

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LUIZ PAULO ELIAS DOS SANTOS

**PANORAMA GERAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
NO BRASIL**

São Carlos
2020

LUIZ PAULO ELIAS DOS SANTOS

**PANORAMA GERAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA NO BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

**São Carlos
2020**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

S237p Santos, Luiz Paulo Elias dos
Panorama geral da geração de energia fotovoltaica
no Brasil / Luiz Paulo Elias dos Santos; orientador
Frederico Fábio Mauad. São Carlos, 2020.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2020.

1. Energia solar . 2. Energia fotovoltaica. 3.
Geração distribuída. 4. Revisão REN 482. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Luiz Paulo Elias dos Santos

Título: "Panorama geral da geração de energia fotovoltaica no Brasil"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 23/11/2020,

com NOTA 8,0 (oito), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Frederico Fabio Mauad - Orientador -
SHS/EESC/USP

Prof. Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior - SEL/EESC/USP

Mestre Talyson de Melo Bolleli Doutorando/Eng. Ambiental -
EESC/USP - Doutorando/Eng. Ambiental - EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Rita e Oswaldo, pelo amor e por não deixarem de acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família. Especialmente aos meus pais, Oswaldo e Rita, meu muito obrigado por todo suporte, confiança e amor incondicional. Vocês tornaram tudo isso possível. E ao meu irmão, Davi, obrigado pelos momentos.

À Elise, minha melhor amiga e companheira, agradeço pelo suporte, motivação e momentos divididos em todos esses anos.

Agradeço ao professor e orientador Frederico Mauad, pela oportunidade e suporte ao realizar este trabalho. Agradeço também ao professor José Carlos e à Talyson Bolleli, por aceitarem o convite para compor a banca examinadora.

Deixo um agradecimento especial à minha avó, Iraci Marques dos Santos, por ser exemplo de doçura e doação. Levarei pra sempre comigo os nossos momentos e a sua torcida.

“The gift of mental power comes from God, divine being, and if we concentrate our minds on that truth, we become in tune with this great power”

Nikola Tesla

RESUMO

SANTOS, L. P. E. **Panorama Geral da Geração de Energia Fotovoltaica no Brasil**. 2020. 98f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Este trabalho traz a contextualização do cenário energético mundial, quanto às oportunidades das fontes renováveis frente ao crescimento da demanda energética. Apresenta características energéticas e do setor elétrico brasileiro. Também insere conhecimentos básicos sobre a energia solar fotovoltaica, desde sua evolução histórica, até a tecnologia de aproveitamento da irradiação solar e a composição dos sistemas fotovoltaicos. Por fim e mais importante, o presente trabalho apresenta diversas características da energia solar fotovoltaica no Brasil, como seus aspectos técnicos de geração; aspectos políticos, econômicos e de mercado; aspectos sociais e ambientais; apresenta as dificuldades e perspectivas desta fonte no país e também trata sobre os conceitos, propostas e expectativas quanto à revisão da REN 482 da ANEEL.

Palavras-chave: Energia solar; Energia fotovoltaica; Geração distribuída; Geração centralizada; Revisão REN 482.

ABSTRACT

SANTOS, L. P. E. **Overview of photovoltaic energy generation in Brazil.** 2020. 98p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

This project brings the context of the global energy scenario, regarding the opportunities of renewable sources in view of the growth in energy demand. It presents energy characteristics and the Brazilian electric sector. It also inserts basic knowledge about photovoltaic solar energy, from its historical evolution, to the technology of harnessing solar irradiation and the composition of photovoltaic systems. Finally and most importantly, the present work presents several characteristics of solar photovoltaic energy in Brazil, such as its technical aspects of generation; political, economic and market aspects; social and environmental aspects; presents the difficulties and perspectives of this source in the country and also deals with the concepts, proposals and expectations regarding the revision of ANEEL's REN 482.

Keywords: Solar energy; Photovoltaic energy; Distributed generation; Centralized generation; Review of REN 482;

SUMÁRIO

1 Introdução	16
2 Energia e sua dinâmica no mundo	18
2.1 Cenário energético mundial	18
2.1.1 Produção energética	18
2.1.2 Matriz energética mundial	22
2.2 Energia elétrica no mundo	23
2.2.1 Fontes para geração de energia elétrica	23
2.2.1.1 Fontes não renováveis	24
2.2.1.2 Fontes renováveis	25
2.2.2 Matriz elétrica mundial	25
2.2.2.1 Projeções e cenários	26
2.3 Desenvolvimento sustentável	28
3 Energia elétrica e o cenário energético brasileiro	30
3.1 Matriz energética brasileira	30
3.2 Setor elétrico brasileiro	31
3.2.1 Contextualizando o Sistema Interligado Nacional (SIN)	31
3.2.2 Novo modelo e estrutura institucional do setor elétrico	33
3.2.3 Matriz elétrica brasileira	34
4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	37
4.1 Breve histórico	38
4.2 Princípio de conversão da energia solar fotovoltaica	39
4.3 Células e módulos fotovoltaicos	41
4.4 Sistemas fotovoltaicos	46
4.4.1 Sistemas isolados (off-grid)	46
4.4.2 Sistemas conectados à rede (on-grid)	47
4.4.3 Sistemas híbridos	48
4.5 Vantagens e desvantagens da geração fotovoltaica	49
5 PANORAMA BRASILEIRO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	51
5.1.1 Capacidade instalada	51
5.1.2 Geração de energia elétrica	52
5.1.3 Potencial fotovoltaico	53
5.1.4 Geração centralizada	56
5.1.5 Geração distribuída	59
5.2 Aspectos de mercado, econômico e político	62
5.2.1 Custos e investimentos	63
5.2.2 Incentivos e legislação	65
5.2.3 Fatores negativos no cenário político-econômico	69
5.2.4 Indústria fotovoltaica	70
5.3 Aspectos sociais e ambientais	72

5.3.1 Acesso à energia elétrica	73
5.3.2 Geração de empregos	76
5.3.3 Questões ambientais	78
5.4 Dificuldade, desafios e perspectivas	79
5.4.1 Barreiras à geração distribuída	79
5.4.2 Atualização da REN 482/12 e o impacto ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE)	81
5.4.3 Perspectivas para geração solar fotovoltaica	84
6 CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS	88

1 Introdução

No atual cenário mundial, em que há uma acelerada e robusta cadeia de produção e consumo, existe uma elevada e contínua demanda por energia, a qual só tende a crescer ano após ano. Em paralelo, correm as tão discutidas e reivindicadas questões ambientais, pautadas na redução de emissão de gases de efeito estufa, poluição e degradação do meio ambiente. De fato, o futuro da vida no planeta depende do contínuo consumo de energia, mas também da proteção ambiental, principalmente.

Nos últimos anos houve mudanças no padrão do consumo energético, em que reduziram-se as taxas de crescimento de combustíveis fósseis e aumentaram-se a taxa de crescimento no consumo de fontes renováveis. Isso indica dois possíveis movimentos: desenvolvimento da paridade competitiva das fontes renováveis e políticas de sustentabilidade.

Em alguns aspectos, diante do aumento da expressividade das fontes renováveis, o cenário brasileiro tende a ser similar ao cenário mundial. Sendo assim, a energia solar fotovoltaica ganhou força nos últimos anos na matriz elétrica do país, porém de forma mais acanhada devido à grande disponibilidade de outros recursos energéticos para geração de energia elétrica, como o grande potencial e capacidade hidráulica.

O desenvolvimento da fonte solar no Brasil, na última década, foi amparada por incentivos do governo que contribuíram para o aumento da demanda a taxas elevadas, a cada ano que passa. A geração fotovoltaica de energia elétrica contribui então para o aquecimento da economia, com o surgimento de muitas empresas e geração de empregos. Contribui ainda nos âmbitos social e ambiental, como, por exemplo, proporcionar o acesso de milhões de brasileiros à energia elétrica e reduzir impactos ao meio ambiente ao diminuir a emissão de gases poluentes, respectivamente. Estes são alguns exemplos, dentre os mais variados benefícios que o emprego e evolução da geração FV trouxeram ao Brasil.

Diante de tantos benefícios e da queda constante dos preços da tecnologia fotovoltaica, cria-se a ilusão de que esta fonte não encontra problemas para se desenvolver no país. Para tanto, existem levantamentos e estudos sobre os mais diversos cenários, que buscam considerar as melhores tomadas de decisão para o desenvolvimento da fonte.

Este trabalho, baseado no que foi exposto neste capítulo, tem por objetivo expor o histórico e a situação atual do cenário brasileiro da energia solar fotovoltaica, baseados em características técnicas, econômicas, sociais e ambientais, do Brasil. Para tal, parte-se da

apresentação do cenário energético e elétrico mundial, no capítulo 2. Adiante, no capítulo 3, é contextualizada a energia elétrica no país, quanto à matriz e setor elétrico. No capítulo 4 são apresentados os conceitos e características da tecnologia fotovoltaica. Chega-se então, no quinto capítulo, ao panorama geral da energia solar fotovoltaica no país, suas características, conquistas e futuro. O penúltimo capítulo é a conclusão de todo o estudo e levantamento. E o último capítulo, as referências.

2 Energia e sua dinâmica no mundo

A evolução do Homem está intimamente ligada ao seu consumo de energia. Desde o simples fato de existir, o homem primitivo já era obrigado a retirar energia da natureza e 2 kcal já eram o suficiente para suprir suas necessidades diárias como alimentação e respiração, entre outras. Ao passo que o homem evoluiu e adquiriu maior conhecimento, passou a otimizar suas atividades e costumes, que resultaram no aumento da demanda por energia e no surgimento de novas fontes. Exemplo simples é o domínio do fogo pelo Homem, que otimizou muitos processos do seu dia a dia, tornando-o dependente de um maior consumo de energia. Naquele momento da história, seu consumo ultrapassou bastante aqueles 2 kcal, uma vez que a queima da madeira produz 3.100 kcal por quilograma. Domínio sobre novas fontes de energia, proporcionou o desenvolvimento do ser humano, ao longo do tempo.

Para viver atualmente, o homem se utiliza da queima diária de óleo diesel, querosene, gasolina, gás natural, carvão, que são utilizados principalmente nos meios de transportes, na eletrificação residencial e nos meios de produção em geral. Numa sociedade atual, principalmente de primeiro mundo, quase tudo que o homem utiliza é industrializado, da água que bebe ao alimento que come, à climatização ambiental de onde vive, se movimenta e trabalha (ORNELLAS, 2006, p.61).

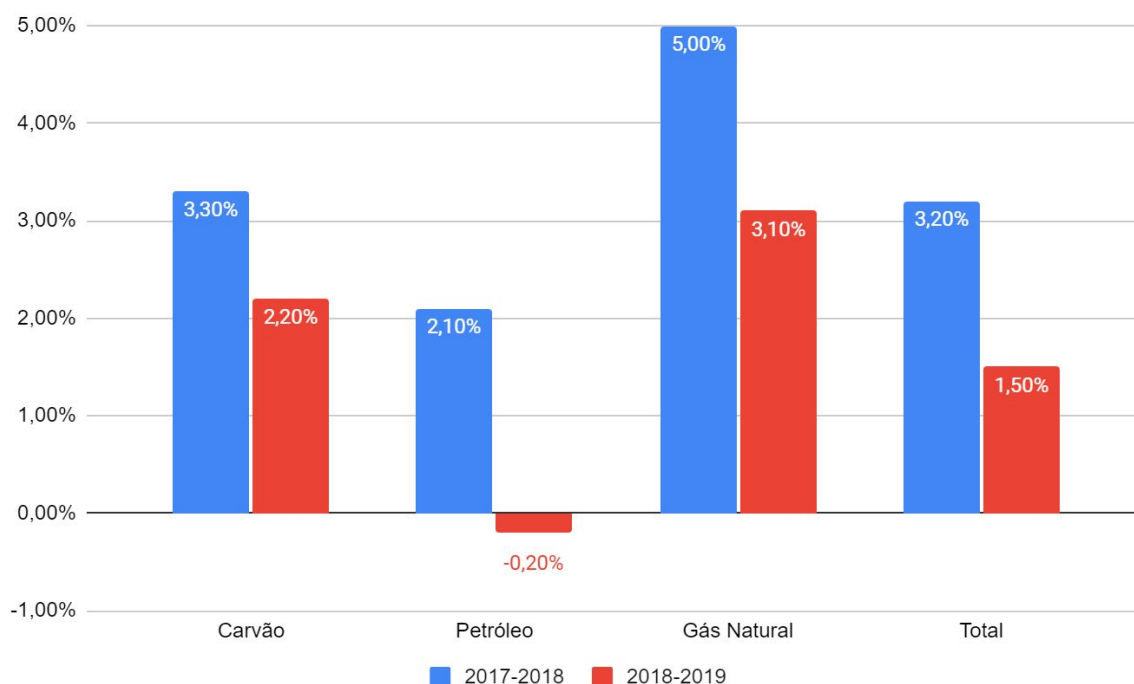
Dentre as formas de energia, a energia elétrica acompanhou a evolução do homem durante longo período até que fosse dominada. Esse domínio expandiu mais uma vez as possibilidades de desenvolvimento do ser humano. Ainda hoje e cada vez mais, a expansão do uso e conhecimento da energia elétrica se faz fundamental à vida humana na organização mundial em que vivemos, por ser uma das formas de energia mais utilizadas e essencial ao desenvolvimento econômico e social.

2.1 Cenário energético mundial

2.1.1 Produção energética

Mesmo nos dias atuais, a utilização de fontes de energias fósseis continua a crescer no mundo. Ainda que num ritmo menos acelerado, 2019 apresentou um crescimento de +1,5% uma vez que 2018 registrou crescimento de 3,2%. A figura 1 mostra que o gás e carvão natural reduziram a taxa de crescimento de 5% para 3,1% e de 3,3% para 2,2%. Já a produção de petróleo apresentou queda de -0,2%, no mesmo período de comparação. O carvão e o gás natural foram então os responsáveis pelo crescimento dos combustíveis fósseis na produção de energia no mundo em 2019 (IEA, 2020).

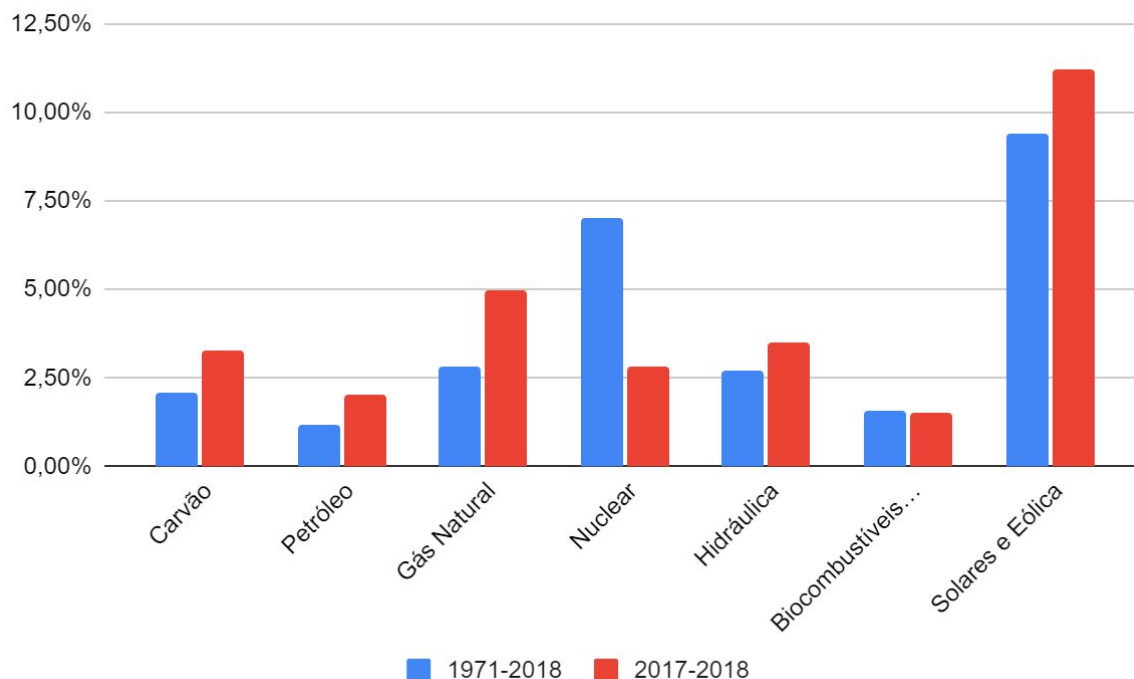
Figura 1 - Variação anual da produção de combustíveis fósseis- por combustível.



Fonte: Adaptado de IEA (2020, p.3).

A produção de energia mundial apresentou em 2018, comparado a 2017, um crescimento de 3,2% e produziu 14.421 Mtep (Milhões de toneladas equivalentes de petróleo). Energias renováveis e nuclear também apresentaram crescimento, sendo de 60 Mtep e 19 Mtep, respectivamente. Combustíveis fósseis representaram, nesse período, parcela de 81% em toda a produção energética do mundo (IEA, 2020). A figura 2 ilustra a variação média da produção de 1971 a 2018, comparado à variação entre 2017 e 2018 :

Figura 2: Variação anual da produção de energia - por combustível



Fonte: Adaptado de IEA (2020. p.4).

Todas as fontes de energia não-fósseis tiveram crescimento na produção de energia. Biocombustíveis e resíduos (industriais e animais) tiveram crescimento de 1,5% na produção em 2018, taxa pouco maior que a do ano anterior. Sua participação caiu 0,16% na produção mundial de energia, mas ainda representa 9,2%. Já a energia hidráulica teve um crescimento relevante de 3,5% em 2018, responsabilizando-se por 2,5% da produção mundial de energia, com seu valor histórico de 362 Mtep (IEA, 2020).

Energias renováveis como solar (fotovoltaica e térmica) e a energia eólica continuaram a crescer em 2018, porém sob taxas menores de crescimento (IEA,2020):

- Solar Fotovoltaica cresceu 24,7% em 2018;
- Solar Térmica cresceu 12,4% em 2018;
- A energia eólica manteve o crescimento de 3,2% de 2017 em 2018.

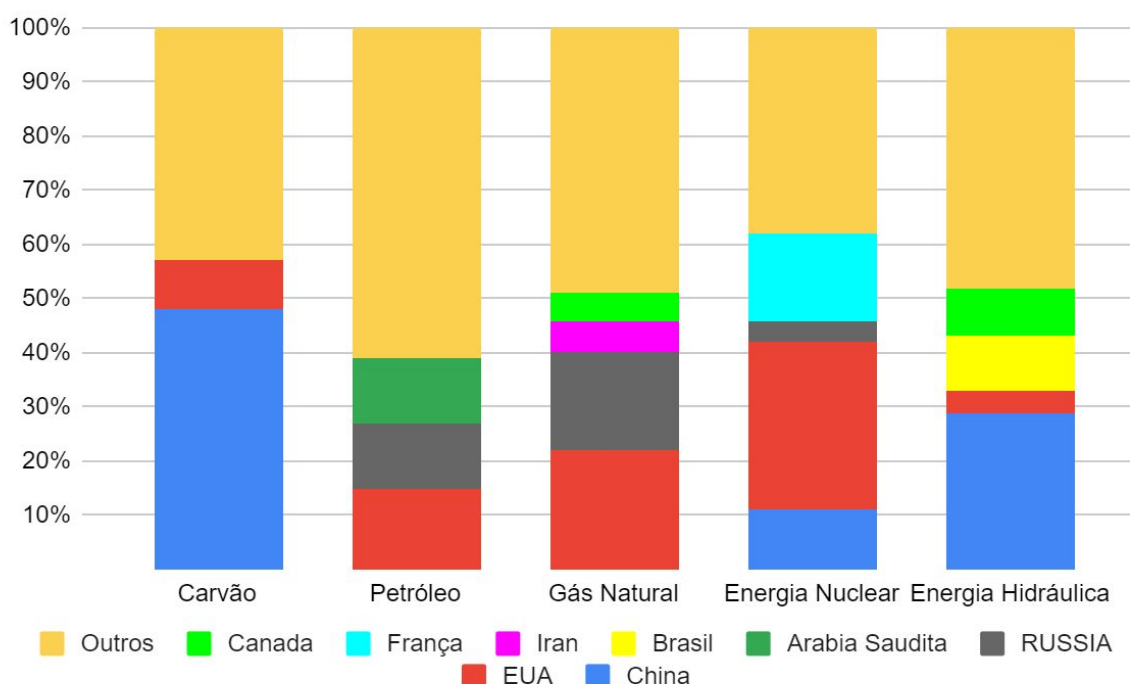
A Energia Geotérmica manteve o mesmo crescimento de produção de 2017 em 2018, de 7,2% e manteve, juntamente com a energia solar e eólica, parcela de 2% de participação na produção mundial de energia (IEA, 2020).

A produção de energia nuclear teve crescimento de 2,8% em 2018, mantendo 5% de participação na produção global de energia (IEA, 2020).

Questões econômicas e geográficas resultam num forte domínio de poucos países sobre toda a energia produzida no mundo. A China produz 48% de toda energia mundial que tem carvão como fonte e 28% de toda energia hidráulica. Da produção nuclear, a França e os Estados Unidos detêm 46% da produção. E referente ao petróleo cru, 40% de toda produção mundial está no controle dos Estados Unidos, Arabia Saudita e Rússia (IEA, 2020).

Neste cenário, o Brasil aparece como um dos maiores produtores de energia hidráulica, sendo responsável por aproximadamente 10% de toda produção de energia por fonte hidráulica no mundo, como ilustra a figura 3, referente aos maiores produtores de energia por combustível (IEA, 2020):

Figura 3: Maiores Produtores de Energia por Combustível



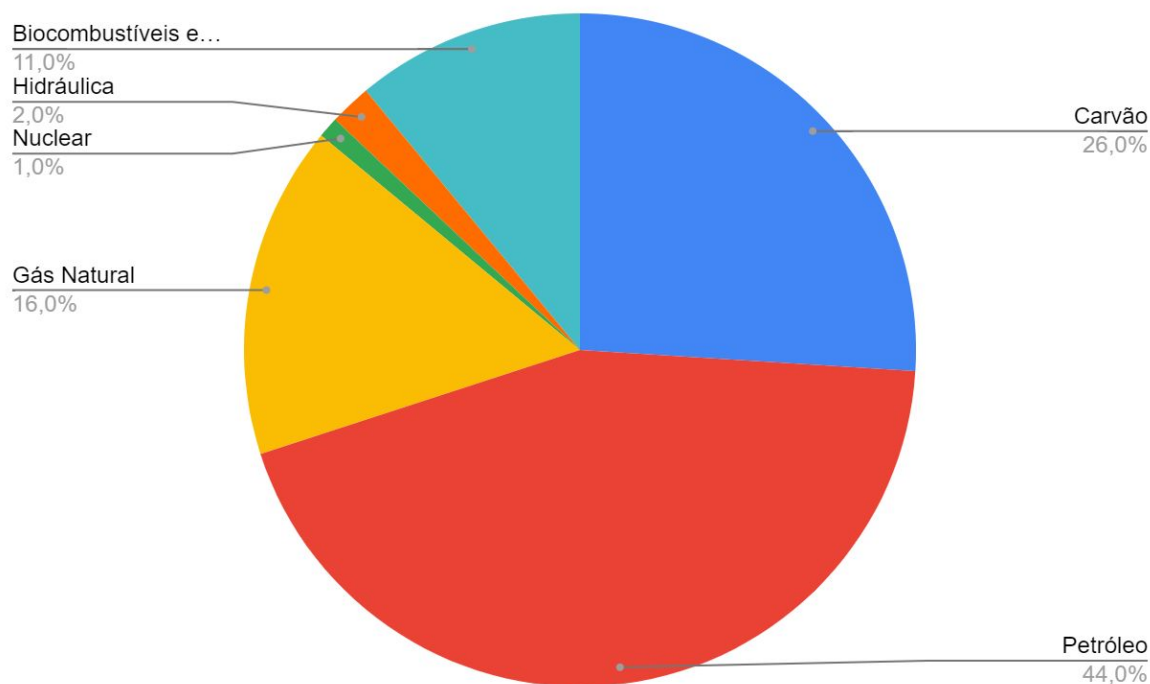
Fonte: Adaptado de IEA (2020, p.8).

O ranking dos maiores produtores, destas cinco principais fontes de energia, é sempre estável e dificilmente um país troca de posição com outro. Porém em 2018, o Brasil se destacou ao ultrapassar o Canadá na produção de energia hidráulica, ficando com o segundo lugar da posição mundial desta fonte (IEA, 2020).

2.1.2 Matriz energética mundial

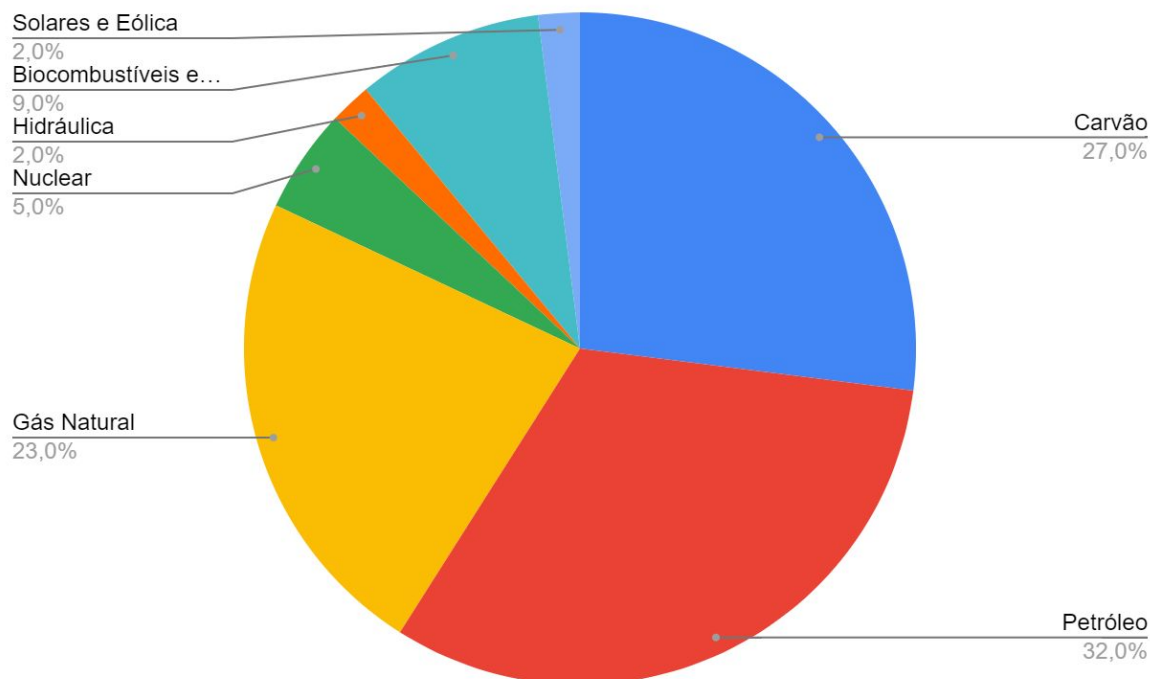
Toda essa dinâmica variável das fontes na produção de energia é resultado de questões socioeconômicas e ambientais. No âmbito ambiental, existem preocupações como a emissão de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa, e no âmbito socioeconômico tem-se, como uma das preocupações, a busca por combustíveis mais baratos e que garantam a segurança energética (continuidade do abastecimento) (CIBIE, 2020). Todas essas questões contribuem para uma constante mudança na matriz energética mundial. As figuras 4 e 5, ilustram respectivamente a matriz energética mundial de 1971 e a de 2018, período em que o consumo de energia cresceu 2,6 vezes, passando de 5.519 Mtep para 14.282 Mtep (IEA, 2020):

Figura 4 - Matriz energética mundial em 1971



Fonte: Adaptado de IEA (2020, p.9).

Figura 5 - Matriz energética mundial em 2018



Fonte: Adaptado de IEA (2020, p.9).

Dentre as mudanças na matriz energética nesses 47 anos de avaliação, a mais notável é a queda da utilização do petróleo, de 44% para 32%. Outro ponto importante a se destacar é o surgimento e a participação concreta das energias renováveis solares e eólicas, que representam 2% na matriz energética e tiveram grandes avanços em questões ambientais (IEA, 2020).

2.2 Energia elétrica no mundo

A energia elétrica é uma das principais e mais usadas formas de energia, pois apresenta baixas perdas na conversão da energia primária e facilidade no seu transporte até onde será utilizada, além de suas características e usabilidade exclusivas.

2.2.1 Fontes para geração de energia elétrica

Diversas fontes de energia estão disponíveis na natureza e são chamadas de fontes primárias de energia. São elas os recursos fósseis, a energia solar, energia cinética das águas e dos ventos, as quais podem dar origem à energia elétrica, fonte secundária de energia, por meio de tecnologias de conversão/geração como turbinas hidráulicas, por exemplo (CEMIRIM, 2020). Há quatro tipos de transformação que podem gerar eletricidade (REIS, 2015):

- Transformação de trabalho gerado por energia mecânica. Neste tipo de transformação existem, dentre outras tecnologias, a utilização de pás de aerogeradores, acionadas pelo vento, e turbinas hidráulicas acionadas pelo fluxo d'água;
- Transformação de trabalho resultante da energia solar, combustão, fissão nuclear e energia geotérmica, através de máquinas térmicas;
- Transformação de trabalho resultante de reações químicas. Nestes processos são utilizadas células a combustível. Baterias são exemplos deste tipo de transformação;
- Transformação direta da energia solar. Mais comumente utilizado é a célula fotovoltaica.

Fontes de energia primárias, também são divididas em dois grupos de classificação: fontes renováveis e não renováveis (CEMIRIM, 2020).

2.2.1.1 Fontes não renováveis

São fontes de energia primárias que podem se esgotar devido à velocidade de utilização ser mais rápida que a de formação, como no caso do petróleo que levou milhares de anos para se formar. Dentro deste grupo de fontes de energia, estão os combustíveis derivados do petróleo, carvão mineral, gás natural, energia geotérmica e combustíveis radioativos como o urânio e plutônio, entre outros (REIS, 2015).

Segundo a EPE (2020b, on-line), “as fontes de energia não renováveis também são conhecidas como fontes de energia convencionais, quando formam a base de suprimento (fornecimento) de energia”.

Quanto à geração de energia elétrica a partir destas fontes, chamada de geração termelétrica, baseia-se na transformação destas fontes em energia térmica, que será transformada em energia mecânica que, por fim, será aproveitada por tecnologias que a converterá em eletricidade (REIS, 2015). A tecnologia de transformação de energia térmica em energia mecânica, baseia-se no aquecimento da água para gerar vapor, que por sua vez moverá turbinas geradoras de eletricidade (EPE, 2020b).

2.2.1.2 Fontes renováveis

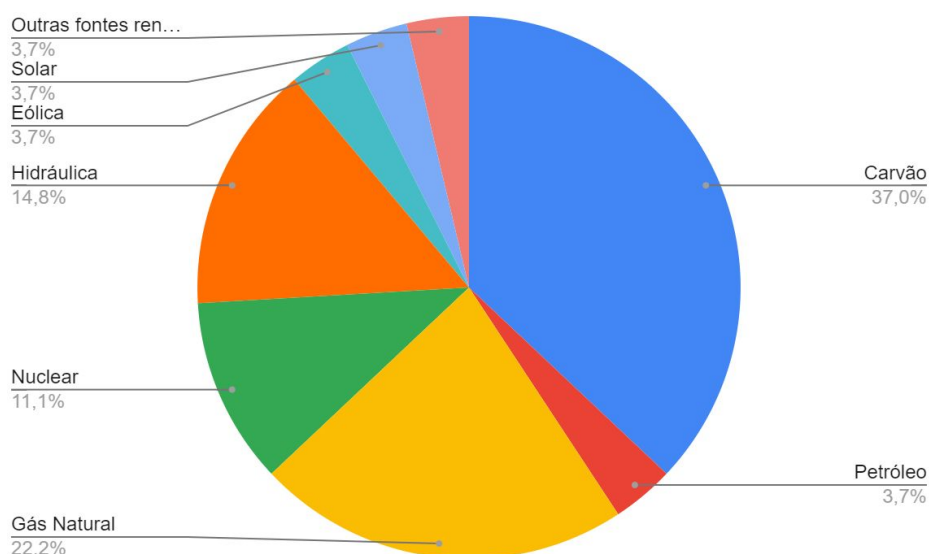
São fontes de energia que têm a possibilidade de reposição mais rápida que sua utilização, o que contrapõe as não renováveis. Essas fontes energéticas, quando representadas pelas águas dos rios, ventos e sol, podem apresentar características variáveis e periódicas, e são utilizadas na geração hidroelétrica, eólica e solar (fotovoltaica, de forma direta, e em termelétricas de forma indireta), respectivamente. Outra fonte do grupo é a biomassa, representada pela cana-de-açúcar, florestas energéticas e resíduos industriais ou animais (REIS, 2015).

A energia solar e a eólica, têm sido largamente empregadas em paralelo aos sistemas de potência e em sistemas isolados, conferindo benefícios tecnológicos e econômicos (REIS, 2015).

2.2.2 Matriz elétrica mundial

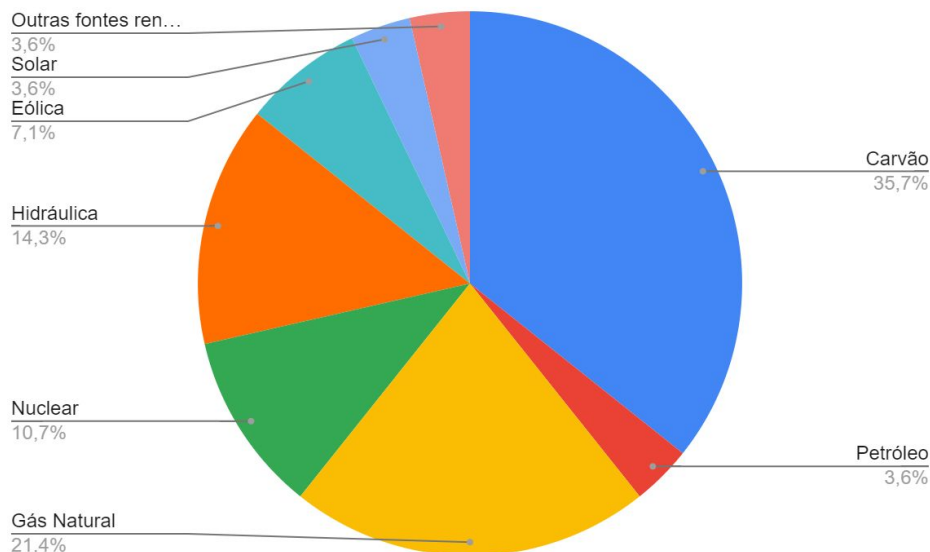
Uma vez que a matriz energética é o conjunto de fontes de energia consumidos para qualquer finalidade, desde a geração de eletricidade até o uso em transportes, por exemplo, a matriz elétrica é o conjunto de energias primárias que são utilizadas na produção de energia elétrica (CBIE, 2020). As figuras 6 e 7, apresentam a matriz elétrica mundial concretizada em 2018 e a projetada para o ano de 2020. O que pode-se destacar é que a energia solar manterá o patamar de 2018, já a eólica terá um salto de quase o dobro na participação da matriz elétrica mundial.

Figura 6 - Matriz Elétrica Mundial em 2018



Fonte: Adaptado de IEA (2019b)

Figura 7 - Matriz elétrica mundial projetada para 2020



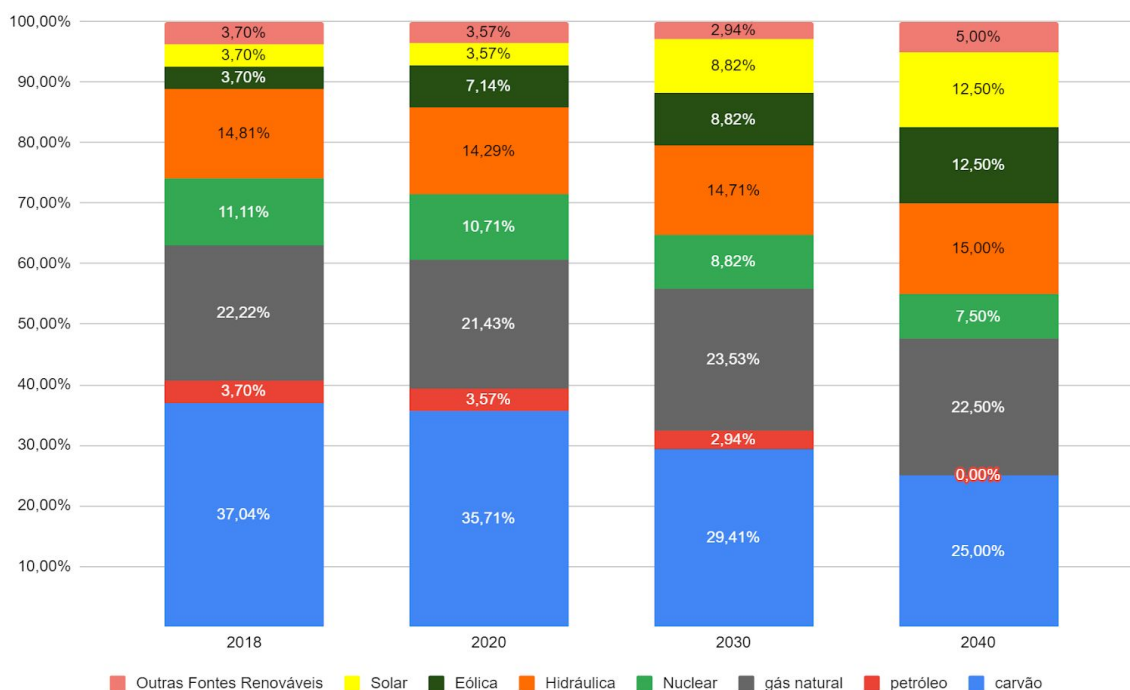
Fonte: Adaptado de IEA (2019b)

A maior alteração na matriz elétrica mundial, esperada para o fim de 2020, será a participação da energia eólica que, dos 3,7% de 2018, passará para 7,2%, não devido à queda de produção de outras fontes, mas por dobrar sua capacidade de geração de 1 mil TWh para 2 mil TWh (IEA, 2019b).

2.2.2.1 Projeções e cenários

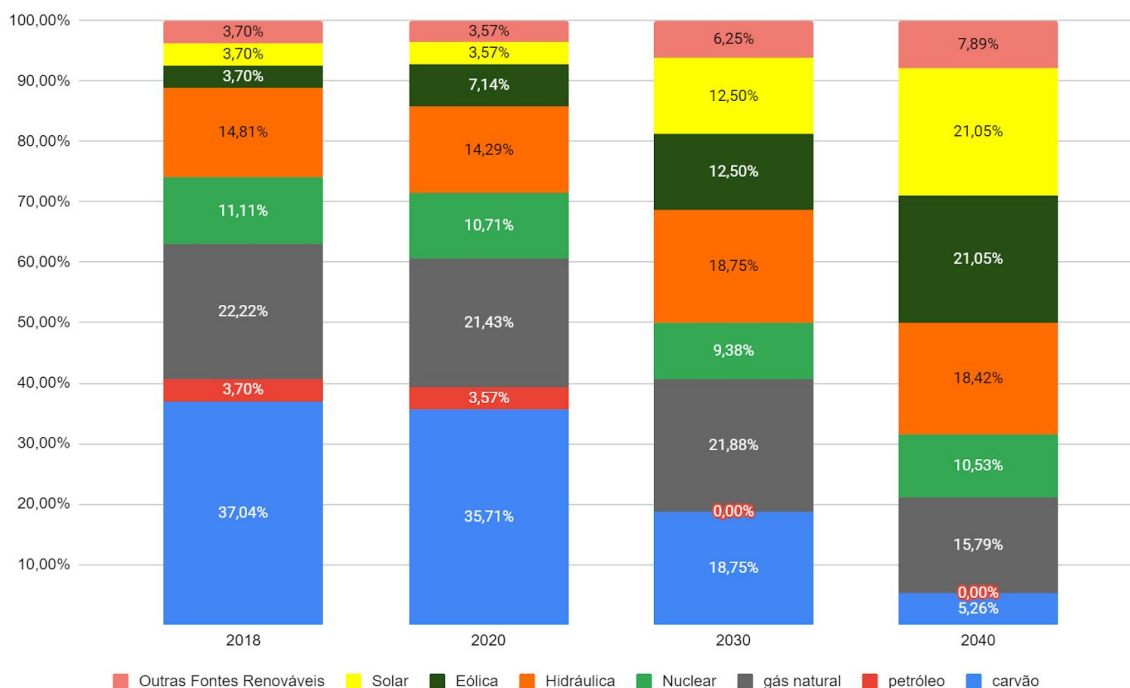
Em questão de projeções para a matriz elétrica mundial, os estudos se baseiam em dois cenários possíveis. Um cenário é baseado em políticas atuais (*Stated Policies Scenario*) e o outro cenário faz projeções baseadas num desenvolvimento cada vez mais sustentável (*Sustainable Development*). Há projeções para 2030 e 2040 para a matriz elétrica, elaboradas para cada cenário, como mostram as figuras 8 e 9 (IEA, 2019b):

Figura 8 - Projeção da matriz elétrica - cenário das políticas atuais



Fonte: Adaptado de IEA (2019b)

Figura 9 - Projeção da matriz elétrica - cenário de desenvolvimento sustentável



Fonte: Adaptado de IEA (2019b)

No cenário das políticas atuais, a demanda por energia elétrica irá crescer 2,1% ao ano até 2040, com a energia elétrica atingindo a participação de 24% no consumo final de energia no mundo. Hoje, a energia elétrica corresponde a 19% da energia consumida no globo. Esse crescimento da participação, será resultado do aumento da demanda em países com a economia em desenvolvimento. Espera-se, neste cenário, que energias mais sustentáveis, no que tange a baixa emissão de CO_2 , aumentem sua parcela na matriz elétrica mundial e avance dos 36% para 52% em 2040 (IEA, 2019b).

Quanto ao cenário de desenvolvimento sustentável, espera-se que a participação da energia elétrica no consumo final de toda energia do mundo seja ainda maior que os 24% do cenário das políticas atuais e que sua parcela alcance em torno de 31% (IEA, 2019b).

2.3 Desenvolvimento sustentável

Economias mundiais foram suportadas durante longo período pela alta disponibilidade de recursos fósseis como fonte de energia. Porém, na década de 90 houve início de uma visão voltada para os impactos ambientais causados por esse uso desmedido de combustíveis fósseis (ANEEL, 2008). A própria ONU (Organização das Nações Unidas) organizou a conferência *Rio 92*, no Rio de Janeiro em 1992, para tratar a respeito do tema. Considerada como um dos principais pontos de partida para a preocupação com um desenvolvimento sustentável, a *Rio 92* fomentou, a partir de suas diretrizes, que cada país, com a devida adequação às suas políticas internas, desenvolvessem políticas ambientais que assegurassem a proteção do meio ambiente (REIS, 2015).

Ao passo que a demanda por energia cresce no mundo, uma das tendências para um desenvolvimento sustentável é a substituição das fontes mais poluentes pelas menos agressivas ao meio ambiente. Outro ponto forte que se aliou a isso é o uso consciente e otimizado da energia, principalmente da eletricidade, compondo a conhecida linha de atuação da eficiência energética (ANEEL, 2008).

A atividade de produção de energia – e, particularmente, da energia elétrica - ingressou no século XXI, portanto, em busca do desenvolvimento sustentável, conceito que alia a expansão da oferta, consumo consciente, preservação do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida. É o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro [...]. (ANEEL, 2008, p.13)

Neste cenário de desenvolvimento sustentável, as energias renováveis como as solares e eólicas estão ganhando espaço na matriz elétrica mundial e apresentam projeções que indicam grandes alterações nas formas de geração de energia elétrica. Outra comprovação do robusto avanço dessas fontes renováveis de energia para geração de eletricidade é o aumento de investimento planejado para as próximas décadas, como é mostrado na tabela 1 a expectativa de grande aumento nos investimentos das fontes solar fotovoltaica e eólica (IEA, 2019a):

Tabela 1 - Investimento em energia renovável no mundo, por combustível (Bilhões de USD)

Energia Renovável	Realizado 2018	Políticas Atuais			Desenvolvimento Sustentável		
		2019-30	2031-40	2018-40	2019-30	2031-40	2018-40
Geração baseada em fontes renováveis	304	329	378	24%	528	636	109%
<i>Eólico</i>	89	111	122	37%	180	223	151%
<i>Fotovoltaica</i>	135	116	125	-7%	179	191	41%
Setores de uso fin.	25	117	139	456%	124	145	480%
Total	329	456	517	57%	652	781	137%

Fonte: Adaptado de IEA (2019a).

3 Energia elétrica e o cenário energético brasileiro

Essencial ao desenvolvimento socioeconômico de um país, o Brasil dispõe de um grande e diversificado potencial energético. Com um extenso território, é composto de uma natureza variada e condições climáticas favoráveis à produção de energia, em quantidade e qualidade. Mesmo possuindo grandes reservas de petróleo, o Brasil garante sua auto-suficiência energética com maior disponibilidade de fontes sustentáveis como hidráulica, solar, eólica e biomassa (ANEEL, 2002).

Se do lado da oferta de energia as condições são relativamente confortáveis, do lado da demanda há enormes desconpassos e desafios para a sociedade brasileira. Tanto na periferia de grandes centros urbanos como em regiões remotas e pouco desenvolvidas, as formas convencionais de suprimento energético não atendem às condições socioeconômicas da maior parte da população. (ANEEL, 2002, p.7)

Quanto ao setor energético de um país, é de sua responsabilidade garantir o acesso dos cidadãos às formas de energia e garantir o desenvolvimento tecnológico para produção e otimização do uso da energia (ANEEL, 2008).

Um dos principais objetivos do Brasil para os próximos anos, até 2029, é de expandir a produção energética e fortalecer a economia, investindo R\$1,9 trilhões em petróleo, gás natural e biocombustíveis. Para o setor elétrico investir em geração e transmissão, serão destinados R\$ 456 bilhões. No total, serão investidos R\$ 2,3 trilhões no setor energético do país nos próximos 10 anos (EPE, 2020c).

3.1 Matriz energética brasileira

A produção energética brasileira em 2019 foi de 294 Mtep, tendo aumento de 1,4% em relação ao ano de 2018. Porém, essa Oferta Interna de Energia (OIE) foi menor em 3,8%, que o melhor ano de 2014 que registrou 305,6 Mtep (MME, 2020).

A OIE representa toda energia produzida para sustentar a economia do país e, em 2019, apresentou aumento de 0,3% da representatividade de fontes não renováveis e aumento de 2,8% das fontes renováveis, dentre elas a solar e a eólica. Com esse aumento, as fontes renováveis tiveram sua participação na matriz energética brasileira incrementada de 45,5% para 46,1%, de 2018 para 2019. Toda produção energética por tipo de fonte pode ser conferida na Tabela 2 (MME, 2020).

Tabela 2- Oferta interna de energia 2018-2019

Especificações	mil tep		19/18 (%)	Estrutura (%)	
	2018	2019		2018	2018
NÃO-RENOVÁVEL	157.972	158.395	0,3%	54,5%	53,9%
Petróleo e derivados	99.627	101.051	1,4%	34,4%	34,4%
Gás natural	35.905	35.909	0,0%	12,4%	12,2%
Carvão mineral e derivados	16.418	15.480	-5,7%	5,7%	5,3%
Urânio (U3O8) e derivados	4.174	4.174	0,0%	1,4%	1,4%
Outras não-renováveis	1.848	1.780	-3,7%	0,6%	0,6%
RENOVÁVEL	131.898	135.642	2,8%	45,5%	46,1%
Hidráulica e eletricidade	36.460	36.364	-0,3%	12,6%	12,4%
Lenha e carvão vegetal	25.511	25.725	0,8%	8,8%	8,7%
Derivados da cana-de-açúcar	50.090	52.841	5,5%	17,3%	18,0%
Outras renováveis	19.837	20.712	4,4%	6,8%	7,0%
TOTAL	289.870	294.037	1,4%	100,0%	100,0%
Dos quais renováveis	153.798	154.221	0,3%	53,1%	52,4%

Fonte: Adaptado de MME (2020, p.5).

3.2 Setor elétrico brasileiro

O sistema elétrico brasileiro tem como principal fonte, para geração de energia elétrica, as hidrelétricas que correspondem à 65% de toda capacidade instalada no SIN (Sistema Interligado Nacional), seguido pelas termelétricas, eólicas e solares (ANEEL, 2020).

3.2.1 Contextualizando o Sistema Interligado Nacional (SIN)

Como o próprio nome sugere, o SIN é toda infraestrutura que possibilita a interconexão e intercâmbio da energia elétrica, por meio de uma malha de transmissão com mais de 100 mil quilômetros de extensão (ANEEL, 2020). Esta malha permite a transmissão de energia entre os subsistemas do SIN (Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte),

como permite também melhor aproveitamento da exploração das fontes de energia em todo o território nacional (ONS, 2020b).

Na figura 10, pode-se verificar a grande malha da rede de transmissão do SIN, composta por linhas de diferentes níveis de tensões e também uma grande linha CC que liga a região norte e sudeste.

Figura 10 - Rede de transmissão do sistema elétrico brasileiro 2020-2024



Fonte: ONS (2020a).

Esta interconexão permite que toda a geração do grande sistema de produção hidro-termo-eólico seja integrada, por meio da transmissão, ao mercado que atenderá a demanda com segurança e economia (ONS, 2020b).

O SIN tem o conjunto de usinas hidrelétricas como o principal empreendimento de geração de energia elétrica, que compõem a maior parte da capacidade instalada no sistema. Em seguida, tem-se as termelétricas (gás natural, carvão mineral, combustíveis fósseis, biomassa e nuclear) que são responsáveis pela segurança do sistema elétrico, principalmente no controle e otimização dos níveis dos reservatórios de hidrelétricas, e no contínuo fornecimento de energia para os usuários (ONS, 2020b).

3.2.2 Novo modelo e estrutura institucional do setor elétrico

O novo modelo do setor elétrico brasileiro, foi instituído em 2004 sob os preceitos de garantir a segurança energética, promover modicidade tarifária e levar energia elétrica a todo cidadão (ANEEL, 2008).

Quanto à compra e venda da energia elétrica, foram instituídos dois ambientes: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL). O ACR, exclusivo para geradoras (vendedoras) e distribuidoras (compradoras), visa a contratação de grandes volumes de energia pelas distribuidoras, para longo prazo (entrega prevista para 1, 3 ou 5 anos após o leilão). Já no ACL, com transações intermediadas por empresas comercializadoras, visa nos contratos entre os vendedores (PIE - Produtores Independentes de Energia) e compradores que são consumidores de no mínimo 0,5 MW e para uso próprio. Neste ambiente, ocorre que as duas partes acordem os termos da negociação como: preço, prazo e entrega (ANEEL, 2008).

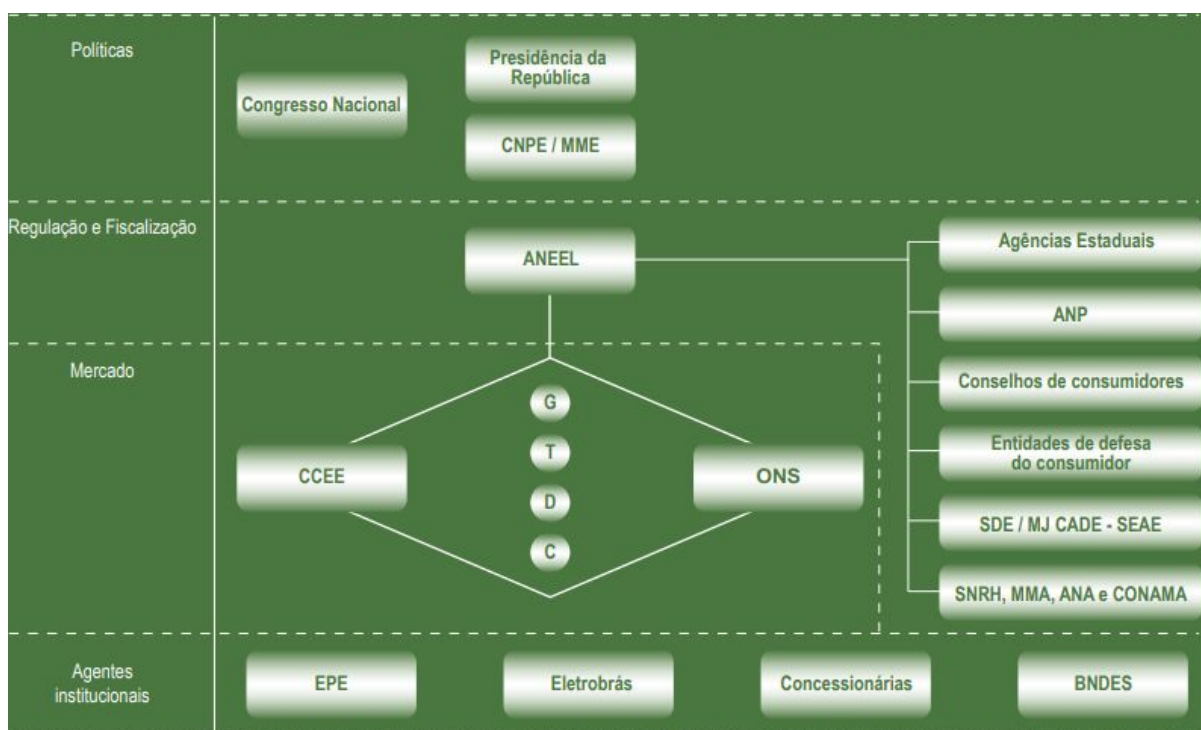
A estrutura institucional do setor elétrico teve então suas mudanças com a chegada do “Novo Modelo do Setor Elétrico”, porém manteve a política do setor como atribuição do congresso nacional e do poder executivo federal, através do Ministério de Minas e Energia (MME) e do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) (ANEEL, 2008).

Destacam-se entre os agentes do setor, apresentados na estrutura institucional da figura 15 (ANEEL, 2008):

- Empresa de Pesquisa Energética (EPE), criada em 2004 no novo modelo, é vinculada ao MME e é responsável por estudos de planejamento e expansão do setor;
- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), também criado com o novo modelo e ligado ao Ministério de Minas e Energia, é responsável pelo acompanhamento do suprimento da energia elétrica em todo o território;

- A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) também foi instituída com o novo modelo e é responsável pelas negociações de energia elétrica dentro do mercado livre;
- A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) manteve-se inalterada, sendo responsável pela fiscalização e regulação do setor elétrico;
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), também inalterado com o novo modelo, mantém a coordenação e supervisão da operação centralizada do SIN.

Figura 11 - Estrutura institucional do Setor Elétrico Brasileiro



Fonte: ANEEL (2008, p.20).

3.2.3 Matriz elétrica brasileira

A matriz elétrica apresentou em 2019 uma Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) de 651,3 TWh, superando em 2,3% a de 2018. Alguns destaques da OIEE de 2019 são (MME, 2020):

- Energia eólica teve aumento de 15,5% em sua oferta;
- Gás natural teve aumento de 10,7% em sua oferta;
- Geração hidráulica apresentou aumento de 2,3%. Mesmo com a diminuição da importação de energia elétrica de Itaipu, manteve-se a principal fonte de geração;

- Geração solar teve aumento de 92,2%, representando um aumento de 316% em relação a 2018 e de 876% em relação a 2017;
- 83% da matriz brasileira é proveniente de recursos renováveis.

Quanto às fontes renováveis, que representaram 83% da matriz elétrica brasileira em 2019, a supremacia da geração hidráulica correspondeu a 78,2% dentro deste grupo, seguida da crescente eólica que corresponde a 10,4% e bagaço a 6,8%. Eólica e bagaço, apresentam maior participação na segunda metade do ano, quando funcionam como suporte para a sazonalidade da geração hidráulica. A energia solar corresponde a 1,2% da parte renovável da matriz elétrica brasileira, a qual é apresentada na tabela 3 (MME, 2020).

Tabela 3 - Matriz elétrica brasileira 2018-2019

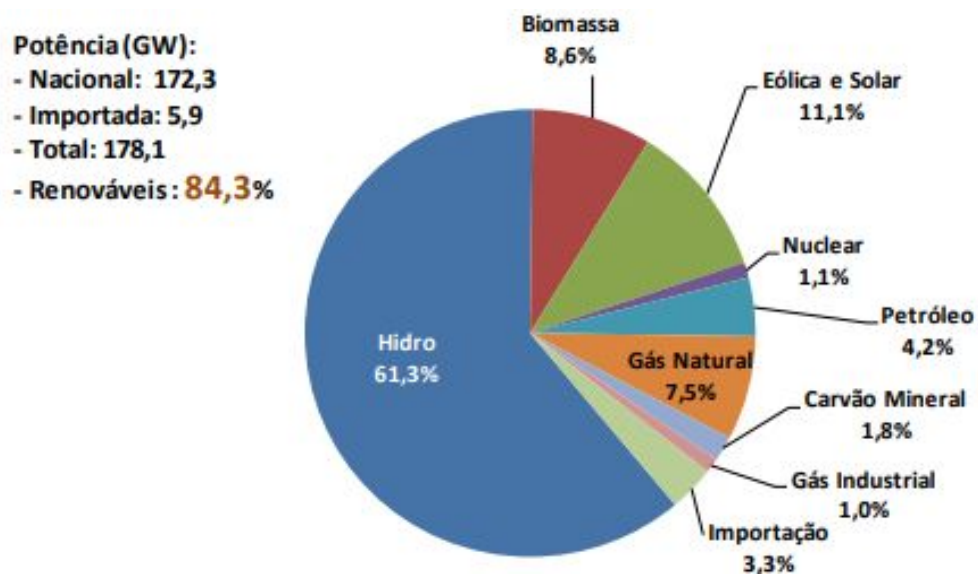
Especificações	GWh			Estrutura (%)	
	2018	2019	19/18 (%)	2018	2018
Hidráulica	388.971	397.877	2,29%	61,12%	61,09%
Bagaço de cana	35.435	36.827	3,93%	5,57%	5,65%
Eólica	48.475	55.986	15,49%	7,62%	8,60%
Solar	3.461	6.655	92,29%	0,54%	1,02%
Outras renováveis	18.947	18.094	-4,50%	2,98%	2,78%
Óleo	9.293	6.926	-25,47%	1,46%	1,06%
Gás natural	54.622	60.448	10,67%	8,58%	9,28%
Carvão	14.204	15.327	7,91%	2,23%	2,35%
Nuclear	15.674	16.129	2,90%	2,46%	2,48%
Outras não-renováveis	12.314	12.060	-2,06%	1,94%	1,85%
Importação	34.979	24.957	-28,65%	5,50%	3,83%
TOTAL	636.375	651.286	2,34%	100,00%	100,00%
Dos quais renováveis	530.269	540.395	1,91%	83,33%	82,97%

Fonte: Adaptado de MME (2020, p.7).

Outro ponto, diretamente relacionado à oferta de energia elétrica, é a capacidade de geração instalada no sistema interligado nacional que teve um aumento de 8.817 MW em 2019, aumento de 5,4% em relação à 2018, passando de 163,4 GW para 172,3 GW, sendo 94% dessa expansão representada pelas fontes renováveis. Destaque para a crescente da energia solar que apresentou aumento de mais de 2 GW em sua capacidade instalada, considerando a geração distribuída. Até maio de 2020, a energia solar já representava 94%

dos 2,9 GW de potência instalada da geração distribuída, que conta com 237 mil unidades geradoras (MME, 2020).

Figura 12 - Matriz de oferta de potência de geração de energia elétrica



Fonte: MME (2020, p.10)

4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Utilizar a energia do sol não é algo recente, porém torna-se algo de destaque nos dias atuais em que se buscam fontes alternativas renováveis de energia para que a humanidade caminhe, cada vez mais, em direção de um desenvolvimento sustentável. A energia solar é caracterizada pela tecnologia de aproveitamento, a definir a energia solar térmica ou energia solar fotovoltaica.

A energia solar térmica, aproveita a irradiação solar direta e converte em energia térmica (calor) que por sua vez, a depender da tecnologia de aproveitamento, será convertida em eletricidade ou utilizada diretamente no aquecimento de fluidos. Exemplo disso é a água aquecida em painéis aquecedores e armazenada em boilers, que podem reduzir em até 80% o consumo de energia elétrica (REIS, P. 2019).

Quanto à energia solar fotovoltaica, consiste na conversão da irradiação solar em energia elétrica de forma direta, através da utilização de material semicondutor, composto por células de silício na maioria das vezes, por apresentar bom rendimento de conversão de até 30% (REIS, 2019).

Como em qualquer área do conhecimento, no setor elétrico também existe a busca pela evolução dos processos e soluções que o torne cada vez mais rentável e mais sustentável. Neste cenário, a energia solar fotovoltaica emerge e se destaca cada vez mais, diante dos avanços tecnológicos na área e da geração distribuída que abastece a demanda desde residências até sistemas mais robustos (indústrias, por exemplo) (SAUAIA; KOLOSZUK, 2019).

Os avanços da tecnologia e os custos mais atrativos, fizeram com que a energia solar fotovoltaica não fosse mais vista somente pelos benefícios ambientais, mas também por oportunidades econômicas. Essa nova forma de geração passou a atrair investimentos em vários níveis da sociedade: desde uma família que busca reduzir os custos mensais com energia, até empresas e governo com seus balanços (SAUAIA; KOLOSZUK, 2019).

“Os benefícios da tecnologia solar fotovoltaica vão, no entanto, muito além das reduções na conta de luz, abrangendo aspectos econômicos, sociais, ambientais, elétricos e estratégicos [...]”. (SAUAIA; KOLOSZUK, 2019)

4.1 Breve histórico

Iniciou-se a longa caminhada em busca do que tem-se hoje no mercado da energia fotovoltaica, a partir da descoberta do efeito fotovoltaico em 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891). Porém, algo mais próximo do que se tem hoje foi iniciado por Calvin Fuller e Russell Shoemaker Ohl, em 1954, através da dopagem do silício e criação da célula fotovoltaica, respectivamente (PORTAL SOLAR, 2016).

A evolução da energia solar fotovoltaica é apresentada na linha do tempo (PORTAL SOLAR, 2016):

- **1839** - Descoberta do efeito fotovoltaico pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel.
- **1883** - Origem da primeira célula fotovoltaica, feita com selênio e ouro, e com eficiência de 1% na conversão em eletricidade. Criada por Charles Fritts em Nova York.
- **1905** - Descoberta do efeito fotoelétrico é atribuída a Einstein por registrar emissão de elétrons de uma superfície quando com interação com uma onda eletromagnética.
- **1922** - Prêmio Nobel para Einstein sobre o efeito fotoelétrico.
- **1930** - Teoria do efeito fotovoltaico criada por Schottky. Que criou posteriormente a célula fotovoltaica de mono-silício.
- **1932** - Descoberta do efeito fotovoltaico no seleneto de cádmio (CdSe), por Audobert e Stora em 1932.
- **1954** - Processo da dopagem de silício pelo químico Calvin Fuller, do Bell Laboratories, nos Estados Unidos. Tal fato deu origem à era moderna da história da energia solar fotovoltaica.
- **1954** - Criação da célula solar moderna por Russell Shoemaker Ohl em 1954, que seria resultado de anos de estudos e melhorias nas células anteriores, e que vieram a ser o início do que se tem hoje.
- **1958** - Início das utilizações de painéis solares com o emprego de um painel de 1 W para fornecer eletricidade a um rádio do satélite Vanguard I.

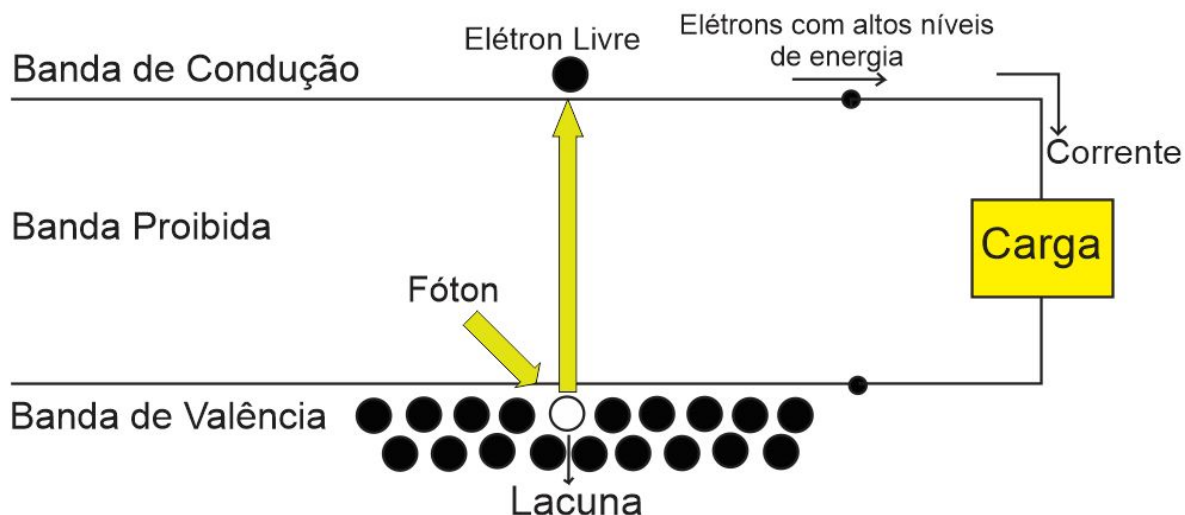
- **1976** - Primeira célula de silício amorfo pelos engenheiros David Carlson e Christopher Wronski.
- **1992** - Criação de célula de filme fino, na Universidade da Flórida do Sul, com eficiência de conversão de 15,89%.
- **1994** - Célula fotovoltaica supera 30% de eficiência de conversão no National Renewable Energy Laboratory do Departamento de Energia dos Estados Unidos, no Colorado.
- **1999** - Capacidade fotovoltaica instalada no mundo atinge os 1.000 MW.
- **2000** - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*on-grid*) em países de Primeiro Mundo, subindo a produção anual mundial para 4.200 MW, em energia solar fotovoltaica.
- **2006** - Células com 40% de eficiência à base de polisilício.
- **2011** - Expansão da produção chinesa de equipamentos fotovoltaicos, tornando mais acessíveis os investimentos em instalações fotovoltaicas.

4.2 Princípio de conversão da energia solar fotovoltaica

A tecnologia fotovoltaica (*Photovoltaic* ou *PV*, em inglês) consiste na geração de corrente elétrica contínua (CC) em semicondutores, a partir da incidência de fótons (pacotes de energia) da irradiação solar sobre as células fotovoltaicas, as quais geram potência elétrica enquanto recebem luz solar (LUQUE; HEGEDUS, 2011).

Células fotovoltaicas são compostas por materiais semicondutores, os quais possuem elétrons fracamente ligados na banda de valência. Assim como ilustra a figura 13, a incidência de fótons irá fornecer energia a esses elétrons, que poderão ficar “livres” para se transferirem à banda de condução, se a energia fornecida ultrapassar o limite de energia da banda proibida. Elétrons na banda de condução poderão então gerar corrente elétrica ao serem “ligados” a um circuito externo. Fechado então um circuito, esses elétrons perderão energia e ao retornar à célula fotovoltaica, estarão com nível inicial de energia de quando estavam na banda de valência e assim completa-se o “ciclo” que é contínuo enquanto houver incidência solar (LUQUE; HEGEDUS, 2011).

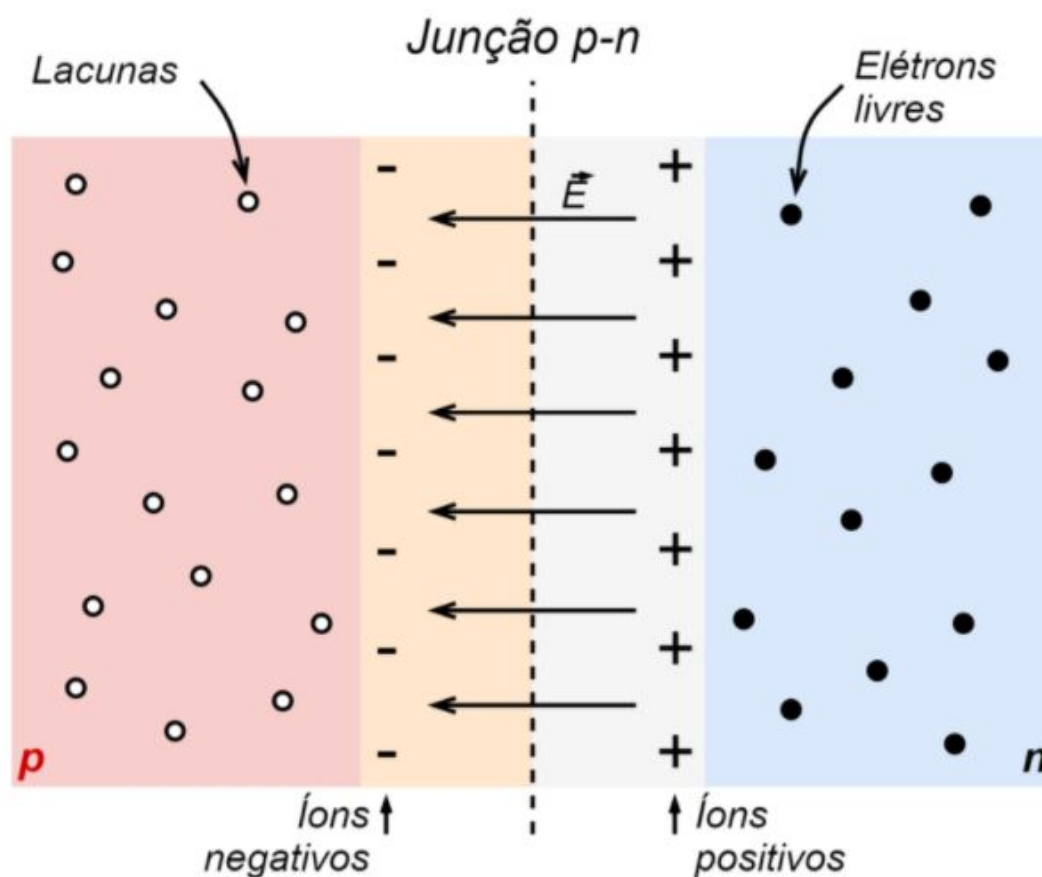
Figura 13 - Esquemático da corrente elétrica fotovoltaica



Fonte: Adaptado de Luque & Hegedus (2011).

O esquema de funcionamento, descrito na figura 14, parte da estrutura fundamental da célula fotovoltaica, a junção p-n. A junção p-n, criada a partir da dopagem do material, cria um campo elétrico interno no semicondutor que atua como uma barreira de potencial que separa os portadores de carga, que são os elétrons (carga negativa) que saltam da banda de valência para a banda de condução e os “espaços livres”, chamadas de lacunas (cargas positivas), que ficam na banda de valência onde estava o elétron que “saltou” de nível (LAIBER, 2020).

Figura 14 - Esquema da junção p-n



Esquema ilustrando elétrons e lacunas separados pela barreira de potencial no interior da célula fotovoltaica.

Fonte: Laiber (2020).

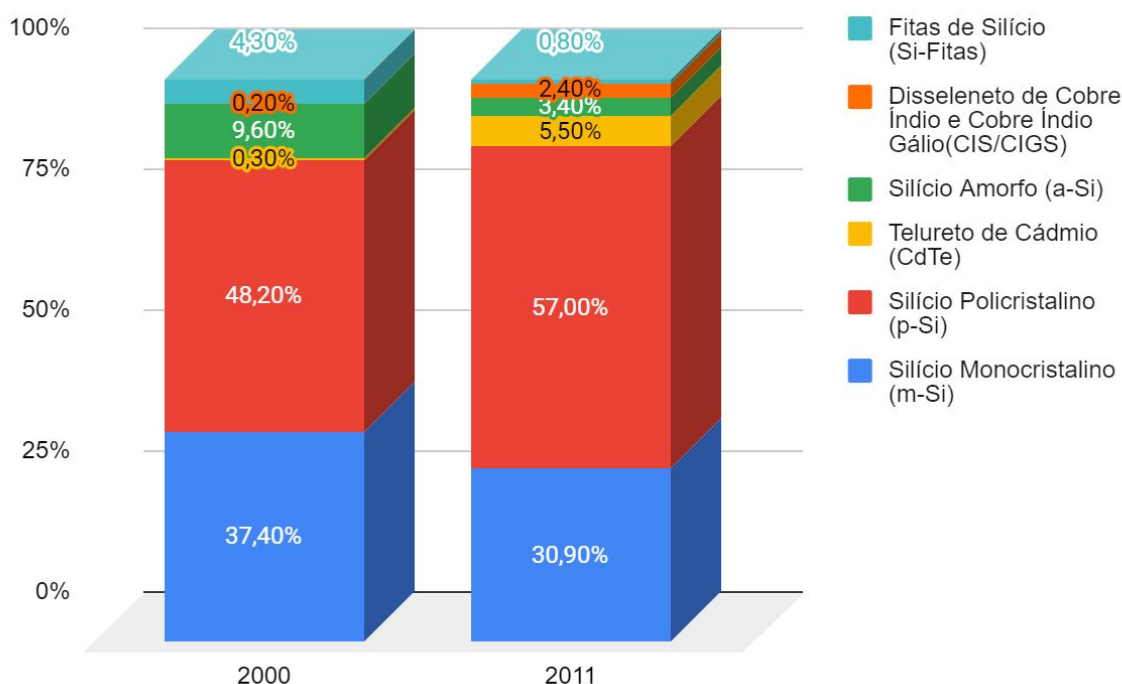
O intuito desta barreira potencial, criada pela junção p-n, é que não haja a recombinação “natural” dos pares positivos-negativos dentro do material semiconductor. Assim, ao se conectar um circuito externo entre a junção, é “facilitado” o fluxo de elétrons da “região n” em sentido às lacunas da “região p”, originando uma corrente elétrica (LAIBER, 2020).

4.3 Células e módulos fotovoltaicos

A tecnologia fotovoltaica se desenvolveu bastante nas últimas décadas e proporcionou, dentre vários benefícios, a queda vertiginosa no seu valor no mercado. Enquanto o Wp (Watt-pico) custava US\$ 150,00 em 1970, em 2014 o preço do Wp era de US\$ 0,65 nos Estados Unidos, € 0,60 na Europa e menos de R\$ 3,00 no Brasil. Essa queda corresponde ao massivo emprego do silício mono e policristalino na fabricação de mais de

80% da produção mundial das células fotovoltaicas, como mostra a figura 15 (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 15 - Materiais na produção de células fotovoltaicas 2000-2011



Fonte: Adaptado de Pinho & Galdino (2014).

As células fotovoltaicas são compostas por elementos semicondutores, que encontram-se nos grupos 14 a 16 da tabela periódica, sendo alguns deles o Silício (Si), Germânio (Ge), Arsênio (As), Fósforo (P), Selênio (Se) e Telúrio (Te). Estes elementos, juntamente com outros elementos semicondutores da tabela periódica, formam compostos binários, ternários e quaternários, originando semicondutores de diferentes tipos e aplicações (PINHO; GALDINO, 2014).

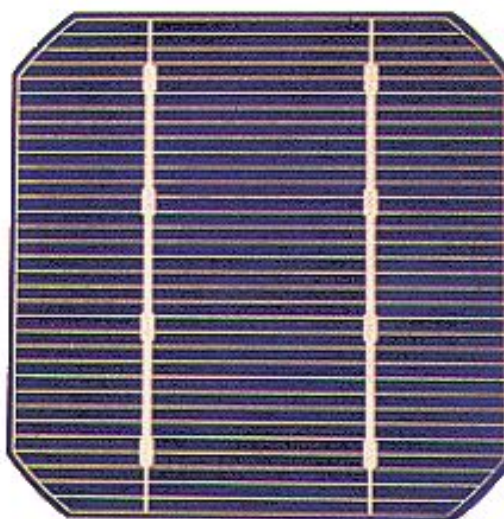
Devido à sua abundância na natureza, o silício é o elemento semicondutor mais utilizado na produção de células fotovoltaicas. Utilizam-se do silício em forma de cristal, o qual deve ser dopado com outros elementos para que desenvolva as propriedades básicas da célula fotovoltaica e esta possa vir a conduzir corrente elétrica em sua estrutura cristalina, devido a criação de junções p-n. A dopagem tipo p (excesso de lacunas) é feita com Boro e a tipo n (excesso de elétrons) é feita com Fósforo (SOLAR MAGAZINE, 2020).

As células fotovoltaicas mais comuns, são então produzidas a partir de silício monocristalino, silício policristalino ou silício amorfo. O silício é extraído do dióxido de silício

(SiO_2), conhecido também como sílica, através da desoxidação desse cristal. Posteriormente, este silício é purificado e solidificado, atingindo um grau de pureza de até 99%. Após este processo o cristal será dopado com Boro ou Fósforo para se criar as junções p-n (PINHO; GALDINO, 2014). O silício monocristalino é então um único cristal que surge a partir do método de *Czochralski* ou pela fusão zonal flutuante, que produz os tarugos de m-Si que serão cortados posteriormente para dar origem a células. Já o policristalino tem menor controle sobre as estruturas cristalinas e é produzido similarmente ao monocristalino, porém é composto por um bloco de cristais menores a partir de técnicas de transporte de vapor ou imersão (PINHO; GALDINO, 2014).

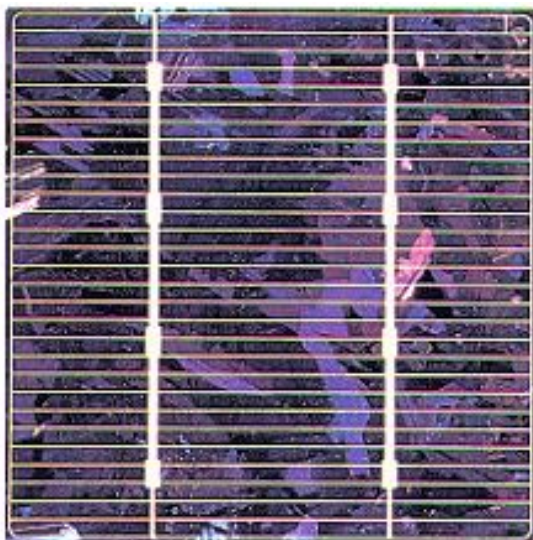
A presença de interfaces entre os vários cristais no p-Si reduz um pouco a eficiência destas células fotovoltaicas. Na prática, os dispositivos fabricados em lâminas de p-Si alcançam eficiências próximas das obtidas em lâminas de m-Si. A eficiência média das células fotovoltaicas produzidas industrialmente em Si-Cz (m-Si) é de 16,5%. Para lâminas comerciais de p-Si a eficiência varia de 14,5% a 16,2%. (PINHO; GALDINO, 2014)

Figura 16 - Célula de silício monocristalino



Fonte: CRESESB/CEPEL (2018)

Figura 17 - Célula de silício policristalino



Fonte: CRESESB/CEPEL (2018)

Por fim, a célula de silício amorfo (a-Si, em filmes finos) não contém uma estrutura cristalina como no m-Si e p-Si, pois apresenta um grande nível de desordem nas estruturas atômicas ao se utilizar de variados tipos de substratos que, em conjunto com a simplicidade e baixo consumo de energia na produção, contribui para o baixo custo desta tecnologia (CRESESB;CEPEL, 2018). Entre as tecnologias, aqui tratadas, esta é a que apresenta menor eficiência (em torno de 11%) e menor vida útil (SOLAR MAGAZINE, 2020).

Figura 18: Célula amorfa - filme fino

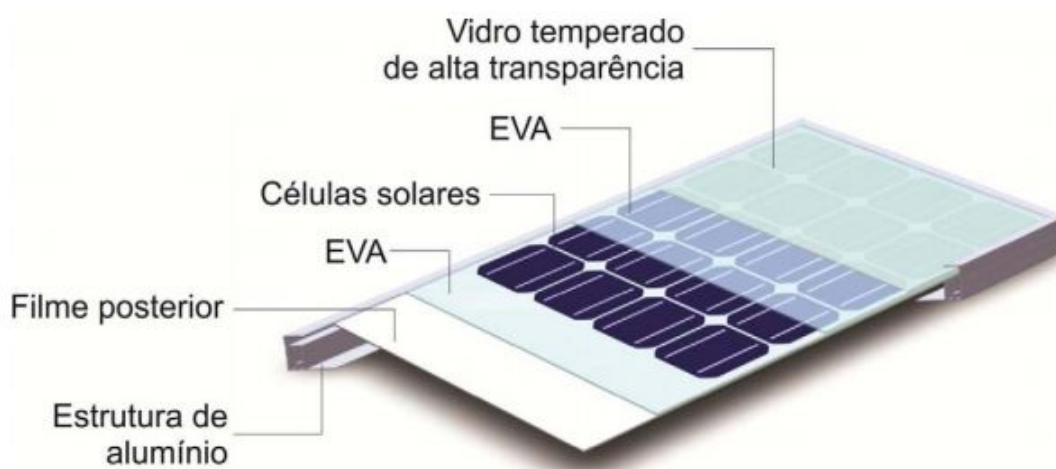


Fonte: Adaptado de *Energías Renovables* (2014).

Quanto aos módulos fotovoltaicos, representados na figura 19, são conjuntos de células fotovoltaicas associadas eletricamente entre si e encapsuladas para proteção quanto às intempéries e proporcionar resistência mecânica. Módulos podem conter conjunto de 36 a 216 células em série e/ou paralelo, a depender do projeto (PINHO; GALDINO, 2014).

O encapsulamento é constituído de um sanduíche de vidro temperado de alta transparência, acetato de etil vinila (EVA, do inglês Ethylene-vinyl acetate) estabilizado para a radiação ultravioleta, células fotovoltaicas, EVA estabilizado, e um filme posterior isolante. (PINHO; GALDINO, 2014)

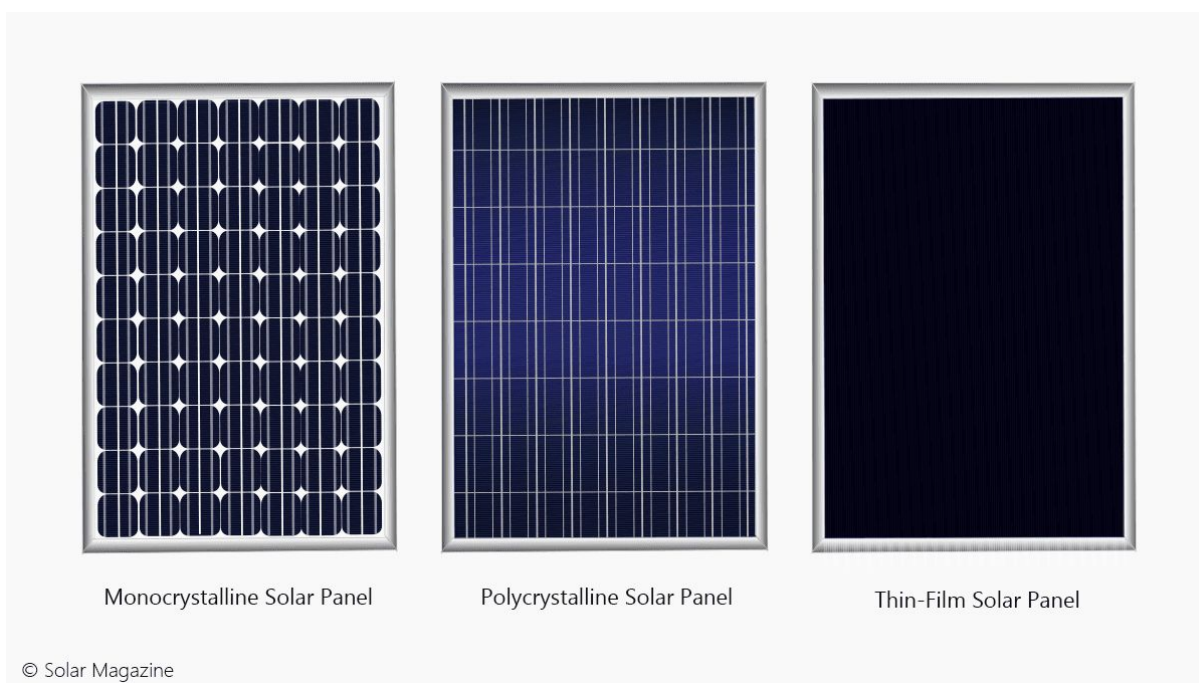
Figura 19 - Esquema de encapsulamento de módulos fotovoltaicos



Fonte: PINHO & GALDINO (2014).

Após o encapsulamento e tratamento do EVA para sua maior durabilidade, o módulo fotovoltaico recebe, para ser finalizado, uma moldura de alumínio anodizado e as conexões elétricas (PINHO; GALDINO, 2014). A figura 20 ilustra os 3 tipos de módulos, aqui tratados e prontos para serem aplicados em sistemas de geração fotovoltaica.

Figura 20 - Painel m-Si, p-Si e a-Si.



Fonte: Solar Magazine (2020).

4.4 Sistemas fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico é o conjunto de estruturas que possibilitam a conversão da luz solar em eletricidade e o uso final dela: geração e condicionamento de potência, respectivamente. A conversão, ou geração, é proporcionada pelos arranjos de placas fotovoltaicas, associadas conforme as variáveis elétricas (corrente, tensão e potência) de projeto. O condicionamento de potência é composto por conversores, inversores, controladores de carga e dispositivos para proteção e controle. A depender do tipo de sistema, pode haver estrutura de armazenamento, composta por baterias elétricas, principalmente (PINHO; GALDINO, 2014).

Os sistemas fotovoltaicos são classificados como isolados (*off-grid*), conectados à rede (*on-grid*) ou híbridos.

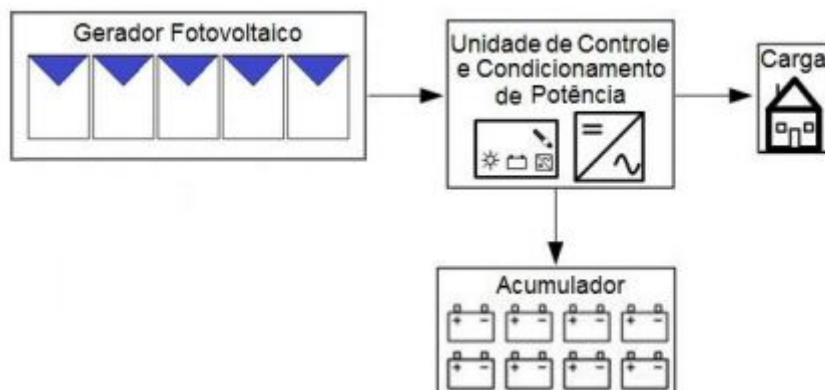
4.4.1 Sistemas isolados (*off-grid*)

São sistemas fotovoltaicos que independem da conexão com a rede elétrica. Sendo essa a principal característica desta configuração, é largamente empregada para o abastecimento de energia elétrica de comunidades e áreas rurais isoladas (FREITAS; 2008).

Esse sistema consiste, como apresenta a figura 21, em armazenar a energia em acumuladores (baterias), que fornecerão energia elétrica para os equipamentos. Mas pode

ser que haja sistemas sem baterias para irrigação e armazenamento de água em reservatórios, os quais consomem a energia produzida instantaneamente (FREITAS, 2008).

Figura 21 - Esquema de um sistema fotovoltaico isolado



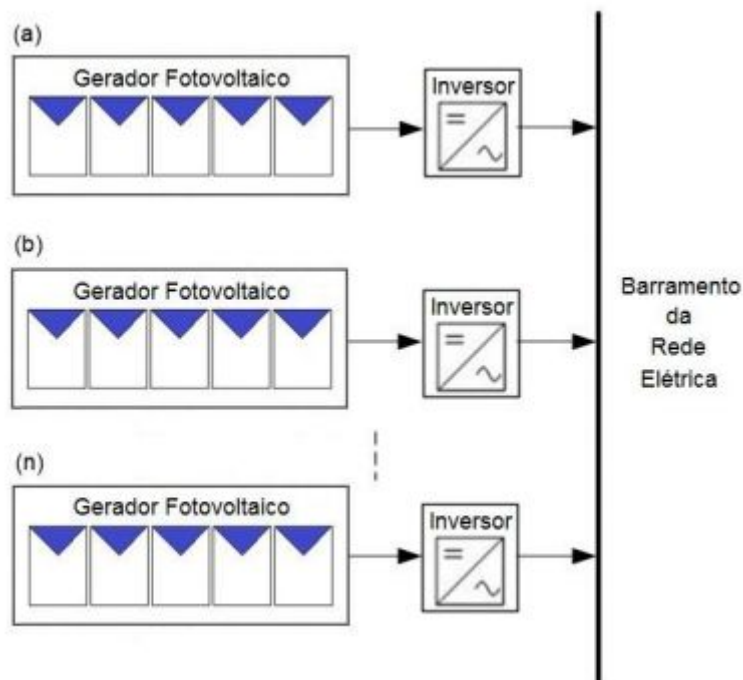
Fonte: Pinho & Galdino (2014).

4.4.2 Sistemas conectados à rede (*on-grid*)

Conhecidos como Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFRC), são sistemas que geram a potência a partir dos módulos fotovoltaicos e a injetam na rede elétrica (esquema da figura 22). Sendo assim, há todo um controle da qualidade e condicionamento desta energia gerada, antes de ser enviada ao sistema elétrico, para manter a qualidade e boa operação da rede de distribuição (PINHO; GALDINO, 2014).

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFRC) foram incluídos na regulamentação disposta pela Aneel, através da Resolução 482 de abril de 2012, que estabeleceu preliminarmente as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica [...]. (PINHO; GALDINO, 2014)

Figura 22 - Esquema de um SFCR

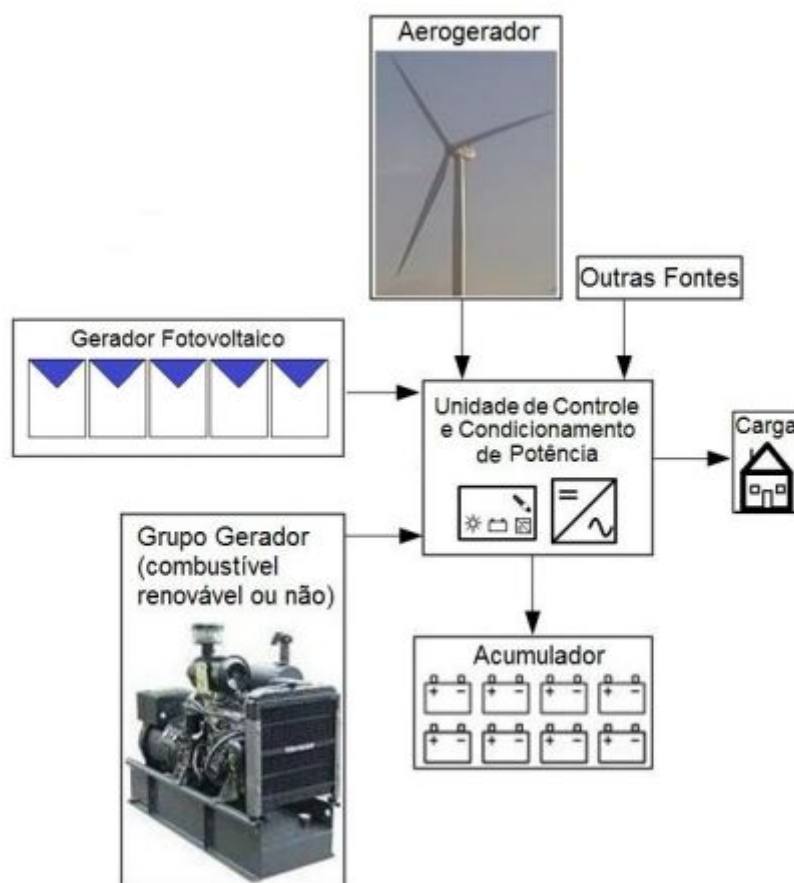


Fonte: Pinho & Galdino (2014).

4.4.3 Sistemas híbridos

São sistemas que se utilizam de mais de um tipo de geração de energia elétrica, combinando como no exemplo da figura 23, geradores fotovoltaicos, eólicos e térmicos à combustível renovável ou não. Por serem mais complexos, estes sistemas necessitam de certo controle e automação, para que haja a melhor forma de integração e funcionamento dos diferentes tipos de geradores (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 23: Esquema de um sistema híbrido



Fonte: Pinho & Galdino (2014).

4.5 Vantagens e desvantagens da geração fotovoltaica

Devido à disponibilidade e abundância da energia solar em praticamente todo o globo, a energia solar fotovoltaica torna-se uma fonte muito confiável de energia elétrica (ALVARENGA, 2001). Além disso, utilizar-se do sol como fonte de energia primária para geração de eletricidade, confere caráter renovável à matriz elétrica, baseado em uma fonte inesgotável de energia (PORTAL SOLAR, 2020).

Dentre as vantagens, destacam-se (PORTAL SOLAR, 2020):

- Fonte de energia alternativa à combustíveis fósseis;
- Não produz poluição sonora;
- Combustível (radiação solar) gratuito;
- Sistema de autogeração mais barato quanto ao valor da energia gerada;

- Pouca necessidade de manutenção e com baixo custo;
- Fácil instalação do sistema;
- Vida útil de 25 anos em média;
- Podem ser instalados sobre área construída, não se fazendo necessário espaço exclusivo;
- Valoriza o imóvel;
- Pode abastecer cargas isoladas da rede elétrica;
- Equipamentos podem ser reciclados.

Mesmo com tantos benefícios, toda tecnologia é passível de apresentar pontos negativos. E dentre as desvantagens dos sistemas fotovoltaicos, destacam-se (PORTAL SOLAR, 2020):

- Alto custo de aquisição, mesmo com todo desenvolvimento na área;
- Só produz energia elétrica enquanto há incidência solar, ou seja, não gera eletricidade no período noturno
- Queda de eficiência devido às mudanças climáticas;
- Retirada de incentivos no país, como a provável desvalorização da energia gerada por consumidores no Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

5 PANORAMA BRASILEIRO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

O Brasil, privilegiado com um dos melhores recursos solares do mundo, finalmente despertou para as vantagens da geração distribuída solar fotovoltaica. O atraso, no entanto, ainda é evidente nos números, já que existem atualmente menos de 85 mil sistemas no País, frente a um universo de mais de 84 milhões de consumidores que poderiam se beneficiar com a tecnologia. (SAUAIA; KOLOSZUK, 2019)

O avanço da tecnologia fotovoltaica tem contribuído para a geração de aproximadamente 25 mil postos de trabalhos, nos últimos anos no Brasil. A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), em 2019, projetou a criação de mais de 15 mil novos empregos com salários acima da média do país, somente referente à geração distribuída (SAUAIA; KOLOSZUK, 2019).

Da perspectiva ambiental, o país conta com uma das matrizes energéticas mais limpas do planeta e tende a evoluir mais neste sentido com a energia fotovoltaica. Pois, além da crescente busca por um desenvolvimento sustentável, que tende a proteger cada vez mais as riquezas naturais do Brasil, existe a busca por um sistema elétrico mais confiável, seguro, limpo, acessível e barato. Tudo isso é possível através de muitas características favoráveis ao Brasil, como um dos melhores potenciais de irradiação solar do mundo, por exemplo.

5.1 Aspectos da geração elétrica solar fotovoltaica

A grande disponibilidade hídrica do Brasil fez com que a fonte hidráulica dominasse grande parcela da matriz elétrica brasileira e faz com que continue a expandir sua capacidade instalada. A fonte hidráulica que, no período de 2018 a 2019, foi a principal contribuinte para a expansão de 4,5% na capacidade instalada de geração elétrica do Brasil. Contudo, a energia solar foi a fonte que apresentou o maior aumento na potência instalada em 2019, com crescimento de 37,6% em relação a 2018. Em 2018, em relação a 2017, a energia solar quase alcançou 100% de aumento (EPE, 2020a).

5.1.1 Capacidade instalada

Em 2015, a capacidade instalada de geração elétrica no Brasil a partir da energia solar era de apenas 21 MW e representava 0,27% da capacidade instalada da energia eólica (7.633 MW), naquele momento (EPE, 2020a).

O maior salto da capacidade instalada da energia solar ocorreu em 2017, partindo de 24 MW para 935 MW. Em 2018 esse valor quase dobrou e atingiu 1.798 MW instalados (EPE, 2020a).

Em 2019 a energia solar chegou a 2.473 MW de potência instalada, sendo 2 GW instalados em geração distribuída e 473 MW em geração centralizada. A capacidade instalada em energia solar fotovoltaica já representava 16% da capacidade eólica (15.378 MW). Neste mesmo ano, do total de 170.118 MW instalados no Brasil, a energia solar representou a parcela de 1,5% (EPE, 2020a).

A tabela 4 apresenta a capacidade instalada por fonte em 2018 e 2019, em ordem decrescente da taxa de crescimento no período (EPE, 2020a):

Tabela 4 -Capacidade Instalada por Fonte em 2018 e 2019 (MW).

FONTE	2018	2019	% Aumento
Solar	1.798	2.473	37,6%
Eólica	14.390	15.378	6,9%
Hidrelétrica	104.139	109.058	4,7%
Térmica	40.523	41.219	1,7%
Nuclear	1.990	1.990	0,0%
TOTAL	162.840	170.118	4,5%

Fonte: Adaptado de EPE (2020a)

5.1.2 Geração de energia elétrica

Destaque de crescimento na capacidade instalada em 2019, a energia solar fotovoltaica (incluindo a geração distribuída) foi também a fonte que mais cresceu na geração, atingindo 6.655 GWh, aumento de 92% referente a 2018, quando sua produção foi de 3.461 GWh (EPE, 2020a).

Para questão de comparação, com uma energia renovável que também cresce no país, a energia eólica apresentou de 2018 para 2019 um aumento de geração de 7.510 GWh (15,5%) (EPE, 2020a). Mesmo com todo o investimento e incentivo que a energia eólica se deleita, sua taxa de crescimento é menor que a da energia fotovoltaica, segundo a tabela 5. Diferentemente da energia eólica, a energia solar fotovoltaica ficou de fora do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) (SAUAIA; KOLOSZUK, 2018).

Tabela 5 - Geração de Energia Elétrica por Fonte em 2018 e 2019.

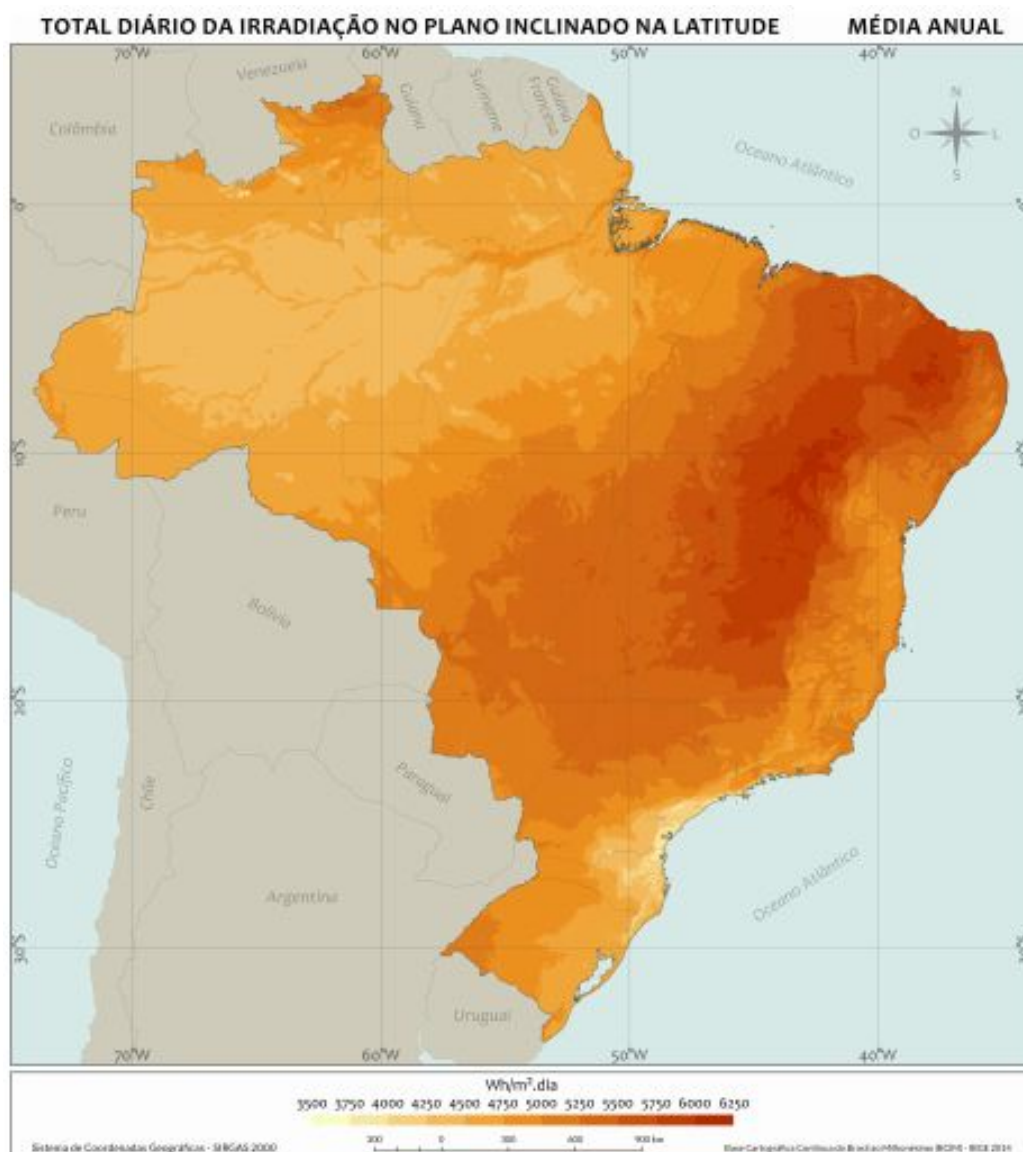
FONTE	2018	2019	% Aumento
Solar Fotovoltaica	3.461	6.655	92,2%
Eólica	48.475	55.986	15,5%
Gás Natural	54.622	60.448	10,7%
Carvão Vapor	14.204	15.327	7,9%
Nuclear	15.674	16.129	2,9%
Hidrelétrica	388.971	397.877	2,3%
Biomassa	52.267	52.543	0,5%
Outras	14.429	14.438	0,1%
Derivados Petróleo	9.293	6.926	-25,5%
TOTAL	601.396	626.328	4,1%

Fonte: Adaptado de EPE (2020a).

5.1.3 Potencial fotovoltaico

O Brasil apresenta um elevado potencial de recurso solar para geração de energia elétrica e se destaca no mundo. Para fins de comparação, o Brasil, com seu lugar menos ensolarado, poderia produzir mais energia elétrica que a Alemanha com seu lugar mais ensolarado, este porém, não deixa de ser referência em incentivos na área (PEREIRA et al., 2017). Esta desigualdade, deve-se aos altos índices de radiação, que variam 4 e 6,4 kWh/ m^2 no Brasil (TOLMASQUIM, 2016). A figura 24 ilustra os índices de irradiação no país:

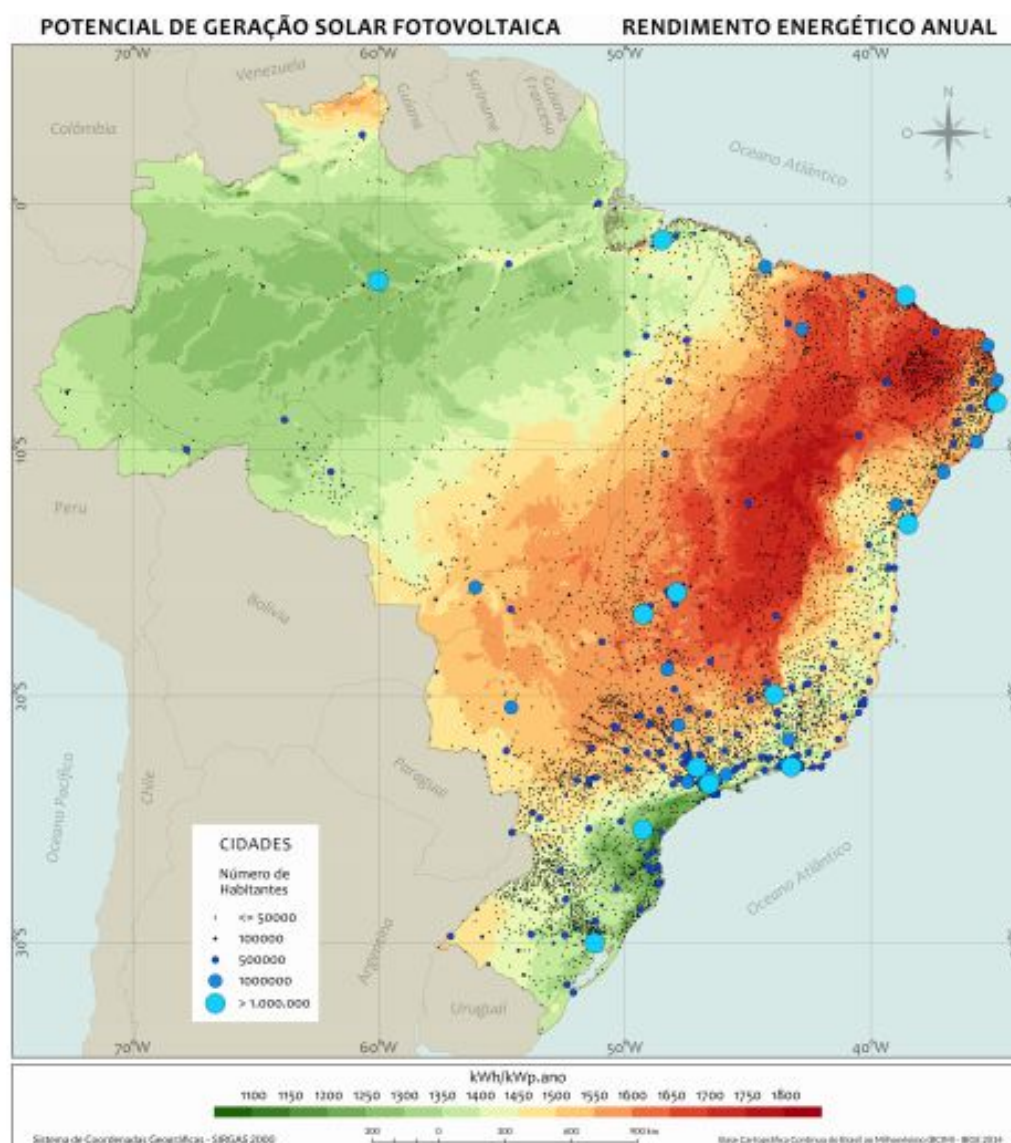
Figura 24 - Total diário da irradiação no plano inclinado na latitude - média anual



Fonte: Pereira et al. (2017)

Os índices de irradiação por si só, não definem a real eficiência da geração de sistemas fotovoltaicos, que depende também da temperatura que os módulos atingem, pois temperaturas muito elevadas reduzem sua eficiência. Sendo assim, a fim de projeto, utiliza-se o estudo de rendimento energético que já considera essa e outras variáveis. O mapa do potencial de geração solar fotovoltaica, da figura 25, apresenta o rendimento energético anual máximo em KWh para cada KWp instalado (PEREIRA e al., 2017).

Figura 25 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica - Rendimento energético anual para todo o Brasil.



Fonte: Pereira et al. (2017)

O potencial brasileiro de geração fotovoltaica é muito superior ao consumo de energia elétrica no país. Seria possível produzir o dobro de energia de Itaipu, utilizando módulos fotovoltaicos numa área de mesmas dimensões que o reservatório da hidrelétrica de 1.350 km². E neste cenário, seria produzida metade da energia elétrica consumida pelo

Brasil através de tecnologia fotovoltaica, já que Itaipu fornece 25% de toda energia elétrica consumida no território nacional (RUTHER, 2004).

Uma comparação com a geração eólica demonstra também o grande potencial da geração fotovoltaica no Brasil. Somente a instalação fotovoltaica hipotética no lago de Itaipu do exemplo anterior corresponderia a aproximadamente 60% do potencial de geração eólica de todo o Brasil. (RUTHER, 2004, p.76)

Enquanto a geração distribuída é pulverizada por todo território, a geração centralizada fotovoltaica, de grandes usinas, são comumente instaladas nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste por terem os maiores rendimentos médios anuais, como mostra o mapa da figura 25 (PEREIRA, et al., 2017). Sendo assim, deve-se haver o equilíbrio do tipo de fonte a ser utilizada em cada região, a fim de otimizar a produção de energia elétrica e aproveitar o potencial de cada lugar (RUTHER, 2004). A figura 26 apresenta uma das usinas fotovoltaicas (UFVs) instaladas na região nordeste do Brasil.

Figura 26 - Usina fotovoltaica (UFV) de 150 MWp em Bom Jesus da Lapa na Bahia



Fonte: Sauaia (2019).

5.1.4 Geração centralizada

Esse modo de geração é representado pelas usinas fotovoltaicas (UFV) de grande porte (dezenas e centenas de MWp) que demandam grandes áreas para instalação das estruturas, que são fixadas ao solo. No Brasil, como dito anteriormente, são comumente instaladas nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, por serem regiões com maior potencial de irradiação solar. Existe também o movimento de criação de usinas mais ao Sul do país, por apresentarem ótimo rendimento anual e estarem mais próximas dos grandes

centros consumidores, e assim oferecer suporte estratégico ao Sistema Interligado Nacional (SIN) (PEREIRA et al., 2017).

O ano de 2014 foi marcado na história da energia solar fotovoltaica do Brasil, ao ocorrer a primeira contratação de energia gerada por UFVs, em leilões do governo federal no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) (ABSOLAR, 2014). Recentemente nesses leilões, aconteceram as contratações em lotes que ultrapassaram 1 GW (PEREIRA et al., 2017). A figura 27 apresenta uma das UFV's presentes no nordeste brasileiro.

Figura 27 - Usina fotovoltaica de 225 MWp em Ituverava na Bahia



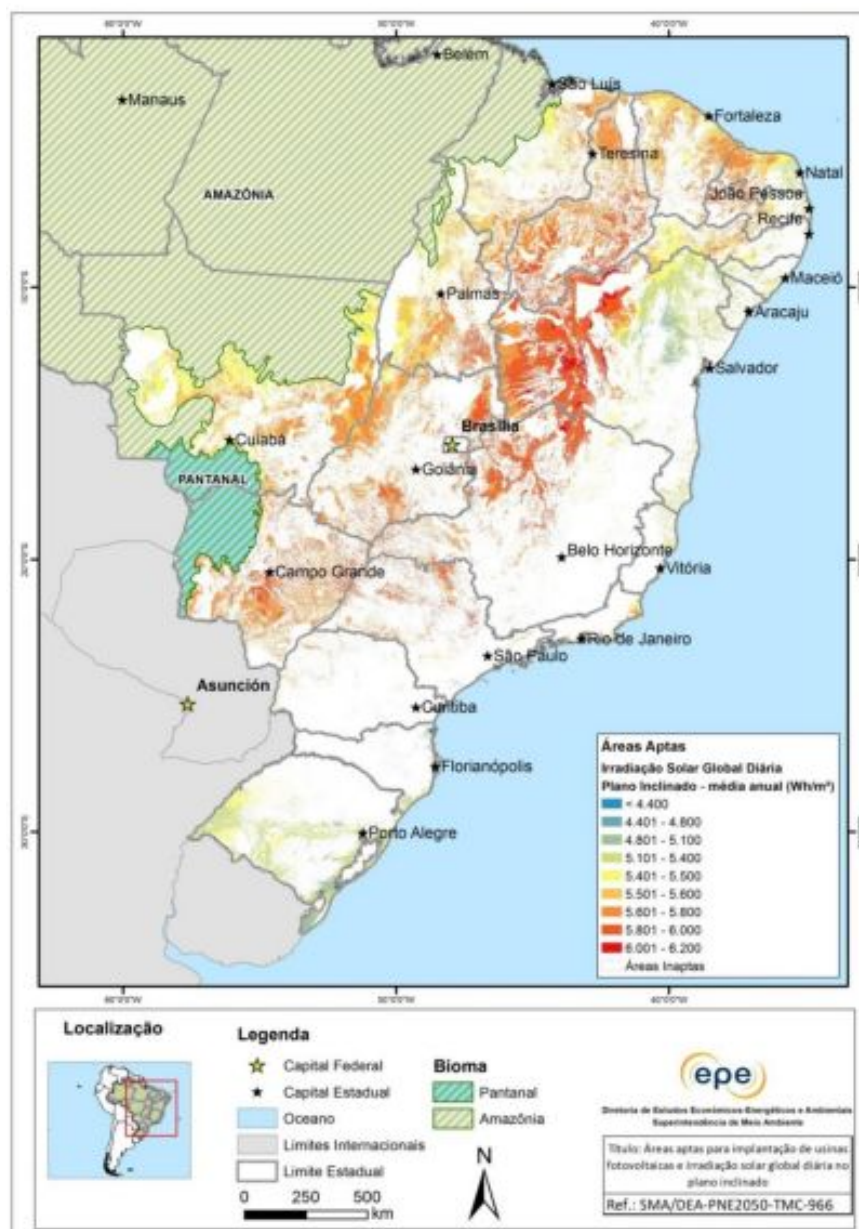
Fonte: Sauaia (2019).

A estimativa do potencial técnico de aproveitamento fotovoltaico de grande porte consistiu em um mapeamento das áreas aptas às instalações em todo território brasileiro, com exceção dos biomas Amazônia e Pantanal. (TOLMASQUIM, 2016, p.389)

Há estudos para o levantamento de áreas aptas à implantação de grandes usinas fotovoltaicas no território brasileiro. Dentre as principais considerações, estão as áreas com declividade inferior a 3% (LOPEZ et al., 2012), áreas com área útil maior que 500 m^2 (DENHOLM; MARGOLIS, 2008), áreas que não são protegidas por lei (indígenas e Mata Atlântica), e áreas antropizadas (que já foram utilizadas pelo homem) (PEREIRA et al., 2017). Esse levantamento resultou no mapa de áreas aptas à implantação de UFVs no território brasileiro, da figura 28, bem como estimou o potencial fotovoltaico de 70 MWp/km^2 (DENHOLM; MARGOLIS, 2008). Considerando a faixa de melhor irradiação solar, de 6 a $6,2 \text{ kWh/m}^2$, foi estimado o potencial de instalação de 307 GWp em centrais de geração

fotovoltaica, que resultaria em 506 TWh de energia elétrica, gerada por ano (PEREIRA e al., 2017)

Figura 28 - Áreas aptas para instalação de UFVs



Fonte: Pereira et al. (2017).

Em 2015 houve a maior contração: 1,74 GW, sendo no 1º LER (Leilão de Energia de Reserva) e 2º LER, contratados 822,6 MW e 913,1 MW respectivamente. As contratações posteriores ocorreram nos Leilões de Energia Nova A-4 (LEN A-4), porém em volumes menores, registrando o menor deles em 2019, de 203,7 MW. Houve também nesse período, a queda do preço médio do MWh que em 2013 era de US\$103, para US\$17,62 dólares em 2019 (SAUAIA, 2019).

5.1.5 Geração distribuída

Com ideal contraposto à geração centralizada, a geração distribuída é, de maneira simplificada, a produção energética mais próxima de onde será consumida. Há também sua caracterização a partir da conexão à rede, capacidade instalada, tecnologias e localização. Segundo o PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) a geração distribuída é composta por qualquer central geradora que esteja diretamente ligada à rede de distribuição ou através de instalações de consumidores (ZILLES et.al., 2012).

No Brasil, a microgeração (potência instalada de até 75 kW) e minigeração (acima de 75 kW e menor ou igual a 5MW) distribuídas são garantidas pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, a qual possibilita que o consumidor produza sua própria energia elétrica fotovoltaica, ou de outras fontes renováveis, além de possibilitar que injete o excedente na rede elétrica (ANEEL, 2015).

Os estímulos à geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles, estão o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética. (ANEEL, 2015, on-line)

Um estudo feito pelo EPE, quanto à capacidade de geração distribuída com instalações fotovoltaicas em telhados residenciais e considerando a irradiação da localidade e dados do Censo IBGE 2010 (PEREIRA et al, 2006), mostra que as regiões de maior capacidade de geração são as mais povoadas, por conter mais domicílios e consequentemente, mais área de telhados. A quantidade de área útil para a instalação de módulos fotovoltaicos, acaba por ser mais significativa, quanto ao potencial fotovoltaico da região, que a irradiação solar (TOLMASQUIM, 2016). O resultado geral para o território brasileiro, foi de um potencial fotovoltaico residencial médio de 32,8 GW e uma capacidade de geração de 287,5 TWh/ano de energia elétrica fotovoltaica (LANGE, 2012). A divisão dos potenciais, por região do Brasil, é apresentada na tabela 8:

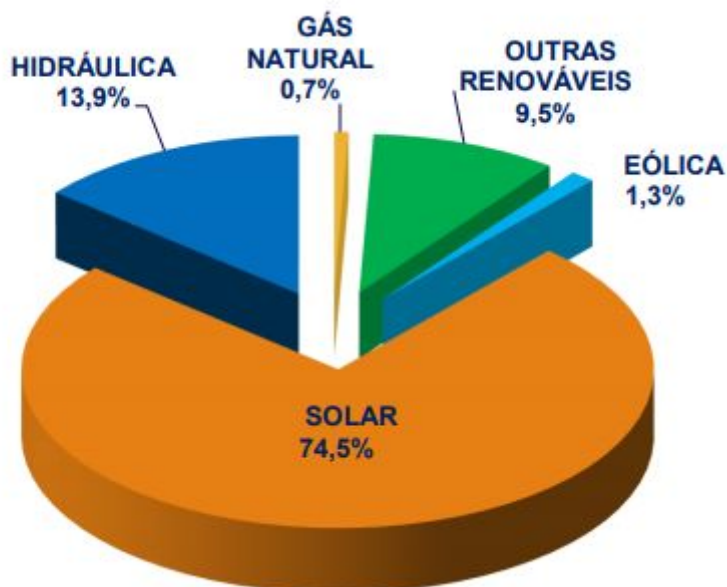
Tabela 8 - Potencial Fotovoltaico Residencial Brasileiro.

UF	Potencial Fotovoltaico Residencial (MWmédio)	Potencial Fotovoltaico Residencial (GWh/ano)
Rondônia	265	2.321
Acre	110	965
Amazonas	420	3.679
Roraima	65	569
Pará	1.020	8.935
Amapá	80	701
Tocantins	255	2.234
Maranhão	1.020	8.935
Piauí	555	4.862
Ceará	1.430	12.527
Rio Grande do Norte	555	4.862
Paraíba	655	5.738
Pernambuco	1.410	12.352
Alagoas	505	4.424
Sergipe	350	3.066
Bahia	2.360	20.674
Minas Gerais	3.675	32.193
Espírito Santo	595	5.212
Rio de Janeiro	2.685	23.521
São Paulo	7.100	62.196
Paraná	1.960	17.170
Santa Catarina	1.075	9.417
Rio Grande do Sul	1.970	17.257
Mato Grosso do Sul	505	4.424
Mato Grosso	570	4.993
Goiás	1.220	10.687
Distrito Federal	410	3.592
Brasil	32.820	287.506

Fonte: Lange (2012).

Em 2018 foi registrada a geração total de 828 GWh referente à micro e minigeração, já em 2019 foi registrado produção de 2,23 TWh, representando aumento de 169% nesta forma de geração. A energia solar fotovoltaica, em 2019, foi destaque entre as outras fontes e responsável por 74,5% da geração destes mais de 2 TWh de energia elétrica. A figura 29 mostra a parcela de cada fonte na micro e minigeração distribuída em 2019 (EPE, 2020d).

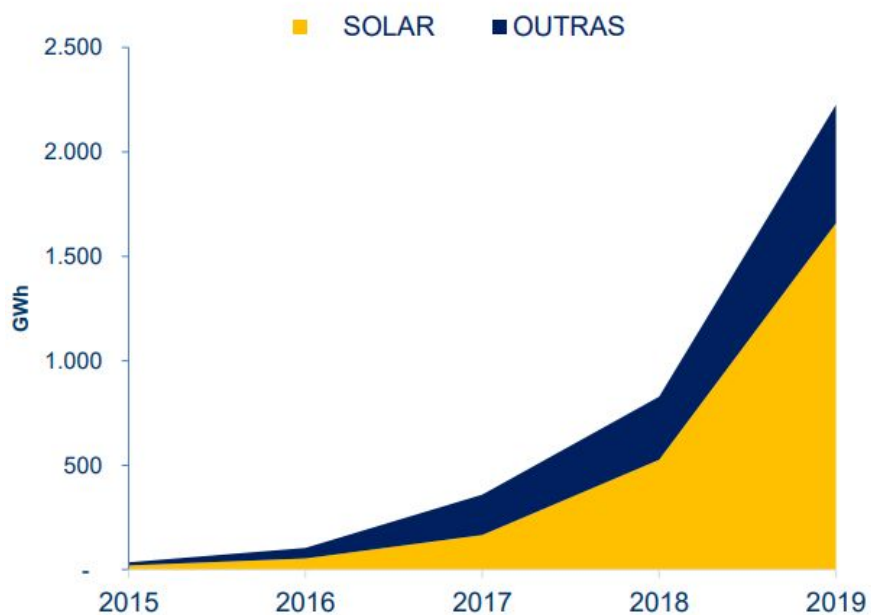
Figura 29 - Participação por fonte na micro e minigeração distribuída em 2019.



Fonte: EPE (2020d)

A energia solar é, desde 2015, a principal fonte na geração distribuída e em 2019, chegou aos números de 1.659 GWh de geração de energia elétrica e 1.992 MW de potência instalada. Pode-se conferir a evolução na geração desta fonte em comparação a outras na figura 30, e a capacidade instalada na tabela 9 (EPE, 2020d).

Figura 30 - Evolução da energia solar, frente a outras, na micro e minigeração distribuída



Fonte: EPE (2020d)

Tabela 9 - Capacidade Instalada, por fonte, para micro e minigeração distribuída.

Fonte	2018	2019
Solar	562,3	1.992,1
Hidráulica	58,9	96,7
Térmica	38,1	63,0
Eólica	10,3	10,4
Capacidade disponível	669,6	2.162,1

Fonte: EPE (2020d)

5.2 Aspectos de mercado, econômico e político

Uma das principais barreiras para a popularização da energia solar fotovoltaica no Brasil tem sido os custos de investimento associados a essa tecnologia, quando comparada

com outras tecnologias de geração de eletricidade convencionais ou mesmo mais recentes, como o caso da geração eólica (TOLMASQUIM, 2016).

Mesmo com a energia solar fotovoltaica apresentando reduções significativas nos preços ao decorrer do tempo e tornando-se uma fonte mais competitiva (TOLMASQUIM, 2016), os sistemas fotovoltaicos apresentam elevados custos de implantação (RIOS, I; RIOS, E., 2017). A ausência de incentivos gera desvalorização destes sistemas, o que barra o crescimento da demanda por esta fonte renovável de energia (RIOS, I; RIOS, E., 2017).

5.2.1 Custos e investimentos

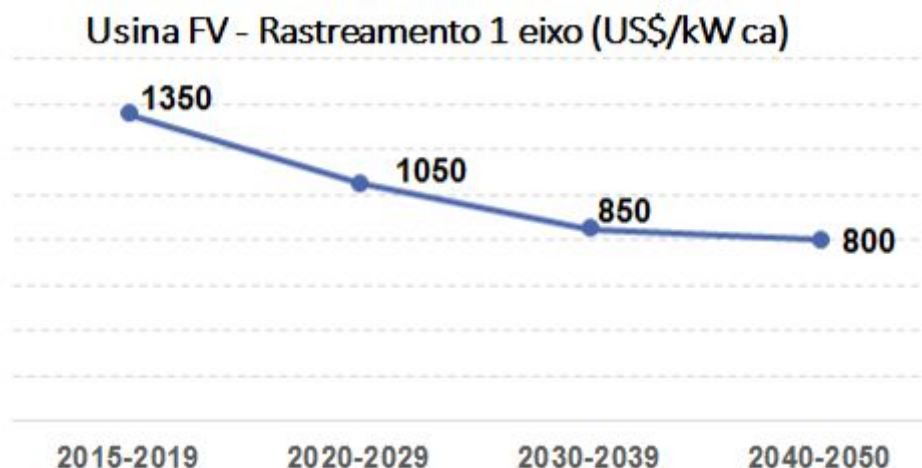
Utilizando dados de 2014, do 6º Leilão de Energia de Reserva (LER), como estimativa num momento em que a energia solar fotovoltaica no Brasil ainda não possuía valores consolidados de custos de instalação, o investimento médio dos projetos vencedores foi de US\$ 1.915/kW ou US\$ 1.610/kWp, valores em dólares convertido do real na cotação de outubro de 2014, com 1 US\$ equivalente à R\$ 2,35 (EPE, 2018).

Números do leilão de 2018 mostram que os investimentos de sistemas fotovoltaicos apresentaram a média de 900 US\$/kWp, em torno da metade dos valores mais atuais, amparado pela queda do custo dos equipamentos. Os módulos fotovoltaicos, que podem corresponder até à metade do investimento de sistemas FV, apresentaram no LER de 2015 o preço de US\$ 0,56/Wp. Já no início de 2018, o custo dos módulos FV caíram para US\$ 0,31/Wp, representando uma queda de 44%. Na mesma linha, de queda de custo, os preços dos inversores caíram de US\$ 0,11/Wp para US\$ 0,06/Wp, entre 2015 e 2017 (EPE, 2018).

Os custos de investimento de sistemas fotovoltaicos (inversor, módulo e balance of system components - BOS) devem reduzir mais de 30% entre 2020 e 2050. O aperfeiçoamento das tecnologias de armazenamento de eletricidade em grande escala deve revolucionar a geração fotovoltaica[...] (EPE, 2018, p.57)

A figura 31 mostra a queda do custo de investimento para geração centralizada de grandes centrais fotovoltaicas com rastreamento de 1 eixo (sistema que faz o direcionamento dos painéis buscando melhor incidência dos raios solares) .

Figura 31 - Custo de investimento para geração centralizada.



Fonte: EPE (2018).

Quanto à geração distribuída de energia elétrica fotovoltaica, é baseada principalmente na redução de gastos do consumidor em sua conta de energia elétrica. A viabilidade deste tipo de sistema FV é amparada pela queda dos custos da tecnologia e equipamentos do setor, que proporcionam a redução do tempo de retorno do investimento (PEREIRA, N. 2019).

Os custos nivelados da geração residencial com potências de 5 kWp e 10 kWp, em 2012, eram de R\$ 602/MWh e R\$ 541/MWh, respectivamente. Respeitando a queda do custo quanto maior a potência, a geração comercial (100 kWp) registrava R\$ 463/MWh e a geração industrial (1.000 kWp) registrava, em 2012, custo de R\$ 402/MWh (EPE, 2012).

Dados de (IDEAL, 2019), mostram que o custo da instalação de sistemas de geração distribuída FV é composto da seguinte maneira: 40% para módulos fotovoltaicos, 19% para inversores, 27% estrutural (suportes, cabeamento, dispositivos de segurança e proteção, e etc) e 14% do custo com projeto e serviço de instalação.

No geral, quanto aos custos de qualquer sistema fotovoltaico estão atrelados às condições políticas-econômicas (concorrência, incentivos e tarifas) e técnicas (irradiação, condições do plano, normas), de cada região. Assim, IDEAL (2019) levantou o preço em R\$/kWp para cada região do Brasil, como mostra a figura 32.

Figura 32 - Preços por região brasileira.



Fonte: IDEAL (2019)

5.2.2 Incentivos e legislação

No Brasil, em 2012, foi lançada a Resolução 482 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), um importante passo para a proliferação em todo país da micro e minigeração distribuída onde a energia fotovoltaica foi a que mais se proliferou.[...] A Resolução 482 derrubou grandes barreiras no que tange a geração própria de energia, porém não foi o suficiente para incentivar a adoção deste sistema de geração na iniciativa privada. Foi somente com a publicação da Resolução 687 da ANEEL, que foi uma revisão da Resolução 482, que a geração distribuída ganhou força em todo o país. (RIOS, I.; RIOS, E., 2017, p.119)

Um dos principais incentivos que atraiu, e ainda atrai, consumidores à geração distribuída, ao instalarem painéis fotovoltaicos, é o sistema de compensação de energia através do sistema de *net-metering*, estabelecido na Resolução Normativa 482 de 2012, da ANEEL, a qual define condições para a micro e minigeração distribuída se conectarem à rede de distribuição (NASCIMENTO, 2017). O sistema *net-metering* consiste no balanço de energia gerada e consumida, sendo assim, ao se produzir mais ou menos energia elétrica do que foi consumido, gera-se um crédito junto à concessionária ou abatimento parcial da fatura de energia elétrica (EPE, 2012). Em 2016, com a revisão da Resolução 482 da ANEEL, surge a Resolução 687 que trouxe maiores benefícios ao sistema de compensação de energia, sendo eles (RIOS, I.; RIOS, E. 2017):

- Aumento do prazo para utilização dos créditos, junto à concessionária, de 48 para 60 meses;
- Autoconsumo remoto: a energia gerada por uma unidade pode ser utilizada como crédito em outra unidade consumidora, desde que ambas estejam sob serviço da mesma concessionária e que tenham mesma titularidade (unidades do mesmo dono);
- Geração compartilhada: possibilidade do compartilhamento dos créditos com outros clientes, sob serviços da mesma concessionária.

Ainda sobre o sistema de *net-metering*, a figura 33 apresenta o aumento de unidades consumidoras com geração fotovoltaica, com um grande salto em 2016 a partir do estabelecimento da Resolução Normativa 687, devido aos benefícios e incentivos já citados acima (NASCIMENTO, 2017).

Figura 33 - Unidades consumidoras com geração fotovoltaica



Fonte: Nascimento (2017).

Outras medidas de destaque, dentre as demais criadas entre governo e concessionárias, são o Sistemas de Cotas, *Feed-in Tariff* e o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD). A primeira obriga que exista, em uma quantidade mínima a se estabelecer, a participação de energias renováveis na contratação de energia por concessionárias, para o atendimento ao seu mercado e, dentro deste sistemas de cotas, há o mecanismo que obriga a inserção da energia fotovoltaica ao portfólio das energias renováveis (EPE, 2012). O *Feed-in Tariff* (FIT) ou Tarifa-prêmio, é um mecanismo de incentivo que obriga a distribuidora a adquirir a energia fotovoltaica, gerada pelo consumidor, mediante uma tarifa superior a qual o consumidor paga, ficando o subsídio a cargo do governo, a quem repassa aos consumidores em geral (EPE, 2012). O ProGD, programa estabelecido pela portaria N°538 de 2015, pelo Ministério de Minas e Energia, estimula a geração distribuída por unidades consumidoras, a partir de fontes renováveis, com destaque da geração FV (OLIVEIRA, O.; OLIVEIRA, R.; GOMES, R., 2017). Ainda sobre o ProGD, Oliveira et al.(2017, p.383) sugere que “A expectativa dessa iniciativa é fomentar investimentos de até R\$100 bilhões e que 2,7 milhões de estabelecimentos residenciais, comerciais e industriais gerem sua própria energia até 2030”.

Complementando a lista de incentivos do setor, pode-se apresentar os principais incentivos, dos listados por SILVA (2015, p.8):

- Descontos nas tarifas de uso do sistema de transmissão (TUST) e distribuição (TUSD). A REN 481/2012 da ANEEL, garante 80% de desconto, na TUST e TUSD da fonte solar, nos 10 primeiros anos de funcionamento da usina que tenha entrado em funcionamento até 31 de dezembro de 2017, e que tenha as características impostas pela Lei Nº 9.427, de 1996, a qual estabelece descontos, de no mínimo 50%, na TUST e TUSD de centrais de geração solar com potência inferior a 30 MW. Empreendimentos de fonte solar que tenham iniciado a geração após 1 de janeiro de 2018 e os que completarem 10 anos de funcionamento, terão os descontos de 50%.
- Venda Direta a Consumidores: O §5º do art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, estabelece que produtores de energia de fonte solar ou qualquer outra fonte renovável, desde que tenham potência injetada de até 50 MW, possam vender sua energia, com carga entre 500 kW e 3 MW, a consumidores especiais (que não podem ser considerados consumidores livres, que compram diretamente das usinas, por não atenderem as características para tal) sem que haja o intermédio da distribuidora. Além disso, há descontos na TUSD para consumidores livres que compram energia de fontes renováveis.
- Isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) sobre equipamentos (exceto inversores e medidores) destinados à geração fotovoltaica e eólica, garantida pelo Convênio nº101, de 1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ).
- A Lei nº 11.488, de 15 de junho de 2007, instituiu o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI), o qual suspende por 5 anos, para projetos aprovados no Ministério de Minas e Energia (MME), a Contribuição para o Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP) e suspende também a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), sobre a venda e importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos novos, materiais de construção e de serviços, todos para obras de infraestrutura, a incluir de usinas FV.

Podem ser encontrados mais incentivos fiscais e tributários, com isenção de impostos ou redução de alíquotas, em vários níveis da cadeia do setor fotovoltaico.

Dentre as modalidades de incentivo, há o incentivo para financiamento. Esta modalidade é responsável por oferecer melhores condições e taxas de financiamento para projetos de geração de energia. Destaca-se neste cenário, o apoio do Banco Nacional de

Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) aos projetos de geração de energia fotovoltaica e outras fontes renováveis, tendo criado uma variedade de linhas de financiamentos como (ANEEL, 2014):

- Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO): Financiamento de projetos que contribuam com economia e eficiência energética, e que proporcionem a substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis;
- FINEM Energia: Linha de financiamento para eficiência energética;
- FINEM Capacidade Produtiva: Linha de financiamento para aumento da capacidade de geração.
- FINAME PSI (Programa de Sustentação do Investimento): linha de financiamento, do BNDES, para compra de equipamentos nacionais.

5.2.3 Fatores negativos no cenário político-econômico

A geração distribuída de energia solar fotovoltaica, como já discutido, tem um elevado custo de implementação, mesmo com o histórico de diminuição dos preços da tecnologia (PEREIRA, N. 2019). Esse fato é um problema, se não o maior, com que vive o setor fotovoltaico e que dificulta o seu crescimento, tendo em vista que a soma com a falta de incentivos questiona a viabilidade e desvaloriza os sistemas FV (RIOS, I.; RIOS, E., 2017).

Devido ao alto custo do sistema, é notório, a diminuição de pessoas que fazem seu uso, uma vez que, o consumidor necessitaria ter recursos financeiros suficientes para a elaboração do projeto, implantação com auxílio de pessoas qualificadas para a instalação do sistema e manutenções ao longo de sua vida útil. (CRUZ et al., 2020, p.63503)

Dificuldades em atualizar as normas e resoluções têm atrasado o crescimento da geração distribuída que, diante da falta de infraestrutura e orçamento, dificulta que as distribuidoras adequem o sistema de distribuição quanto à proteção, qualidade e controle (BERGER; INIEWSKI, 2015).

Questões políticas e econômicas barram o crescimento do mercado de energia solar, ao buscar maneiras para tarifar a geração através de painéis fotovoltaicos, de maneira que o consumidor que gere energia só faria uso do sistema ao pagar uma tarifa. Outro fator que

impacta negativamente a evolução do mercado é a energia solar fotovoltaica não ser contemplada no Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), e assim ficar de fora de projetos de incentivos econômicos (CRUZ et al., 2020). Criado pela Lei 10.762, de 2003, sancionada pelo presidente Luiz Inácio Lula da Silva, o PROINFA tem como objetivo incentivar a geração a partir de fontes renováveis de energia (OEI, c2014).

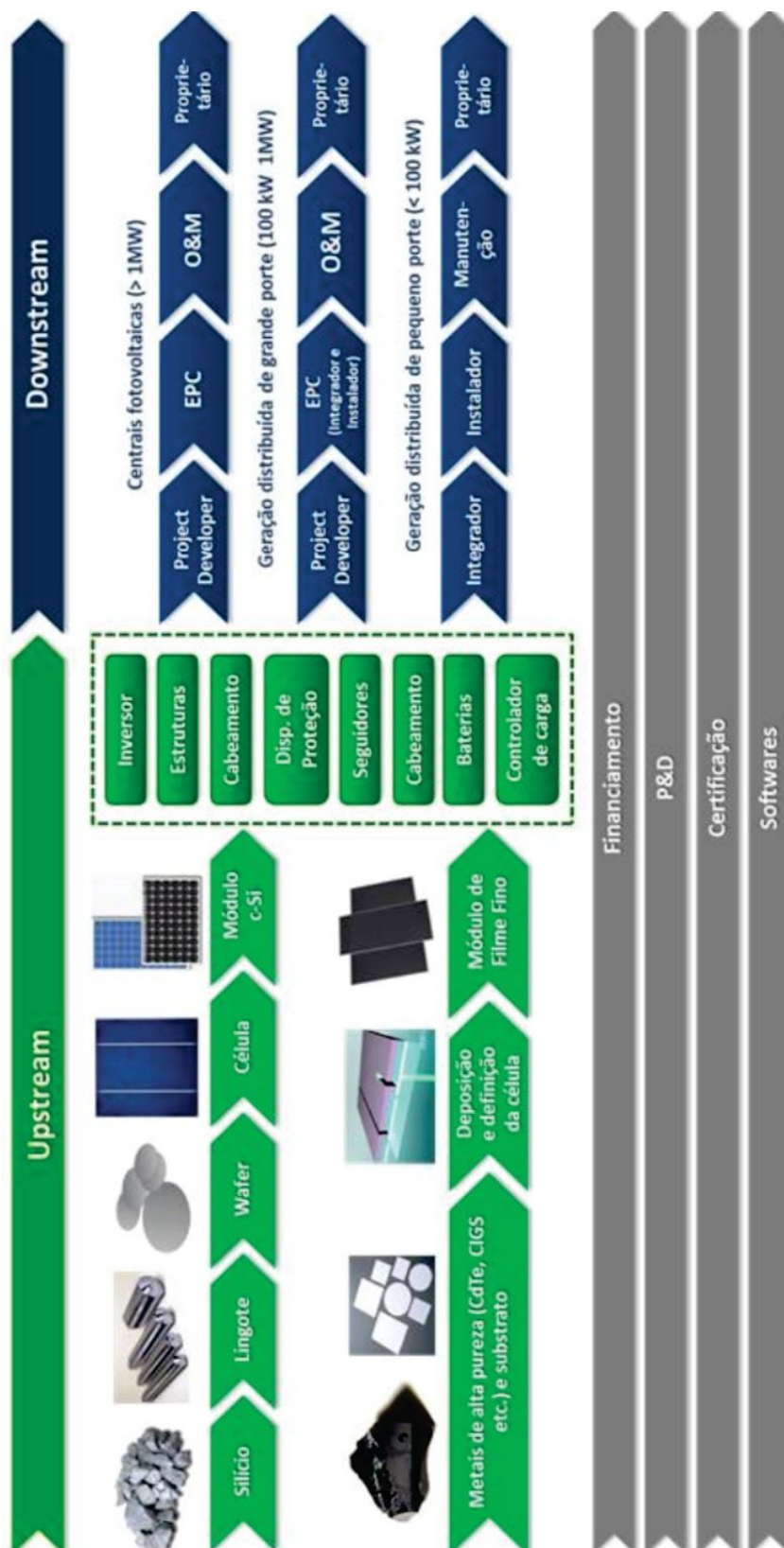
5.2.4 Indústria fotovoltaica

A busca do Brasil por desenvolvimento tecnológico e socioeconômico deve ser amparada pelas questões energéticas do país, sendo assim, no que tange a matriz elétrica, o desenvolvimento da indústria solar fotovoltaica local deve ser incentivada para que, como outras fontes renováveis, a energia solar acrescente segurança, alternativas e oportunidades (EPE, 2018).

Em solo brasileiro há grande disponibilidade de quartzo para extração de silício, que sustentaria qualquer produção de células fotovoltaicas. Contudo, o silício nacional é trabalhado até o grau metalúrgico (SiGM) e então exportado para que, dentre as aplicações, seja purificado até grau solar (SiGS) e utilizado para se produzir células fotovoltaicas. Este processo de purificação até grau solar, que não ocorre no Brasil a nível industrial, incrementa em 10 vezes o valor da matéria-prima (SiGS) das células fotovoltaicas e que, se feito em território nacional, valorizaria o mineral brasileiro para exportação ou abriria portas para produção interna de células fotovoltaicas (EPE, 2018).

A indústria fotovoltaica brasileira pode ser dividida em duas cadeias de valor: Upstream e Downstream. A cadeia Upstream refere-se à produção dos equipamentos e materiais utilizados para compor um sistema fotovoltaico, desde a extração do silício já mencionada, até a produção de módulos FV, inversores, controladores de carga, dispositivos de proteção e etc. Enquanto que a cadeia Downstream é caracterizada pelos serviços de implantação de empreendimentos fotovoltaicos como centrais fotovoltaicas (> 1MW), geração distribuída de grande porte (100 kW até 1 MW) e geração distribuída de pequeno porte (até 100 kW). As características de cada cadeia de valor, são apresentadas na cadeia de valor da indústria fotovoltaica da figura 34 (TOLMASQUIM, 2016).

Figura 34 - Cadeia de valor da indústria fotovoltaica do Brasil.



Fonte: Tolmasquim (2016).

Quanto às atividades da cadeia Downstream, apresentadas na figura 38, são definidas (TOLMASQUIM, 2016):

- **Project Developer:** atuam no desenvolvimento de projetos e são responsáveis por todos os estudos de viabilização e negociações do empreendimento.
- **EPC (Engineering, Procurement and Construction):** também conhecida como especista, a empresa de EPC é responsável pelo projeto e implementação da planta fotovoltaica.
- **O&M (Operação e manutenção):** atividade responsável pela operação do empreendimento, além de sua manutenção corretiva e preventiva.
- **Proprietário:** segundo Tolmasquim (2016, p.354), *“costuma ser formado por um consórcio que detém a concessão para exploração de energia pelo período de 20 anos, geralmente”*.
- **Agente integrador:** presente em sistemas de geração distribuída de pequeno porte, é responsável por soluções quanto à fornecedores, trâmites legais, financiamento e etc.
- **Instalador:** instalação dos sistemas fotovoltaicos de geração distribuída de pequeno porte. Representado principalmente por empresas terceirizadas (IDEAL, 2015).
- **Manutenção:** manutenção do sistema de pequeno porte, por empresas terceirizadas.

Existem ainda, atividades da cadeia de valor da indústria de energia fotovoltaica que, segundo Tolmasquim (2016, p.347) “que perpassam as atividades principais, incluindo, principalmente: financiamento, P&D, certificação, desenvolvimento de softwares.”

5.3 Aspectos sociais e ambientais

A fonte de energia solar fotovoltaica contribui para o desenvolvimento técnico e econômico do país, como já foi exposto neste trabalho, ao proporcionar economia com energia elétrica e robustez ao sistema elétrico, principalmente. Porém, tão importante quanto, estão as questões sociais e ambientais que são diretamente atingidas com o advento desta fonte de energia que gera empregos locais, em todos os níveis da cadeia de

valor da indústria fotovoltaica; e contribui para a redução dos impactos negativos ao meio ambiente.

5.3.1 Acesso à energia elétrica

A energia solar fotovoltaica, através de sua versatilidade, é a principal opção quando o objetivo é levar a energia elétrica onde a rede de distribuição não chega. Sendo assim, essa fonte de energia renovável é destaque no desenvolvimento e inclusão social no Brasil, ao ter sua participação no Programa Luz Para Todos. Este Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica iniciou-se em 2003, através do Decreto nº 4.873, num momento em que no país havia 10 milhões de pessoas, do meio rural, sem acesso à eletricidade. Com o passar do tempo e sucesso do programa, foi sendo melhorado e prorrogado, e sua execução garantida até 2022. Até 2018, já tinham sido atendidas 3,4 milhões de famílias, cerca de 16,2 milhões de pessoas do meio rural do Brasil (MME,2020).

As aplicações dos sistemas fotovoltaicos, na eletrificação do meio rural, se resumem ao abastecimento de água, eletrificar prédios públicos e de comum acesso, minirredes e eletrificação de residências (PINHO; GALDINO, 2014). Das instalações elencadas por Pinho e Galdino (2014, p.486-497), podem ser destacados um exemplo para cada tipo de aplicação já citada na eletrificação rural:

- **Abastecimento de água:** apresentado o empreendimento executado na Comunidade de Bom Jesus, no Ceará, que conta com 30 módulos fotovoltaicos de 50 Wp (figura 35).

Figura 35 - Sistema fotovoltaico para bombeamento de água na Comunidade de Bom Jesus



Fonte: Morales (2011).

- **Eletrificação de prédios de comum acesso:** apresentado o caso da Vila de Bom Futuro, no Pará. Sistema fotovoltaico de 742 Wp e com baterias, para fornecimento de energia elétrica a uma escola local (figura 36).

Figura 36: Sistema fotovoltaico de uma escola no Pará.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

- **Minirredes FV ou Híbridas:** utilizado como exemplo, o Projeto 12 Mini Usinas, no Amazonas, que tem capacidade de geração FV de 162 kWp e atende em torno de 220 estabelecimentos entre casas, escolas e etc. A figura 37, apresenta uma das 12 mini usinas do projeto, a miniusina de Sobrado com capacidade de 13,5 kWp.

Figura 37: Mini-usina de Sobrado, no Amazonas.



Fonte: ELETROBRAS (2011).

- **Eletificação Individual:** um exemplo é o Projeto Piloto Xapuri no Acre, que instalou 3 sistemas fotovoltaicos nos seringais de Iracema, Dois Irmãos e Albrácea, ambos na Reserva Extrativista Chico Mendes. O projeto foi desenvolvido com SIGFIs (Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente). É apresentado na figura 38, uma residência com 1 dos 37 SIGFIs do Seringal Albrácea, composto por 3 módulos de 85 Wp.

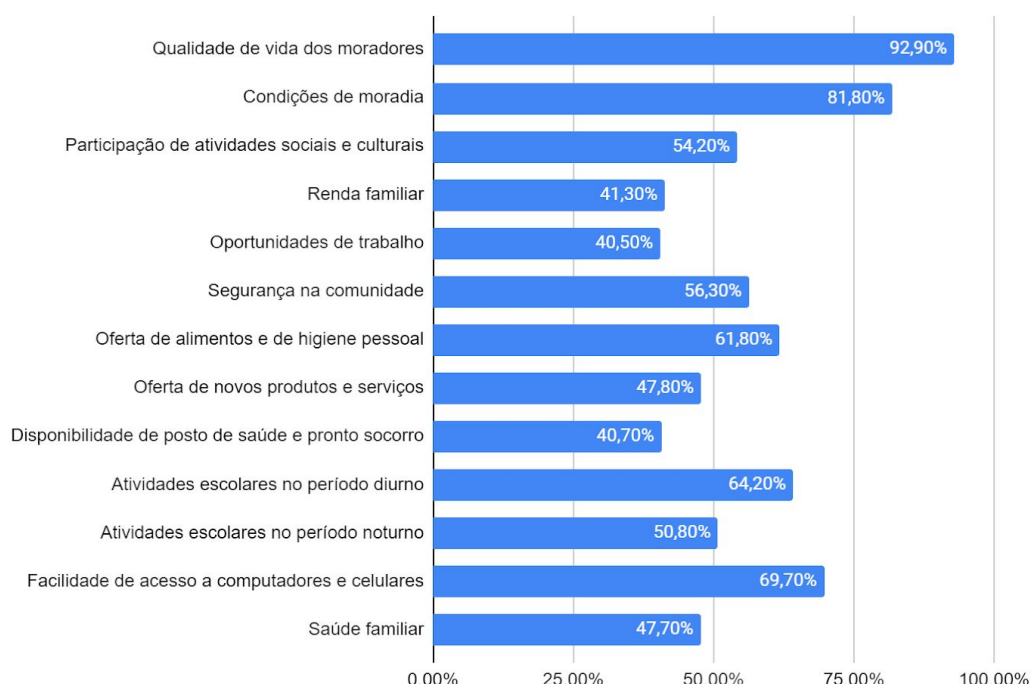
Figura 38: SIGFI instalado em Albrácea.



Fonte: ELETROBRAS (2011)

Por todo o exposto, o Programa Luz Para Todos é credenciado como o programa mais ambicioso do mundo, quanto à inclusão elétrica. O programa buscou, e busca, expandir sua atuação quanto aos lugares mais remotos e isolados do país, com projetos e instalações de mini usinas de geração de energia solar. Com isso, mais pessoas terão direito à energia elétrica, a qual leva junto consigo melhores condições e qualidade de vida (MME, 2018). Na figura 39 pode ser conferida a porcentagem de pessoas que julgaram ter melhoria nos pontos levantados, baseado na inserção da energia elétrica.

Figura 39 - Pesquisa dos benefícios trazidos com a energia elétrica com o programa LPT.



Fonte: Adaptado de MME (2018).

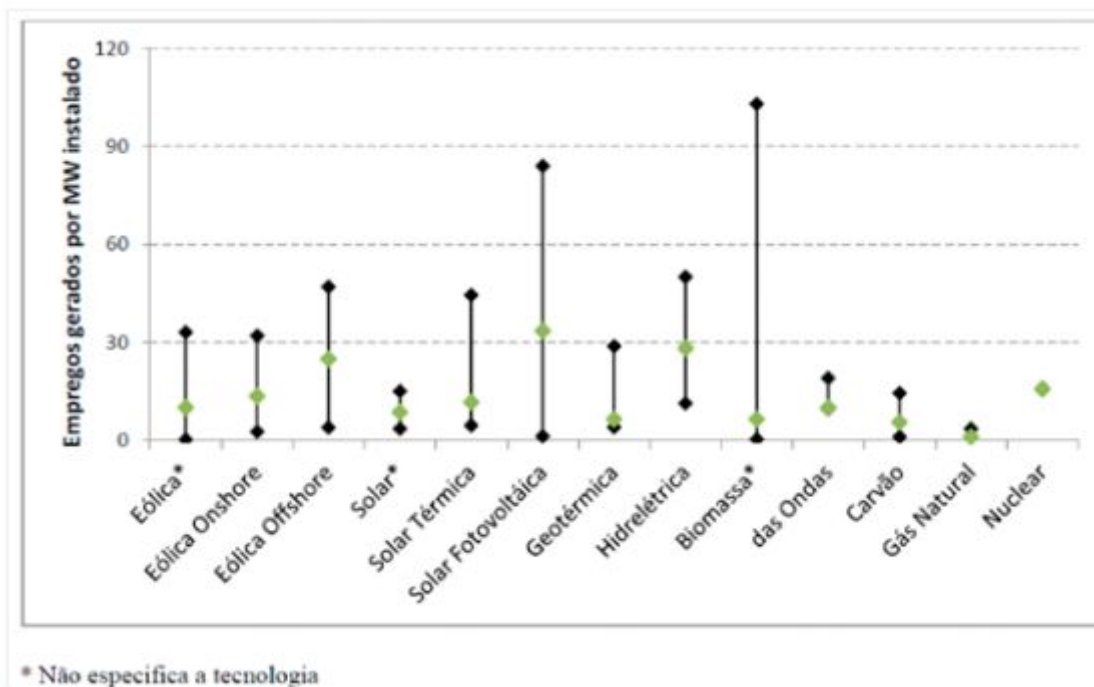
5.3.2 Geração de empregos

Novamente sobre o Programa Luz Para Todos, não no âmbito da acessibilidade à energia elétrica, mas quanto à geração de oportunidades, até 2018 foram criados 510 mil novos postos de trabalho a contar com empreendimentos fotovoltaicos (MME, c2020).

O setor solar fotovoltaico, se forem mantidas as atuais legislações, irá gerar mais de 672 mil novos empregos até 2035. Além da contribuição social, essa geração de renda aquece a economia e, segundo Rubim et al. (2019) “projeta-se um aumento de mais de R\$ 25 bilhões na arrecadação dos governos federal, estaduais e municipais até 2027, recursos que poderão ser aplicados em melhores serviços para a sociedade”.

Considerando uma média de valores apontados por diversos estudos até 2012, a cada MW de potência instalada para geração fotovoltaica eram gerados mais de 30 novos empregos, sendo a maior média entre todas outras fontes de energia, até aquele ano (figura 40) (SIMAS, 2012).

Figura 40 - Geração de empregos por MW instalado, por fonte.



Fonte: Simas (2012).

Mesmo com a questão das células fotovoltaicas não serem produzidas nacionalmente e parte dos módulos serem importados, a fabricação de bens para sistemas fotovoltaicos correspondem por 25% dos empregos gerados dentro da estrutura da cadeia da indústria fotovoltaica. Os outros 75% dos empregos gerados estão no restante da estrutura da imensa cadeia, como instalação, vendas e etc (ABINEE, 2012).

No Brasil até 2012, ocorreu grande geração de empregos da indústria de energia fotovoltaica, principalmente na região do Nordeste, por comportar o maior potencial de geração solar e atrair instalações de UFVs. Isto resultou na criação de empregos diretos e indiretos à fonte solar, ao criar postos de trabalho na própria indústria do setor e aquecer demais mercados locais (ABINEE, 2012).

5.3.3 Questões ambientais

O Brasil, com suas características ambientais privilegiadas, possui uma das matrizes elétricas mais limpas. A grande disponibilidade de recursos hídricos, explorada há muitos anos, tornou-se a principal fonte de geração elétrica do país, diferentemente de países da Europa, onde recursos energéticos são mais escassos e surge a necessidade pela busca de combustíveis fósseis, por exemplo. Resultado disso é que o apelo pela geração de energia elétrica por fontes renováveis, pela ótica de preservação do meio ambiente, não é tão atrativo ao ponto de instigar a necessidade e urgência em se optar por sistemas fotovoltaicos, por exemplo. Com isso, fontes de energia renováveis como a fotovoltaica que, mesmo com o imenso potencial de irradiação solar do Brasil, encontram dificuldades para evoluir no país (ABINEE, 2012).

O principal e mais discutido benefício ao meio ambiente, que sistemas fotovoltaicos oferecem, é a não emissão de CO e CO_2 (relacionado ao efeito estufa) na geração de energia elétrica. Devido a tantas notícias e informações diárias a respeito do aquecimento global, é plausível voltar-se a atenção totalmente ao fato deste grande benefício ambiental que a energia solar proporciona, porém há mais ganhos ambientais que ela pode proporcionar e que seriam mais pesos na balança para optar-se, cada vez mais, por sistemas fotovoltaicos (PEREIRA, N. 2019).

Dentre os benefícios no âmbito ambiental, destacam-se (PEREIRA, N. 2019):

- Possibilidade de reciclar até 97% dos materiais utilizados em sistemas fotovoltaicos ;
- Através da geração distribuída (próxima ao consumo), evitam-se perdas na transmissão que gera economia de recursos energéticos, diminuindo o impacto ao meio ambiente;
- A geração distribuída por ser empreendimentos menores que UFVs e na maioria das vezes de pequeno porte, pode ser instalada em telhados de edificações ou em pequenas áreas, o que evita a utilização de grandes áreas de terra ou água, em comparação às hidrelétricas. Isso gera uma proteção ao meio ambiente, evitando desmatamentos e alagamentos de grandes áreas.
- UFVs podem ser instaladas em locais desérticos ou que agredem menos ao meio ambiente. No caso do Brasil, devido à grande extensão territorial; diversidade de biomas e bom potencial solar no território todo; é mais fácil encontrar locais com essas características e manter alta eficiência.

Dentre os impactos negativos ao meio ambiente estão:

- Degradação ou modificação da paisagem devido ao preparo dos locais que receberão as usinas;
- Geração de resíduos e manuseio de produtos químicos, ambos arriscando a contaminação dos solos e águas;
- Impacto sobre ecossistema e fauna, também por conta do preparo do local para instalação dos painéis solares, gerando alterações estruturais no solo e no habitat natural dos animais locais;
- A construção de UFVs, traz o aumento demográfico para a região devido tanto à demanda temporária de mão de obra, quanto pelo desenvolvimento econômico local. Isso pode resultar na geração de resíduos (lixos) e poluição do meio ambiente local;
- Utilização de baterias em sistemas distribuídos off-grid, as quais podem ser agressivas ao meio ambiente nos processos de fabricação e descarte;

Um importante fator que dá segurança ao meio ambiente do Brasil é a grande extensão e o grande potencial de irradiação solar territoriais, uma vez que isso proporciona a opção de escolha de regiões para instalação de usinas solares fotovoltaicas. Assim, há a facilidade em proteger áreas julgadas importantes ao patrimônio nacional. Por essa ótica, nos estudos de potencial e eficiência de geração no país, são excluídas grandes extensões de terras, incluindo reservas indígenas ou florestais. Ainda, são consideradas aptas, somente áreas antropizadas, as quais já foram manuseadas pelo homem (PEREIRA et al., 2017).

5.4 Dificuldade, desafios e perspectivas

5.4.1 Barreiras à geração distribuída

Muito se sabe dos benefícios que a inserção da energia solar fotovoltaica na geração distribuída, pode trazer ao desenvolvimento socioeconômico e ambiental do Brasil. Contudo, nos últimos anos surgiram dúvidas quanto à confiança nessa fonte de energia, devido à sua falta de incentivos e tentativas de mudanças nas legislações (RUBIM; SAUAIA; KOLOSZUK, 2019) que ameaçam, sobretudo, consumidores cativos que detêm a tecnologia em suas residências, que são responsáveis por 74% do total de sistemas instalados, e os que veem nesse empreendimento uma oportunidade de reduzir custos e participar de um cenário sustentável.

O principal ponto de discussão fica por conta do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), já apresentado neste trabalho e que sofre ameaças de alterações, por medidas da ANEEL que podem desvalorizar a energia injetada na rede em até 60% (RUBIM; SAUAIA; KOLOSZUK, 2019). Se isso ocorrer, muitos projetos serão inviabilizados, a geração distribuída perderia sua principal atratividade e ocorreria a desvalorização de toda a cadeia de valor da indústria fotovoltaica.

Consumidores que têm sistemas fotovoltaicos para geração distribuída já encontram problemas, antes mesmo de qualquer decisão quanto à SCEE. Os problemas acontecem junto às distribuidoras de energia elétrica, que não obedecem regras impostas pela ANEEL e dificultam o relacionamento do cliente que já tem a instalação ou que queira instalar o sistema em seu edifício (SAUAIA; KOLOSZUK; COSTA, 2019).

As principais reclamações de consumidores são com o não cumprimento do prazo de suas solicitações, por parte das distribuidoras, de requisitos para que gerem sua energia, como o acesso à rede, por exemplo.

“O problema é crônico e tem piorado com o crescimento da geração distribuída solar fotovoltaica. Isso evidencia que há, por parte de algumas das distribuidoras de energia elétrica, uma resistência à evolução do setor elétrico e às novas tecnologias e inovações disponíveis no mercado. Para esta visão do passado, quanto mais autonomia e opções de escolha os consumidores tiverem, pior!” (SAUAIA; KOLOSZUK; COSTA, 2019, on-line).

De fato, há interesses econômicos de quem queria invalidar e retrain a evolução da geração distribuída solar fotovoltaica no país. Principalmente aqueles que detêm lucros provenientes de outras fontes de energia. Sobra então para os consumidores, além do prejuízo e falta de oportunidade quanto aos benefícios dessa fonte de energia, denunciar as más condutas das concessionárias distribuidoras e cobrar políticas favoráveis (SAUAIA; KOLOSZUK; COSTA, 2019).

A energia fotovoltaica, assim como qualquer outra energia renovável, é afetada por problemas de projeto, características geográficas e o quanto está desenvolvida no país. E assim, possui barreiras que podem frear sua evolução nos próximos 30 anos (GORINI, 2020).

5.4.2 Atualização da REN 482/12 e o impacto ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE)

Considerada o maior avanço para a geração distribuída solar fotovoltaica do Brasil, a Resolução Normativa 482 de 2012 da ANEEL, que define condições para a micro e minigeração distribuídas, trouxe consigo o Sistema de Compensação de Energia (SCEE), grande avanço que proporcionou o balanço da energia consumida e a injetada na rede e assim, gerar créditos e abatimentos nas faturas de energia elétrica dos consumidores (NASCIMENTO, 2017).

A Resolução 482 passou a ser revisada a partir da premissa de que o SCEE precisaria ser reestruturado para garantir a viabilidade da geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil. Os pontos destacados pela ANEEL para que a fonte solar continue a crescer de forma saudável, tendo em vista a necessidade de alterações na resolução, são (ANEEL, 2019):

- Melhorar as condições de acesso à rede;
- Revisão de direitos e obrigações de consumidores; concessionárias e qualquer outro que tenha participação;
- Assegurar as boas condutas de utilização das redes de distribuição, por todos envolvidos, a partir do respeito às normas;

Além dos listados, o principal ponto levantado pela ANEEL e que se tornou o grande motivo da discussão, é referente ao pagamento que se deve ao custo de se utilizar a rede para micro e minigeração distribuída (ANEEL, 2019). Segundo a ANEEL (2019, p.2):

Atualmente, quando a compensação de energia se dá na baixa tensão, esses usuários deixam de pagar todas as componentes da tarifa de fornecimento sobre a parcela de energia consumida que é posteriormente compensada pela energia injetada. Esse incentivo possibilitou a chegada e o desenvolvimento do mercado de geração de pequeno porte no Brasil, mas sua prolongação excessiva prejudicará tanto os demais consumidores como os consumidores que instalam os sistemas de geração.

Em 2018, foi aberta então a primeira Consulta Pública (CP nº 10/2018) e de posse do ponto de vista da sociedade sobre o tema, em 2019 a ANEEL iniciou as audiências públicas com apresentação do relatório de Análise de Impacto Regulatório (AIR nº 04/2018)

para abrir a discussão a respeito dos possíveis cenários para a geração distribuída solar fotovoltaica (SICES BRASIL, 2019).

Antes de qualquer proposta de revisão, a regra para o SCEE era que a cada 1 kWh injetado, o prosumidor (produtor e consumidor) gera 1 kWh de crédito (SICES BRASIL, 2019). Na AIR, a ANEEL intitulou este cenário de Alternativa 0 e criou mais 5 propostas, apresentando então Alternativas de 0 a 6. Cada proposta em forma de alternativa, levanta um valor para a energia injetada na rede a considerar, cada qual, determinadas componentes tarifárias (ANEEL, 2019).

Para compreender as alterações propostas, deve-se saber primeiramente da estrutura da tarifa de energia. O preço da tarifa de energia é composto por duas componentes meio a meio (SOLARVOLT, 2019):

- **Tarifa de Energia (TE):** de seus 50% de participação na tarifa de energia, 38% são custo da energia e 12% encargos;
- **Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD):** de seus 50% de participação na tarifa de energia, 6% são referentes a transmissão no cabo A, 28% transmissão no cabo B, 8% encargos e 8% perdas.

São então listadas as 6 propostas de cenários criados pela ANEEL, para serem avaliadas quanto alteração da Resolução 482 (ANEEL, 2019):

- **Alternativa 0:** modelo vigente em que, a cada 1 kWh injetado, é gerado 1 kWh de crédito. Neste cenário, há a compensação total da tarifa de energia elétrica (TE + TUSD) para a energia injetada. Ou seja, o valor da tarifa de energia é igual para a energia consumida e para a injetada na rede, criando a proporcionalidade de 1 pra 1;
- **Alternativa 1:** nesta proposta, não haveria a compensação, para a energia injetada, do custo de transmissão no fio B presente na TUSD e que representa 28% da tarifa de energia. Assim a partir desta alternativa para as próximas, a energia injetada passa a perder seu valor e a compensação de energia a diminuir;
- **Alternativa 2:** não haveria compensação da transmissão nos fios A e B, totalizando 34% de tarifa não compensada e que o prosumidor deverá pagar por ela;
- **Alternativa 3:** sem compensação da transmissão nos fios A e B e dos encargos da TUSD. Totalizando redução de 42% do valor da energia injetada;

- **Alternativa 4:** não haveria a compensação de toda a TUSD (50% da tarifa de energia).
- **Alternativa 5:** além da TUSD, não seriam compensados os 12% dos encargos da TE. Desvalorizando em 62% o valor da energia injetada, que pela mesma matemática, compensaria apenas 38% do custo da energia consumida tendo a proporção 1:1 quanto ao consumo e geração.

No texto divulgado para análise na CP 25, a ANEEL usou uma nova metodologia, que foge à utilizada para a elaboração da AIR. Desta nova metodologia, decorreu a sugestão de adoção de alternativa muito mais prejudicial ao consumidor, qual seja, a alternativa 5. (SICES BRASIL, 2019, p.2)

Independente da alternativa de cenário que vir a ser definida, para a geração distribuída junto a carga, como é o caso de residências que utilizam da energia gerada para abater seus próprios custos, a ANEEL propõe que os consumidores que já possuem conexão e os que se conectarem até a conclusão da revisão da Resolução 482, terão os atuais benefícios garantidos por 25 anos. Para quem se conectar após a publicação da nova REN 482, haverá a garantia das regras atuais por 10 anos. Há também a proposta de que ao se atingir 3,36 GW instalados, de GD junto a carga, as próximas conexões estariam sob cenário da alternativa 1 a qual não compensa somente a tarifa de transmissão do fio B (ANEEL, 2019).

Para a geração distribuída remota, a garantia das regras atuais se dariam como para a geração junto à carga. Seria determinado porém, que ao se atingir 1,25 GW, entraria em vigor a alternativa 1; e ao se atingir 2,13 GW instalados, mudaria para a alternativa 3 (ANEEL, 2019).

O principal argumento contrário às alterações propostas é de que a geração distribuída favorece o sistema de distribuição, o que torna ainda mais incabível a cobrança das tarifas. Entre os benefícios da geração distribuída, utilizados como argumento, está o alívio do carregamento da rede, o que possibilita a entrada de novos consumidores sem que necessite de investimentos na expansão do sistema. Porém, este argumento é parcialmente refutado pela ANEEL, a qual afirma que os benefícios da GD não acabam por postergar os investimentos no Sistema de Distribuição, uma vez que esse tipo de geração apresenta intermitência na injeção de energia na rede, o que interfere no seu planejamento e dimensionamento que precisa estar preparada para suprir a demanda. Diante deste fato,

haveria a necessidade de investimentos constantes na rede por parte da concessionária, para que haja a integração da GD com a rede (ANEEL, 2019).

Enquanto a revisão da REN 482 está em andamento e não foi concluída, há a corrida contra o tempo para quem têm a pretensão de ter o seu sistema fotovoltaico, com intuito de injetar energia elétrica na rede de distribuição.

5.4.3 Perspectivas para geração solar fotovoltaica

Nos últimos anos, a geração distribuída solar fotovoltaica apresentou notório crescimento diante da evolução e redução do custo da tecnologia. Reflexo disso é a quantidade de empresas instaladoras que surgiram no Brasil e que, até 2019, somavam mais de 12 mil empresas e mais de 990 MW de potência instalada, com sistemas de micro e minigeração distribuída solar fotovoltaica (KOLOSZUK; SAUAIA; MEYER, 2019).

Espera-se que o número de empresas continue a subir, sendo 500 novas todo mês e em toda cadeia da indústria e que essa se torne, em poucos anos, se mantiver incentivos na área, numa das mais relevantes indústrias do setor elétrico brasileiro (KOLOSZUK; SAUAIA; MEYER, 2019).

Tal perspectiva é amparada também pelo forte apoio da população brasileira à tecnologia. Levantamento realizado pelo Ibope Inteligência em 2018 apontou que 9 em cada 10 brasileiros quer gerar energia renovável em casa. Pesquisas realizadas pelo Ibope Inteligência, em 2018 e 2017, pelo Datafolha, em 2016, e pelo DataSenado, em 2015, comprovaram que a fonte solar fotovoltaica conta com amplo apoio de mais de 85% da população brasileira. (KOLOSZUK; SAUAIA; MEYER, 2019, on-line).

As boas perspectivas globais do setor podem auxiliar o Brasil a superar as barreiras estruturais internas que tendem a frear o crescimento da indústria fotovoltaica nacional. Uma delas é o fato de o custo médio de investimento por kW ter caído 74% na última década e estima-se o mesmo para até 2030, e que a queda seja maior que 80% em 2050, que reduziria neste mesmo ano o custo de produção de energia em 50% (IRENA, 2019).

A estimativa de que a capacidade instalada global aumente nas próximas décadas, pode se tornar uma cobrança para o Brasil seguir a mesma linha de outros países e opte por investir na fonte solar para aumento de sua capacidade de geração de energia elétrica. Uma vez que, espera-se que a capacidade de 500 GW de potência instalada global em sistemas

fotovoltaicos, chegue em 2030 à 2.500 GW instalados e à 8.500 GW em 2050 (IRENA, 2019).

A geração centralizada, que hoje detém quase 2,5 GW de capacidade instalada em usinas fotovoltaicas, foi responsável pelo investimento de mais de R\$10 bilhões de 2014 a 2019 e gerou mais de 50 mil empregos. Espera-se, para os próximos anos, que este modelo de geração diversifique o suprimento da energia elétrica, torne-se mais competitiva economicamente e dê suporte à geração hidráulica e ao desenvolvimento econômico do país. E para auxiliar tudo isso, a geração centralizada solar fotovoltaica estará preparada para participar dos próximos leilões federais, A-4 e A-6, que surgirem.

6 CONCLUSÃO

A demanda energética não para de crescer no mundo e mesmo na liderança da produção energética, os combustíveis fósseis crescem sob taxas menores a cada ano. Enquanto isso, a produção energética por fontes renováveis de energia, destaque para a solar e eólica, cresce a taxas maiores a cada ano.

Esse destaque de crescimento para a fonte solar, se dá cada vez mais pela evolução da tecnologia e competitividade dentro da indústria, devido ao contínuo surgimento de novas empresas. Isso gera a redução dos preços e o aumento da eficiência de sistemas fotovoltaicos, que tornam-se mais atrativos. Os benefícios no contexto ambiental, principalmente o de não emitir gases tóxicos e de efeito estufa, fortalecem a fonte solar ainda mais na competição com as demais, devido à problemática atual do aquecimento global.

No Brasil, a energia solar fotovoltaica cresceu e conquistou um bom espaço no setor elétrico, principalmente na última década. Surgiram variados modelos de incentivos como programas sociais e de financiamento; incentivos tributários e incentivos legislativos. Esse conjunto de atratividade contribuiu para o crescimento da indústria fotovoltaica no país, que chegou a 2.473 MW de potência instalada em 2019, com a maior taxa de crescimento (38%) entre as demais fontes de energia elétrica (6,9% da segunda colocada).

Quanto às questões sociais, a energia solar fotovoltaica beneficiou e beneficia milhões de pessoas, em todo o território nacional. Seja tão somente pelo direito de acesso à energia elétrica que beneficiou mais de 16 milhões de brasileiros, proporcionando melhores condições de vida e oportunidades, até às áreas mais remotas. No Brasil, a geração solar fotovoltaica ainda proporciona economia na fatura da conta de energia elétrica de milhares de famílias, esquentando a economia do país e gera milhares de empregos. Nos 15 primeiros anos do programa Luz Para Todos, ele criou 510 mil novos empregos.

A geração fotovoltaica poderá gerar mais de 672 mil empregos até 2035, se forem mantidas as atuais regras. Mas sabe-se, como apresentado neste trabalho, que a indústria fotovoltaica encontra barreiras ao seu crescimento no Brasil, em diversos níveis de sua cadeia. A revisão da Resolução Normativa 482 da ANEEL será a principal barreira ao crescimento da geração distribuída solar fotovoltaica na próxima década, segundo especialistas.

Existe ainda a defesa de interesses por parte de órgãos do governo e agentes reguladores, e empresas privadas do setor e produtores, que acabam por gerar divisão da opinião pública e dúvidas quanto à fonte solar, esfriando o seu mercado. É o que acontece com a revisão da REN 482, julgada necessária pela ANEEL e problemática por empresas e produtores. Fica clara a necessidade de encontrar o ponto de equilíbrio, urgentemente, entre ambos os lados, governo e empresas/produtores, para que minimize os prejuízos, sobretudo à continuidade da expansão da energia solar fotovoltaica no país.

Para concluir, deve-se criar ainda mais incentivos tanto à geração distribuída quanto para a geração centralizada de energia solar fotovoltaica e assim, aproveitar o imenso potencial solar brasileiro que é um dos melhores do mundo. Pode-se desenvolver a indústria para purificação do silício no Brasil, que hoje é extraído e enviado para ser purificado no exterior, o que geraria empregos e fortaleceria a economia. Muitas são as possibilidades da geração fotovoltaica no país que podem proporcionar o desenvolvimento da nação e de forma sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABINEE. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**. [s.l.], 2012. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 20/09/2020.
- ABSOLAR. **Marco histórico para o setor fotovoltaico brasileiro**. [s.l.] ABSOLAR, 2014. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/marco-historico-para-o-setor-foto-voltaico-brasileiro.html>. Acesso em: 05/10/2020.
- ALVARENGA, C. A. **Energia solar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica no Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>. Acesso em: 10/07/2020.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica no Brasil**. 1. ed. Brasília: Aneel, 2002. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em: 14/07/2020.
- ANEEL. **Como funciona o setor elétrico brasileiro**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 03/08/2020.
- ANEEL. Micro e minigeração distribuídas. **Geração distribuída**. Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 03/10/2020.
- ANEEL. Perspectivas da energia solar e o apoio do BNDES ao setor. **Seminário de micro e minigeração distribuída**. Brasília: ANEEL. 2014.
- ANEEL. Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída –Resolução Normativa nº 482/2012. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 003/2019**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/audiencias-publicas>. Acesso em: 10/10/2020.
- BERGER, L. T. e INIEWSKI, K. **Smart Grid: aplicações, comunicação e segurança**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CEBIE. **O que é matriz energética?**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/o-que-e-matriz-energetica/>. Acesso em: 11/06/2020.

CEMIRIM. **Energia: fontes e tipos**. 2020. Disponível em: <https://cemirim.com.br/energia-fontes-e-tipos/>. Acesso em: 13/06/2020.

CRESESB;CEPEL. **Energia solar fotovoltaica**. 2018. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321. Acesso em: 10/09/2020.

CRUZ, T. P. R. et al. Análise socioambiental e legislativa dos impactos da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.8, p. 63495-63511, Ago de 2020.ISSN 2525-8761. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/15880/13029>. Acesso em: 13/10/2020.

DENHOLM, P.; MARGOLIS, R. M. **Land-use requirements and the per-capita solar footprint for photovoltaic generation in the United States**. Energy Policy, v. 36, n. 9, p. 3531–3543, 2008.

ELETROBRAS (LIMA, A. A. N). **Experiência da Eletrobras com sistemas de atendimento para eletrificação rural utilizando fontes renováveis de energia**. Campinas, Brasil: Apresentação na 1ª INOVA FV - Workshop Inovação para Estabelecimento do Setor de Energia Solar Fotovoltaica no Brasil, 2011.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, maio/2012 (Nota Técnica). Disponível em: http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf. Acesso em: 10/10/2020.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Anuário estatístico de energia elétrica 2020**. Brasília: MME/EPE, 2020a. Disponível: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acessado em: 22/09/2020

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Fontes de energia**. 2020b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 25/06/2020.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Nota Técnica PR 07/18 - Premissas e custos da oferta de energia elétrica no horizonte 2050. **Estudos de Longo Prazo**. Rio de Janeiro, RJ:MME/EPE, 2018. Disponível em:
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-456/NT%20PR%20007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20El%C3%A9trica.pdf>. Acesso em: 08/10/2020.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Plano decenal de expansão de energia 2029**. Brasília: MME/EPE, 2020c. Disponível:
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>. Acesso em: 20/07/2020.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Relatório Síntese: ano-base 2019. **BEN 2020 [Balanço Energético Nacional 2020]**. Rio de Janeiro,RJ: MME/EPE, 2020d. Disponível:
https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf. Acesso em: 08/10/2020.

FREITAS, S. S. A. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. Tese (Mestre em Engenharia Industrial) - Faculdade de Engenharia Electrotécnica, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2009.

GORINI, R. Perspectivas para o mercado solar fotovoltaico global. **Cenários Solar**.. [s.l]: Editora Brasil Energia, 2020. Disponível em:
<https://cenariossolar.editorabrasilenergia.com.br/perspectivas-para-o-mercado-solar-fotovoltaico-global/>. Acesso em: 29/09/2020.

IDEAL. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica - Edição 2015**. 2015. Disponível em:
http://issuu.com/idealeco_logicas/docs/2015_ideal_mercadogdfv_150901_final. Acesso em: 25/09/2020.

IDEAL. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica**. 6. ed. [s.l], 2019. Disponível em:
https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/o_mercado_brasileiro_de_gera__o_distribu_da_fv_-_e. Acesso em: 11/10/2020.

IEA. **World energy balances: Overview**. Paris, 2020. Disponível em:
<https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>. Acesso em: 05/06/2020.

IEA. **World energy outlook 2019: Renewables - Flagship report**. Paris, 2019a. Disponível em:
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/renewables#abstract>. Acesso em: 06/07/2020.

IEA. **World energy outlook 2019: Electricity - Flagship report**. Paris, 2019b. Disponível em:
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/electricity#abstract>. Acesso em: 02/07/2020.

IRENA. **Future of solar photovoltaic**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019. Disponível em:
<https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic>. Acesso em: 15/10/2020.

KOLOSZUK, R.; SAUAIA, R.; MEYER, R. **Os guerreiros da geração distribuída solar fotovoltaica**. ABSOLAR, 2019. Disponível em:
<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/os-guerreiros-da-geracao-distribu-ida-solar-fotovoltaica.html>. Acesso em: 14/10/2020

LAIBER, A. **Compreenda de uma vez por todas o que é o efeito fotovoltaico**. Laiber Solar, 2020. Disponível em:
<https://laibersolar.com/blog-do-laiber/energia-solar-fotovoltaica-principios-fisicos>. Acesso em: 01/09/2020.

LANGE, W. **Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético**

fotovoltaico. Rio de Janeiro, RJ: Empresa De Pesquisa Energética/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2012.

LOPEZ, A. et al. **US renewable energy technical potentials: A GIS-based analysis.** [s.l.] NREL, 2012. Disponível em:

<http://dspace.bhos.edu.az/jspui/handle/123456789/1093>. Acesso em: 03/10/2020.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S. **Handbook of photovoltaic science and engineering.** 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2011.

MME. **Luz Para Todos completa 15 anos com 16 milhões de brasileiros beneficiados.** [s.l.], 2018. Disponível em:

http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9lcdBICN/content/luz-para-todos-completa-15-anos-com-16-milhoes-de-brasileiros-beneficiad-1/pop_up?_101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN_viewMode=print&_101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN_languageId=pt_BR. acesso em: 13/10/2020.

MME. **Programa de eletrificação rural.**[s.l.], c2020. Disponível em:

https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp. Acesso em: 12/10/2020.

MME. **Resenha energética brasileira:** Ano base 2019. Brasília: MME, 2020.

Disponível:

<http://www.mme.gov.br/documents/36208/948169/Resenha+Ener%C3%A9tica+Brasileira+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2020/ab9143cc-b702-3700-d83a-65e76dc87a9e>. Acesso em: 27/07/2020.

MORALES, L. R. V. **A Utilização de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento para Irrigação em Pequenas Propriedades Rurais.** São Paulo, Brasil: Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 2011.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas.** Brasília:

Câmara dos Deputados, 2017. Disponível em:

https://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia_solar_limp.pdf?sequence=1. Acesso em: 11/10/2020.

OEI. **Proinfa incentiva fontes alternativas de energia.** [s.l.], c2014. Disponível em:

https://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/reportajes_084.htm#:~:text=Isto%20

porque%20a%20energia%20solar,o%20caso%20da%20energia%20solar. Acesso em: 14/10/2020.

OLIVEIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. H.; GOMES, R. O. Energia solar: um passo para o crescimento. **REGRAD, UNIVEM**. Marília-SP, v.10, n.1, p.377-389, Out. de 2017.

ONS. **O sistema interligado nacional**. 2020b. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 04/08/2020.

ONS. Mapas para Download. **Mapas**. 2020a. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 04/08/2020

ORNELLAS, A.J. **A energia dos tempos antigos aos dias atuais**. Maceió : EDUFAL, 2006. 71p. : il. - (Conversando sobre ciências em Alagoas). Disponível em: http://www.ufal.edu.br/usinaciencia/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/A_Energia_dos_Tempos_Antigos_aos_dias_Atuais.pdf. Acesso em: 05/06/2020.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 1. ed. São José dos Campos, SP: INPE,2006.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos, SP: INPE, 2017. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>. Acesso em: 28/09/2020.

PEREIRA, N. X. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, São Paulo, 2019.

PINHO, J.T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **História e origem da energia solar**. 2016. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html>. Acesso em: 05/09/2020.

PORTAL SOLAR. **Vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica**. 2020. Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>.

Acesso em: 20/09/2020.

REIS, L.B. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. Barueri, SP: Editora Manole Ltda, 2015. Disponível em:

https://books.google.com.br/books?id=YpgDCwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0. Acesso em: 18/06/2020.

REIS, P. **Energia solar: Tudo o que deve saber**. Portal Energia, 2019. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/energia-solar/>. Acesso em: 20/08/2020.

RIOS, I.; RIOS, E. Microgeração fotovoltaica conectada à rede elétrica: o que mudou com a Resolução Normativa nº 687 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.8, n.8, p.119-122, Dez, 2017.

RUBIM, B.; SAUAIA, R.; KOLOSZUK, R. **A quem interessa inviabilizar a geração distribuída? questiona ABSOLAR**. [s.l.]: PODER 360, 2019. Disponível em:

<https://www.poder360.com.br/opiniaao/economia/a-quem-interessa-inviabilizar-a-geracao-distribuida-questiona-absolar/>. Acesso em: 20/09/2020.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SAUAIA, R. L. **Energia solar fotovoltaica: panorama, oportunidades e desafios**. In: FIEE Smart Future, 30., 2019, São Paulo. São Paulo: ABSOLAR, 2019.

Disponível em: <http://www.tec.abinee.org.br/2019/arquivos/g5162.pdf>. Acessado em: 30/09/2020.

SAUAIA, R. L.; KOLOSZUK, R. Admirável energia nova. **Blogs Fausto Macedo repórter**. Estadão, 2019. Disponível em:

<https://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/admiravel-energia-nova/>. Acesso em: 25/08/2020.

SAUAIA, R. L.; KOLOSZUK, R. Renováveis no brasil: maturidades diferentes para cada fonte exigem cuidados especiais. **Blogs Fausto Macedo repórter**. Estadão, 2018. Disponível em:

<https://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/renovaveis-no-brasil-maturidade-s-diferentes-para-cada-fonte-exigem-cuidados-especiais/>. Acesso em: 23/09/2020.

SAUAIA, R. L.; KOLOSZUK, R.; COSTA, F. A. C. **Mais respeito aos consumidores da geração distribuída**. [s.l.]: Biomassa BR, 2019. Disponível em: <http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=5156>. Acessado em: 30/09/2020.

SICES BRASIL S.A. Contribuições Sices Brasil S.A. **Consulta Pública nº 025/2019**. ANEEL, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas>. Acesso em: 11/10/2020.

SILVA, R. M. **Energia Solar: dos incentivos aos desafios**. Brasília. Senado Federal, 2015. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-paradiscussao/td166>. Acesso em: 15/09/2020.

SIMAS, M. S. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada**. Dissertação de Mestrado, IEE-USP, 2012.

SOLAR MAGAZINE. **Types of solar panels: on the market and in the lab [2020]**. Disponível em: <https://solarmagazine.com/solar-panels/>. Acesso em: 12/09/2020.

SOLARVOLT. **A Revisão da Resolução Normativa nº 482 da ANEEL: Entenda**. 24

outubro 2019. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/a-revisao-da-resolucao-normativa-n-482-da-aneel-entenda/>. Acesso em: 22 maio 2020.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

ZILLES, R. et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

