria cativos, que enxergam na energia solar uma forma de fugir da variabilidade tarifária ao qual o sistema elétrico vem sendo exposto.

Por sua localização geográfica, o país recebe elevados índices de incidência da radiação solar relativamente uniformes em todo o território nacional, o que permite desenvolver projetos solares viáveis em diferentes regiões. Portanto a fonte solar fotovoltaica se apresenta como alternativa competitiva no fornecimento de energia, podendo contribuir com os compromissos nacionais de redução de gases de efeito estufa, além de ser uma fonte virtualmente inesgotável.

Com relação ao potencial de geração, a EPE realizou um estudo que trás a estimativa quantitativa do potencial solar fotovoltaico, levando em consideração áreas já com presença

humana, ou seja, não foram incluídas áreas com vegetação nativa. Considerando apenas as melhores áreas disponíveis, com radiação global média diária superior a 6 kWh/m<sup>2</sup>.dia, seria possível a instalação de 307 GWp.

Figura 3: Estimativa de irradiação solar média



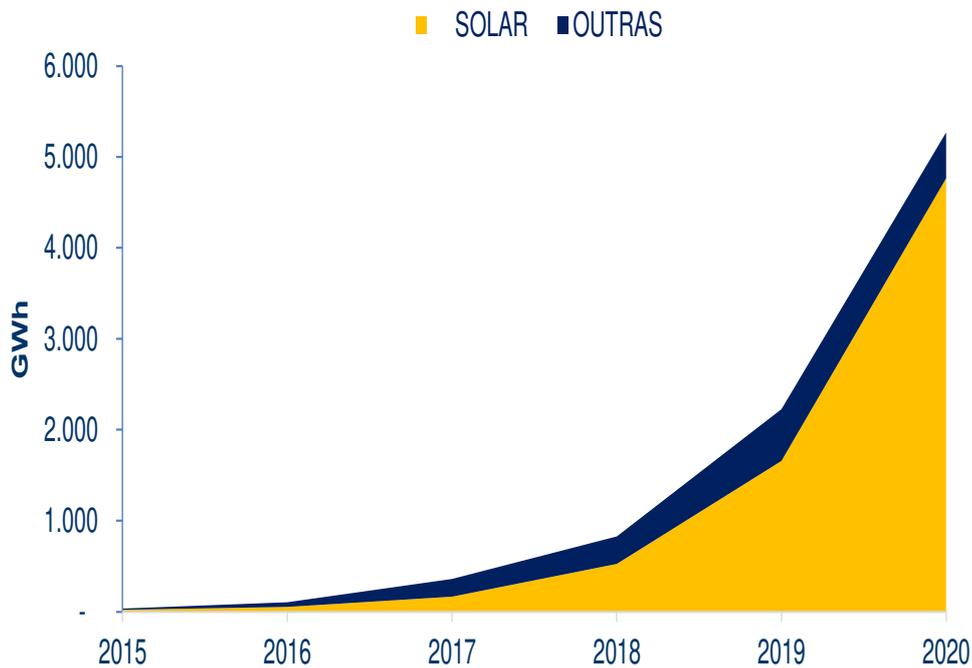
Fonte: PNE 2050 (2021)

Pode-se observar potencial elevado de geração em praticamente todo o território nacional, podendo se desenvolver em todas as regiões a geração de energia solar fotovoltaica centralizada ou distribuída de forma satisfatória.

Com relação a energia solar, em sua modalidade de geração distribuída, há a disponibilidade de dados específicos de geração. A ANEEL tem se debruçado de maneira contundente no mercado da geração distribuída, atualizando sua legislação e ampliando o debate com a sociedade sobre potenciais melhorias para as regras do sistema.

Segundo o BEN 2021, no ano de 2020 houve um aumento de 137% na geração distribuída, demonstrando uma tendência de crescimento nesse mercado, com crescimento constante no total de GWh gerados. A geração distribuída é uma modalidade de geração em que o consumidor gera e consome sua própria energia, sendo definida por resolução da ANEEL como uma energia que deve ser proveniente de fontes renováveis de energia ou cogeração.

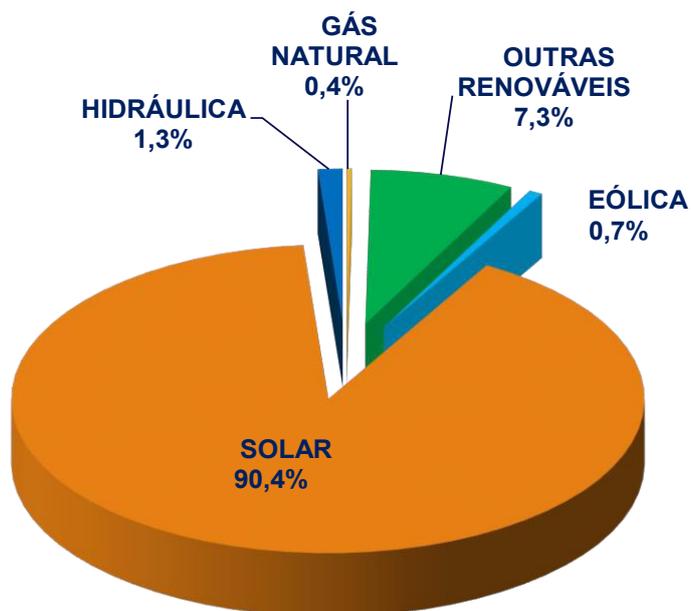
Gráfico 12: Geração Distribuída Total em GWh



Fonte: BEN 2021 (2021)

Na geração distribuída, há a participação de diversas fontes no conjunto da matriz energética desse tipo de geração, com um domínio da energia solar (90,4%) e o restante distribuído entre as demais fontes.

Gráfico 13: Participação de cada fonte na geração distribuída



Fonte: BEN 2021 (2021)

A Energia Solar vem sendo a principal fonte de geração procurada pelos consumidores para a entrada no sistema de mini e microgeração distribuída, sendo responsável pelo maior número capacidade total instalada de todo o sistema.

Tabela 5: Capacidade Instalada em MW de Mini e Microgeração Distribuídas

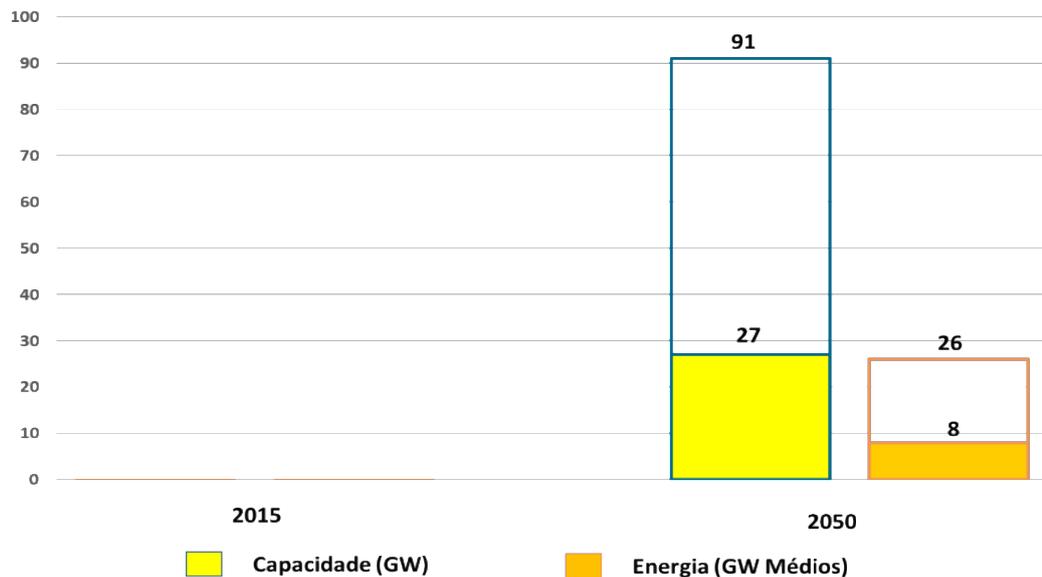
Fonte	2019	2020
Solar	1.992,1	4.635,1
Hidráulica	96,7	22,9
Térmica	63,0	95,3
Eólica	10,4	15,0
<b>Capacidade disponível</b>	<b>2.162,1</b>	<b>4.768,3</b>

Fonte: BEN 2021 (2021)

O PNE 2050 elabora o cenário da energia solar para 2050 e nos próximos anos como sendo um cenário de expansão significativa da fonte solar fotovoltaica por conta da perspectiva de evolução de sua competitividade no horizonte de análise. Se levando em conta apenas a geração centralizada, a fonte solar fotovoltaica atinge aproximadamente entre 27 a 90 GW em termos de capacidade instalada e entre 8 a 26 GW médios em termos de energia em 2050, com crescente importância na matriz elétrica, em torno de 5% a 16% da capacidade instalada total ou de 4% a 12% em termos de energia total em 2050.

O valor tende a ser ainda maior se levado em conta a geração distribuída, cujo mercado sofre maior flutuação quanto a custos, sazonalidade na procura e onde a precisão da estimativa se perde, como um exemplo pode-se relatar o caso de como a capacidade instalada total dobrou em apenas um ano, de 2019 a 2020, mesmo em uma ocasião de esfriada da economia por conta da pandemia do coronavírus. Em virtude disso o cenário para a geração distribuída pode vir a ser o de maior crescimento de todas as fontes, caso os fatores para o seu crescimento se alinhem.

Gráfico 14: Expansão da Energia Solar Fotovoltaica Centralizada



Fonte: PNE 2050 (2021)

Entre os desafios para ao aproveitamento ótimo da energia solar no Brasil, podem ser citados: percentual de geração variável, menor capacidade de controle e dificuldades de integração ao SIN; lidar com o descarte e reciclagem dos equipamentos, já que a vida útil em produção ótima é em torno de 25 anos e os sistemas envolvem um número muito elevado de equipamentos e a evolução das normas e regulações que regem o sistema.

Como medidas mitigadoras aos desafios impostos pela expansão da geração solar, pode-se citar: desenvolvimento de novas ferramentas, tecnologia e modelos de negócios para previsão da geração solar e gestão da operação do sistema elétrico, para entre outras vantagens diminuir a quantidade de energia de reserva necessária em cada empreendimento que encarece e aumenta a escala de todos os projetos; incorporar melhorias aos estudos socioambientais relativos a geração de energia solar, para mitigar os efeitos a curto e longo prazo da geração, estudando a perspectiva de reaproveitamento de peças e como realizar o seu descarte adequado; integrar a perspectiva de expansão da geração por energia solar no planejamento das redes de transmissão do sistema e garantir que a legislação e normas vigentes estejam atualizadas com relação a dinâmica de mercado, aumentando o diálogo entre todas as partes componentes do mesmo.

### **8.3 Biomassa**

A energia produzida a partir de Biomassa pode ser obtida através de diversas rotas, tradicionalmente o país aproveita energeticamente para a geração de energia elétrica, de forma direta, a lenha, o bagaço da cana-de-açúcar, a lixívia, resíduos do setor de papel e celulose e cascas de arroz, através da combustão. Além destas, há diversas biomassas alternativas disponíveis para o aproveitamento energético no país, como palhas das culturas de soja e milho, cascas de café, resíduos de coco, feijão, amendoim, mandioca e cacau, resíduos agroindustriais e pecuários de confinamento, lodo de estação de tratamento de esgoto e resíduos sólidos urbanos (RSU), entre outros, que podem ser utilizadas para combustão direta ou produção de biogás.

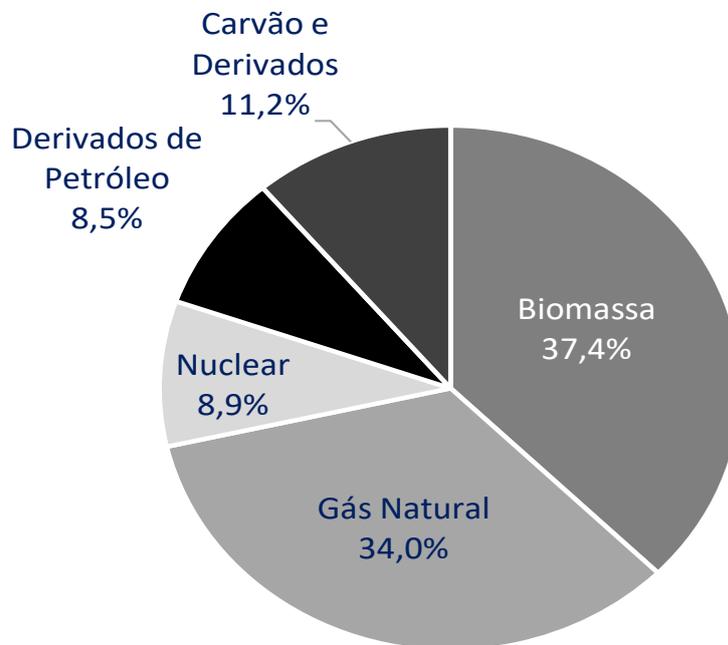
Como muitas biomassas são sazonais em seus processos de produção, sobretudo as provenientes do setor agrícola, seu aproveitamento energético deve considerar estas variações mensais na oferta do recurso. Por essa diferença sazonal e pelas diferenças entre as características de cada potencial fonte de biomassa para a exploração energética, a previsão do potencial de geração é imprecisa, sendo necessária uma previsão de potencial específica para cada tipo de fonte.

Para a geração de energia elétrica, ainda deve ser considerada a possibilidade de geração por mais de uma frente, com a possibilidade de geração por queima direta, pela produção de biogás para queima e a produção de biocombustíveis. A geração de energia por biomassa está associada ao seu uso como combustível para o abastecimento de usinas termelétricas, sendo considerada uma fonte renovável por ter renovação em ciclos curtos e considerada uma forma

de mitigação de emissões, pelo sequestro de carbono no período de crescimento das fontes vegetais.

Atualmente, já há participação expressiva da biomassa como combustível na geração termelétrica, incluindo bagaço de cana-de-açúcar, lixo, lenha, e outras fontes primárias. A Biomassa é responsável por 37,4% das fontes de geração de energia termelétrica, um percentual relativamente elevado, mas ainda longe das possibilidades de expansão presentes em um país com o nível de produção agrícola do Brasil, com o restante das fontes vindo em sua maioria do carvão mineral e do gás natural.

Gráfico 15: Participação de cada fonte na geração termelétrica 2020



Fonte: BEN 2021 (2021)

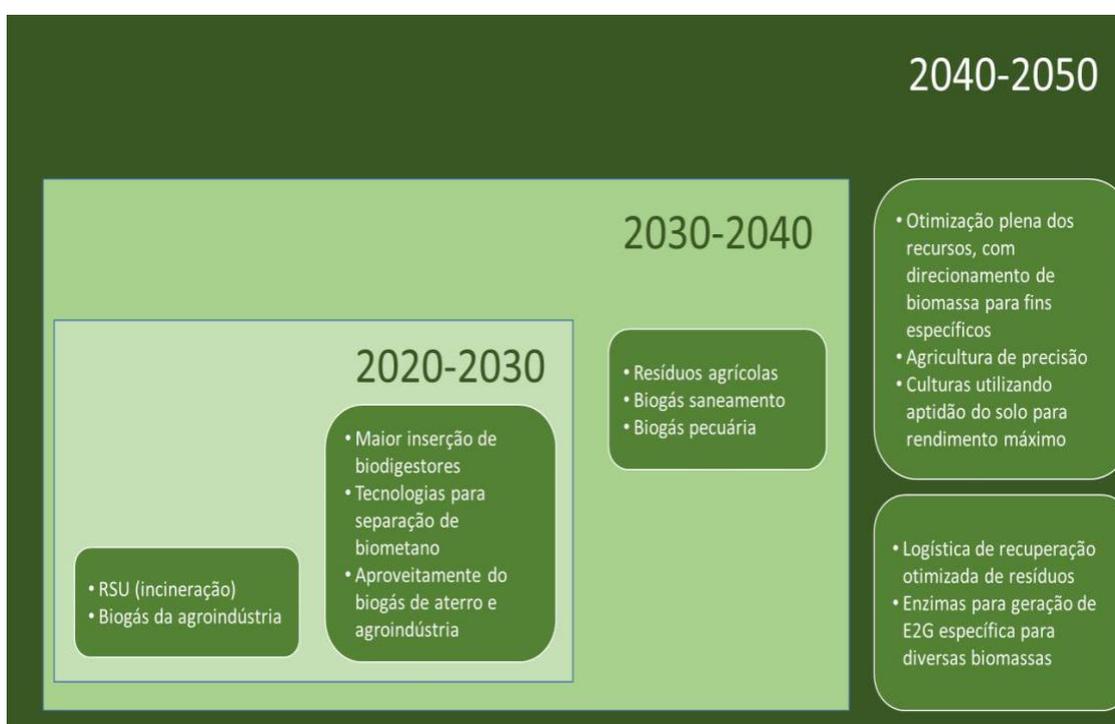
O PNE 2050, vê a energia proveniente da biomassa como possuindo elevada margem para incremento da produção de biomassa, com o país tendo condições de aumentar a participação de biocombustíveis no mercado doméstico e internacional de maneira sustentável

O cenário proposto, considera que o aumento da produção de biomassa levará a uma maior oferta de insumos energéticos renováveis que podem ser direcionados para geração elétrica. Portanto considera relevante analisar a utilização da palha da cana e de outras culturas para ampliação do fator de capacidade das usinas termelétricas que fazem uso desta fonte. Considerando como passo chave implementar sistemas de coleta que preservem as condições agronômicas e apresentem custos competitivos, tecnologia para redução da umidade da

biomassa além do desenvolvimento de alternativas para o armazenamento de biomassa até a entressafra e/ou de energia e outras rotas tecnológicas.

Há uma série de tecnologias que podem ser consideradas passos construtivos para uma realidade de maior aproveitamento do potencial de geração de energia a partir de Biomassa. Essas tecnologias e sua gradual implantação são fatores que devem impactar a escala de negócios do mercado de biomassa e sua penetração na matriz energética como um todo, podendo alavancar os graus de produção e garantir segurança no abastecimento. Os insumos e tecnologias ainda não utilizados em larga escala e que contam com perspectivas para penetração na matriz energética estão apresentados na Figura a seguir:

Figura 4: Insumos e tecnologias para a produção de Biomassa



Fonte: PNE 2050 (2021)

Talvez o principal desafio técnico para ao aproveitamento ótimo da energia proveniente da biomassa no Brasil seja diversidade de qualidade do produto e assimetria de informação, pois a inexistência de padronização da biomassa como combustível, impede seu maior aproveitamento e a diversidade de qualidade leva a uma significativa assimetria de informação, aumentando os custos de transação da fonte.

Há também problemas relacionados ao fato de, por possuir diversas fontes geradoras, a produção de biomassa depender de políticas definidas por vários atores públicos diferentes. Por

ter boa parte da sua produção advinda do meio agrícola, a produção de biomassa depende de políticas e diretrizes definidas pelo Ministério da Agricultura, entre outros tomadores de decisão com maior poder sobre a localidade de produção.

O armazenamento da biomassa é outro fator que deve ser levado em conta para que seu uso energético seja viável, pois a variação na umidade (um fator importantíssimo para o seu uso como combustível), na quantidade e na qualidade da biomassa quando armazenada por muito tempo ou de maneira inadequada é causa de perdas elevadas e de diminuição na confiabilidade do seu uso.

Também há a necessidade de se estabelecer a produção de biomassa como um mercado autônomo, para evitar que haja conflito com a produção de alimentos no ritmo normal. A dualidade na produção de alguns tipos de biomassa, como por exemplo o uso da cana no mercado de etanol, trás flutuações extras ligadas ao mercado específico de cada commodity, além de ser contraproducente a segurança nacional ter essa disputa entre a produção de alimentos e a produção de energia.

Como uma das medidas mitigadoras aos desafios impostos pela expansão da geração por biomassa, pode-se citar: articular, junto com autoridades competentes, a divulgação do cumprimento da legislação de proteção ao meio ambiente na cadeia de produção. Pois a redução de emissões de gases de efeito estufa associada a produção de biocombustíveis é um resultado expressivo das políticas de mitigação associadas ao cumprimento das legislações de proteção ao meio ambiente.

A sinergia entre os criadores de políticas públicas voltadas para esse segmento deve ser um fator chave durante o processo de tomada de decisões a respeito da expansão na geração por biomassa para que o grau de confiabilidade e a escala de produção se tornem elevados.

A biotecnologia poderá proporcionar um ganho de eficiência na produção de biocombustíveis, tanto na parte agrícola quanto industrial, aumentando a produtividade global deste segmento. Destacam-se o desenvolvimento de variedades transgênicas e enzimas, assim como a adaptação das etapas de processo para oferta de novos produtos. Novas tecnologias podem vir a utilizar biomassas heterogêneas com elevada eficiência, aumentando a oferta de energia desta fonte. Alternativas atuais ainda são pouco competitivas, mas, a longo prazo, espera-se que o consórcio de biomassas diversas seja otimizado, reduzindo ao máximo os resíduos deste processo

## 9 Resultados

O estudo relatou o estágio atual da transição energética no Brasil com foco nos seus avanços relativos ao setor elétrico, contextualizando a rede elétrica nacional, seu funcionamento e mecanismos, relatando as alterações da composição da matriz elétrica, a participação das fontes não renováveis e renováveis, a capacidade instalada, a geração, o consumo da energia elétrica, o potencial de geração das energias renováveis e os cenários para a transição energética no país.

Há no Brasil uma tendência natural de desenvolvimento das fontes de energia renovável, a matriz elétrica já possui no ano de 2020, 84,8% de participação das fontes renováveis na matriz. Apesar da forte concentração dessa participação ser nas fontes hídricas, pode-se observar o crescimento gradual das outras fontes de energia, a energia solar corresponde por 90,4% da geração distribuída, um exemplo de como outras fontes de energia podem se desenvolver de forma satisfatória.

O Governo, já implementa algumas medidas incipientes para o avanço da transição energética na matriz elétrica. Além da entrada das energias eólica, solar e de biomassa com maior destaque nos leilões de contratação de energia, programas como o Programa de Incentivo as Fontes Alternativas são passos importantes para que essa tendência do país de desenvolvimento das fontes de energia renovável faça parte do planejamento estratégico federal, podendo ser alavancado por meio desses mecanismos de incentivo.

O cenário final para a transição energética do setor elétrico no país é um cenário com 75% da matriz elétrica sendo composta de fontes exclusivamente renováveis e com grau de emissão de gases do efeito estufa de 0%, este cenário apesar de aparentemente custoso é um cenário que o Brasil definitivamente pode atingir e em menos tempo que a maioria dos países em desenvolvimento ou desenvolvido, pois nossa matriz elétrica já é uma matriz essencialmente mais limpa e o potencial de geração das demais fontes renováveis como alternativa a hídrica é bastante elevado.

O maior desafio, para se atingir a transição energética no setor elétrico do Brasil, é conseguir estabelecer uma sinergia entre as políticas públicas e os desenhos de mercado associados ao sistema elétrico, é preciso ter em mente que a coerência e o equilíbrio entre esses dois agentes é a chave para que a transição ocorra de maneira mais rápida e ordenada.

## 10 Conclusão

Com este trabalho foi possível obter um panorama geral sobre a transição energética no Brasil, com ênfase na transição do sistema elétrico para uma matriz de geração limpa e renovável. Foi possível observar o estágio atual das fontes de energia renováveis no sistema elétrico e enumerar os diferentes cenários e desafios para o aumento da sua participação.

O Brasil, possui uma matriz elétrica majoritariamente renovável, a maioria dessa energia é proveniente de fontes hídricas, com a produção partindo majoritariamente de usinas hidrelétricas de porte elevado. Há flutuações na série histórica de geração e participação das fontes renováveis por problemas ocasionados pela sazonalidade de determinadas bacias hidrográficas e secas prolongadas.

O Governo Federal tem buscado incentivar o aumento da participação de outras fontes de energia renovável na matriz elétrica, com ênfase para a Energia Eólica, Energia Solar e a Geração de Energia através de Biomassa. Há iniciativas para aumentar o destaque dessas fontes nos mecanismos de contratação de energia utilizados no sistema elétrico e melhorar as resoluções e normas associadas a elas. O Brasil possui atualmente no seu Plano Nacional de Energia para o ano de 2050 um espaço específico para o tema, onde, apesar de não haver políticas específicas para a pauta, há uma série de diretrizes, recomendações, análises de cenário e informações base para apoiar a tomada de decisões e nortear os rumos da transição no país.

A transição energética da matriz elétrica brasileira é definida pelo Plano Nacional de Energia 2050 como sendo uma combinação de participação majoritária das fontes renováveis na matriz com nível de emissões de gases de efeito estufa próxima de 0%. O Brasil possui um nível alto de capacidade de geração através de fontes renováveis, mesmo nos cenários conservadores é visto nas simulações da EPE que até o ano de 2050 a matriz elétrica brasileira seja composta por cerca 75% de fontes exclusivamente renováveis, havendo abertura também para um cenário em que todo o sistema apresente 100% de geração por energias renováveis ou no mínimo um cenário com 0% de emissões de gases de efeito estufa.

Portanto, conclui-se que é de interesse nacional tomar a frente em iniciativas que promovam e acelerem o processo de transição energética na matriz elétrica e uma maior eletrificação total no país. Interessa ao Brasil aliar seu crescimento econômico e aumento no nível de desenvolvimento com o uso de fontes de energia limpa e que promovam pouco nível de emissões de gases do efeito estufa, para que o país desponte não só como uma potência energética, mas também como um exemplo de crescimento com sustentabilidade e qualidade de vida.

## Referências

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Energia 2050**. Ministério de Minas e Energias. Brasília, 2020. Disponível em:

< <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf> >. Acesso em: 15. jul. 2021.

\_\_\_\_\_. **Balço Energético Nacional 2021: Ano base 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em:

< [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2020\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2020_PT.pdf) > Acesso em: 10. jul.2021.

EÓLICAS são destaque pelo quarto mês seguido. **ANEEL**. Disponível em: <<https://bit.ly/33iKSok>>. Acesso em 20 ago. 2021.

RESOLUÇÃO 482 da Aneel principais pontos comentados. **BLUESOL**. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/resolucao-482-da-aneel-guia-completo/>>. Acesso em 10. jul. 2021.

ENERGIA eólica no Brasil. **ABEEólica** . Disponível em: < <http://abeeolica.org.br> > . Acesso em 10. ago. 2021.

\_\_\_\_\_. **Comercialização de Energia**. Disponível em:

< [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/comercializacao?\\_adf.ctrl-state=83sdeoqzs\\_6&\\_afLoop=331251289424031#!%40%40%3F\\_afLoop%3D331251289424031%26\\_adf.ctrl-state%3D83sdeoqzs\\_10](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_adf.ctrl-state=83sdeoqzs_6&_afLoop=331251289424031#!%40%40%3F_afLoop%3D331251289424031%26_adf.ctrl-state%3D83sdeoqzs_10)>. Acesso em 18. jul. 2021

ENERGY Transition. **IRENA**. Disponível em: <<https://www.irena.org/energytransition>>. Acesso em 9.jul. 2021

\_\_\_\_\_. **Tipos de Leilão**. Disponível em:

< [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-que-fazemos/como\\_ccee\\_atua/tipos\\_leiloes\\_n\\_logado?\\_afLoop=331552103281490&\\_adf.ctrl-state=83sdeoqzs\\_98#!%40%40%3F\\_afLoop%3D331552103281490%26\\_adf.ctrl-state%3D83sdeoqzs\\_102](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_afLoop=331552103281490&_adf.ctrl-state=83sdeoqzs_98#!%40%40%3F_afLoop%3D331552103281490%26_adf.ctrl-state%3D83sdeoqzs_102)> . Acesso em 19. jul. 2021

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA. **ANEEL**. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> . Acesso em 15. jul. 2021

PROINFA. ANEEL. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/proinfa> > Acesso em 13. jul. 2021.

\_\_\_\_\_. **Estrutura e instituições do Sistema Elétrico Brasileiro.** Disponível em:

< [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/com\\_quem\\_se\\_relaciona?\\_afz.ctrl-state=83sdeoqzs\\_165&\\_afz.Loop=333615708057879#!%40%40%3F\\_afz.Loop%3D333615708057879%26\\_afz.ctrl-state%3D83sdeoqzs\\_169](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/com_quem_se_relaciona?_afz.ctrl-state=83sdeoqzs_165&_afz.Loop=333615708057879#!%40%40%3F_afz.Loop%3D333615708057879%26_afz.ctrl-state%3D83sdeoqzs_169) >. Acesso em 19. jul. 2021

\_\_\_\_\_. **Leilão de Energia Nova.** Disponível em:

< [https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos\\_menu\\_lateral/leiloes?\\_afz.ctrl-state=83sdeoqzs\\_219&\\_afz.Loop=333826582849375#collapseExampleCCEE\\_665663](https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes?_afz.ctrl-state=83sdeoqzs_219&_afz.Loop=333826582849375#collapseExampleCCEE_665663) >. Acesso em: 15. ago. 2021.

\_\_\_\_\_. **Energy Transition 101.** Disponível em:

< [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Energy\\_Transition\\_101\\_2020.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Energy_Transition_101_2020.pdf) >. Acesso em: 2. jul. 2021.

Final Consumption – Key World Energy Statistics . **IEA.** Disponível em:

< <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020/final-consumption> >. Acesso em 21. jun. 2021

\_\_\_\_\_. **World Economic Outlook – October 2020.** Disponível em:

<https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WEO/2020/October/English/text.ashx> . Acesso em 21. jun. 2021

GRUBLER, Arnulf *et al.* Apples, oranges, and consistent comparisons of the temporal dynamics of energy transitions. **Energy Research & Social Science**, Londres, v. 22, 3 set. 2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629616301980>> . Acesso em: 25 jun. 2021.

SMIL, Vaclav. **Energy and Civilization: A History.** Massachusetts: MIT Press, 2017. 568 p.

PETIT, Vincent. **The New World of Utilities: A Historical Transition Towards a New Energy System.** Suíça: Springer, 2019. 212 p.