

DIFERENÇA ENTRE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTVOLTAICA *ON-GRID* E *OFF-GRID* NO BRASIL

Gabriel de Novaes Corrêa da Silva

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

gabriel.novaes@ufms.br

Prof. Dr. Jamson Justi (Orientador)

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

jamson.iusti@ufms.br

RESUMO

Beneficiando-se de uma alta incidência solar ao longo do ano, o Brasil possui um imenso potencial para a geração de energia solar. O objetivo deste trabalho é apresentar as diferenças existentes entre sistemas de geração de energia fotovoltaica *on-grid* e *off-grid* no Brasil. A pesquisa se caracteriza como bibliográfica, utilizando-se de métodos históricos e comparativos. O sistema *on-grid*, conectado à rede elétrica, permite a compensação de energia gerada em excesso, resultando em uma redução significativa nas contas de luz, e contribui para uma matriz energética mais limpa e sustentável. A Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL é destacada como um marco regulatório crucial que viabilizou a expansão da geração distribuída no país, possibilitando que consumidores residenciais, comerciais e industriais participem ativamente na geração de energia. O estudo também aborda os desafios associados aos sistemas *off-grid*, que são particularmente relevantes para regiões remotas sem acesso à rede elétrica, destacando as complexidades e custos adicionais envolvidos. A energia solar fotovoltaica desempenha um papel essencial no futuro energético sustentável do Brasil, ressaltando-se a necessidade de contínuos investimentos em políticas públicas, incentivos econômicos e inovação tecnológica para maximizar o aproveitamento desse recurso renovável.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, geração de créditos, sustentabilidade, sistema *on-grid*, sistema *off-grid*.

ABSTRACT

Benefiting from high solar incidence throughout the year, Brazil has immense potential for solar energy generation. The objective of this paper is to present the differences between *on-grid* and *off-grid* photovoltaic energy generation systems in Brazil. The research is characterized as bibliographic, using historical and comparative methods. The *on-grid* system, connected to the electricity grid, allows the compensation of excess energy generated, resulting in a significant reduction in electricity bills, and contributes to a cleaner and more sustainable energy matrix. Normative Resolution nº 482/2012 of ANEEL is highlighted as a crucial regulatory milestone that enabled the expansion of distributed generation in the country, allowing residential, commercial and industrial consumers to actively participate in energy generation. The study also addresses the challenges associated with *off-grid* systems, which are particularly relevant for remote regions without access to the electricity grid, highlighting the complexities and additional costs involved. Photovoltaic solar energy plays an essential role in Brazil's sustainable energy future, highlighting the need for continued investment in public policies, economic incentives and technological innovation to maximize the use of this renewable resource.

Keywords: Photovoltaic solar energy, credit generation, sustainability, *on-grid* system, *off-grid* system.

1. INTRODUÇÃO

Em um cenário energético global em constante transformação, o Brasil se destaca como um dos principais protagonistas na ascensão da energia solar fotovoltaica. Movido por uma conjunção de fatores favoráveis, o país trilha um caminho promissor rumo à sustentabilidade energética, impulsionado pela abundância de recursos solares, queda nos custos da tecnologia e políticas públicas de incentivo (Absolar, 2024).

O Brasil ostenta um dos maiores potenciais de geração solar do mundo, presente em seu extenso território banhado por sol. Essa riqueza natural se configura como um trunfo fundamental na busca por um futuro energético mais limpo e renovável. A queda vertiginosa dos custos da tecnologia fotovoltaica nos últimos anos democratizou o acesso à energia solar, tornando-a viável para consumidores residenciais, comerciais e industriais (Absolar). Essa acessibilidade impulsiona a descentralização da geração de energia, promovendo a autonomia energética e a sustentabilidade em diversas escalas.

O compromisso do governo brasileiro com a transição energética se materializa em diversas políticas públicas de incentivo à energia solar. Sendo destacado a Resolução Normativa 482/2012 (REN 482) pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para a geração de créditos por energia produzida, isenção fiscal, linhas de crédito para energia solar, são alguns exemplos que viabilizam a instalação de sistemas fotovoltaicos em todo o país (Sustentabilidade, 2024).

A energia solar fotovoltaica se apresenta como uma solução energética limpa, renovável e sustentável, com potencial para transformar a matriz energética do Brasil e impulsionar o desenvolvimento socioeconômico do país. Com investimentos contínuos, aprimoramento da infraestrutura e políticas públicas de incentivo, a energia solar tem potencial para se tornar uma das principais fontes de energia do Brasil, construindo um futuro mais próspero e sustentável para todos.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar as diferenças existentes entre sistemas de geração de energia fotovoltaica *on-grid* e *off-grid* no Brasil. Dentre os objetivos específicos, pode-se citar: mostrar a expansão da geração distribuída no País, especialmente no que diz respeito à energia solar fotovoltaica; falar sobre o arcabouço regulatório do setor elétrico; e abordar os incentivos governamentais relacionados aos sistemas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Perfil da matriz elétrica brasileira

A matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por fontes de energia renovável, com destaque para as hidrelétricas, que representam mais da metade da geração total de eletricidade no país (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2023). Esse fato é de extrema importância, uma vez que as fontes de energia não renováveis são as principais responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa (GEE), contribuindo significativamente para as mudanças climáticas (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2022).

As hidrelétricas desempenham um papel crucial na matriz elétrica brasileira, fornecendo uma fonte confiável e abundante de eletricidade (Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2023). No entanto, o Brasil também conta com outras fontes de energia renovável em sua matriz, como biomassa, gás natural, solar e eólica (Associação Brasileira de Energia Eólica - ABEEólica, 2023). Essas fontes desempenham um papel importante na diversificação da matriz elétrica e na redução da dependência de combustíveis fósseis (Agência Internacional de Energia Renovável - IRENA, 2023).

Além das fontes de energia renovável, a matriz elétrica brasileira também inclui fontes não renováveis, como nuclear, derivados de petróleo e carvão e seus derivados (Ministério de Minas e Energia - MME, 2023). No entanto, é fundamental continuar investindo em fontes de energia limpa e sustentável, visando reduzir as emissões de GEE e promover um desenvolvimento energético mais sustentável e resiliente (Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, 2021).

Logo abaixo encontra-se descrito brevemente cada uma dessas fontes energéticas presentes no Brasil.

Biomassa: A energia da biomassa é derivada de resíduos de matérias orgânicas e pode ser obtida por meio da queima direta desses materiais ou da captura de gases liberados durante o processo de decomposição. Essa energia é então convertida em eletricidade por meio da geração de vapor. Exemplos comuns de biomassa incluem o bagaço de cana-de-açúcar, cavaco de madeira, cascas e palhas, frequentemente encontrados em indústrias. (Raízen, 2024)

Gás Natural: De acordo com Prieto (2023), o gás natural é uma fonte de energia encontrada em reservatórios subterrâneos, sendo considerado menos poluente em comparação com outras fontes de energia fóssil. Sua queima gera calor e vapor, sendo comumente utilizado em usinas de energia, sistemas de aquecimento residencial e como combustível veicular.

Solar: Barbosa (2016) afirma que a energia solar é uma das fontes mais promissoras de energia, obtida a partir da luz do sol. A captura da radiação solar pode ser feita por meio de painéis fotovoltaicos, que convertem diretamente a luz em eletricidade, ou por usinas heliotérmicas, que utilizam espelhos para concentrar o calor solar e gerar vapor para movimentar turbinas elétricas.

Eólica: De acordo com Barbosa (2016) a energia eólica é gerada a partir da força do vento, que é capturada por turbinas eólicas para gerar eletricidade. Essa fonte de energia é conhecida por sua baixa emissão de gases poluentes na atmosfera, pois não envolve processos de combustão. Ela é uma alternativa limpa e renovável para a geração de eletricidade.

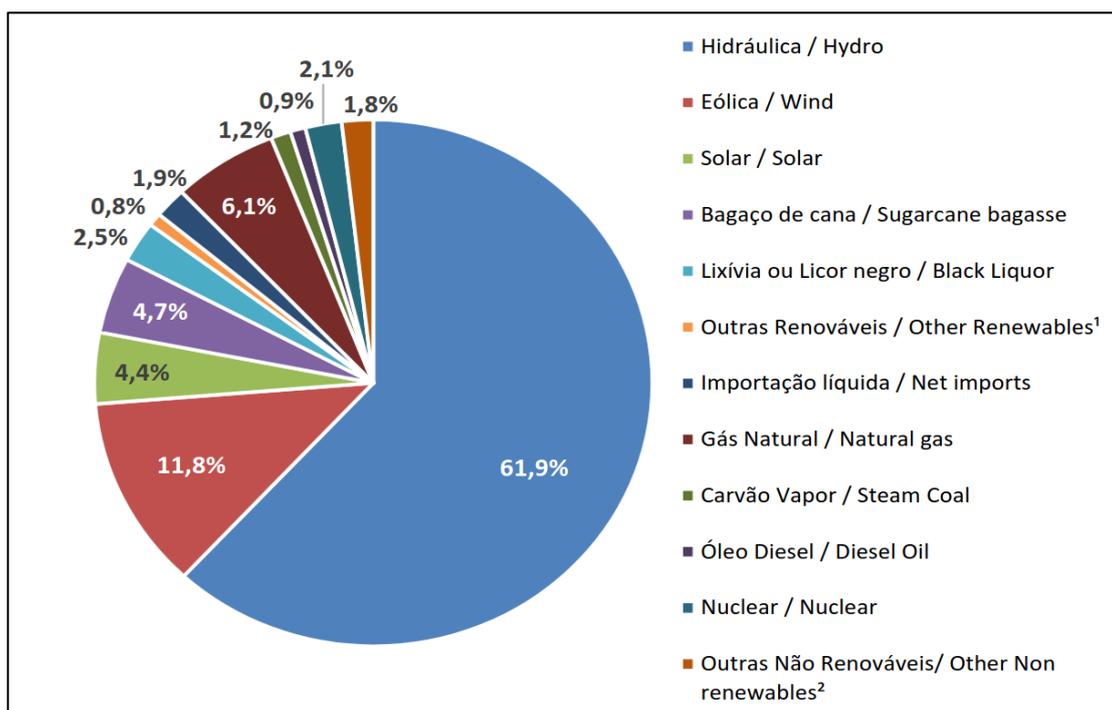
Nuclear: A energia nuclear é produzida a partir da fissão de átomos de urânio em reatores nucleares. Esse processo gera calor, que é usado para gerar vapor e, por sua vez, movimentar turbinas para produzir eletricidade. Apesar de ser uma fonte de energia de baixa emissão de carbono, a energia nuclear enfrenta questões relacionadas à segurança e ao gerenciamento dos resíduos radioativos. (Barbosa. 2016).

Derivados de Petróleo: Segundo Barbosa (2016) os derivados de petróleo, como óleo diesel e *fuel oil*, são frequentemente utilizados como fonte de energia em usinas termelétricas. A queima desses combustíveis gera calor, que é convertido em eletricidade por meio da movimentação de turbinas. No entanto, seu uso é associado a altas emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos.

Carvão e Derivados: O carvão mineral e seus derivados, como coque e lignito, são amplamente utilizados na geração de energia elétrica em usinas termelétricas. A queima do carvão gera calor, que é convertido em eletricidade. No entanto, o uso do carvão é uma das fontes de energia mais poluentes, contribuindo significativamente para a emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos. (Barbosa. 2016).

A Figura 1 representa os dados do perfil da matriz energética do Brasil. Observa-se que a fonte de energia hidráulica é responsável por mais da metade da oferta de energia no Brasil, destacando-se como uma fonte de energia renovável de geração distribuída (EPE, 2023).

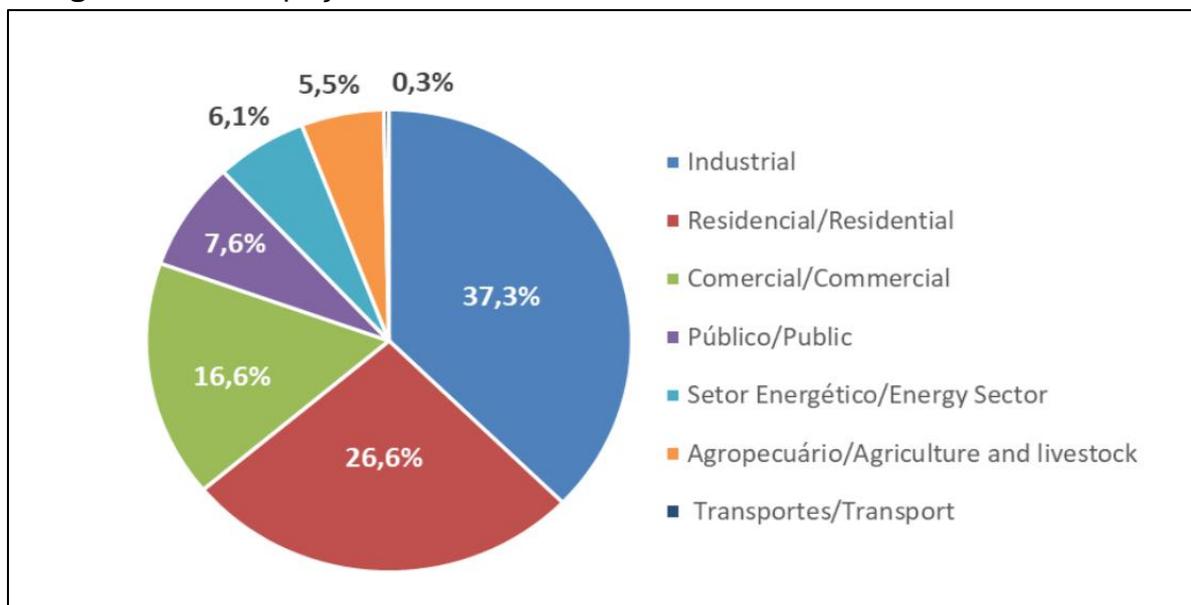
Figura 1 - Distribuição da Matriz Energética Brasileira.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023).

A Figura 2 mostra a participação do consumo de energia elétrica distribuída por cada setor na matriz energética brasileira, observa-se que o setor industrial é o que tem o maior consumo de energia, mas pode-se destacar que parte deste consumo é gerado pela própria indústria (EPE, 2023).

Figura 2 - Participação setorial de consumo de eletricidade brasileira em 2022.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023).

A Figura 3 apresenta o aumento da distribuição da micro e minigeração distribuída de energia elétrica devido ao incentivo de regulamentações, tendo como exemplo a compensação de energia excedente produzida por sistemas de menor porte:

Figura 3 - O uso da energia elétrica (2022).

IDENTIFICAÇÃO	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	UNIDADE (Unit)	IDENTIFICATION
CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS	-8	-20	-29	-51	-90	-123	-163		INPUT
NÃO RENOVÁVEIS	-	-2	-3	-3	-4	-5	-2		NON-RENEWABLES
GÁS NATURAL	-	-2	-3	-3	-4	-5	-2		NATURAL GAS
CARVÃO VAPOR	-	-	-	-	-	-	-		STEAM COAL
ÓLEO DIESEL	-	-	-	-	-	-	-		DIESEL OIL
ÓLEO COMBUSTÍVEL	-	-	-	-	-	-	-		FUEL OIL
GÁS DE COQUERIA	-	-	-	-	-	-	-		COKE OVEN GAS
OUTRAS SECUNDÁRIAS	-	-	-	-	-	-	-	10 ³ tep (toe)	OTHER SECONDARIES
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	-	-	-	-	-	-	-		OTHER NON-RENEWABLES
RENOVÁVEIS	-8	-18	-26	-48	-86	-118	-160		RENEWABLES
LENHA	-	-	-3,31	-4,98	-5,93	-5,92	-6,64		FIREWOOD
BAGAÇO DE CANA	-	-	-0,04	-0,13	-1,81	-3,21	-3,39		SUGAR CANE BAGASSE
LIXÍVIA	-	-	-	-	-	-0,08	-		BLACK LIQUOR
OUTRAS RENOVÁVEIS	-7,67	-18,23	-22,20	-42,71	-78,04	-108,63	-150,15		OTHER RENEWABLES
GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	8,95	30,89	71,23	191,41	453,11	843,63	1.584,37		ELECTRICITY GENERATION
GERAÇÃO HIDRÁULICA	1,27	7,25	13,60	26,67	5,72	17,79	24,39		HYDRO
GERAÇÃO EÓLICA	0,02	1,56	1,22	2,44	3,19	3,54	3,92	10 ³ tep (toe)	WIND
GERAÇÃO SOLAR	4,61	14,26	45,24	142,66	409,71	775,61	1.494,48		SOLAR
GERAÇÃO TÉRMICA	3,05	7,82	11,18	19,64	34,49	46,69	61,58		THERMAL PLANTS
PERDAS NA GERAÇÃO TÉRMICA	-4,62	-12,25	-17,37	-31,45	-55,70	-75,83	-101,06	10 ³ tep (toe)	THERMAL PLANTS LOSSES
RENDIMENTO MÉDIO-TÉRMICAS	39,78	38,96	39,17	38,45	38,24	38,11	37,86	%	THERMAL PLANTS EFFICIENCY
GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	104	359	828	2.226	5.269	9.810	18.423		ELECTRICITY GENERATION
NÃO RENOVÁVEIS	-	9	15	16	22	23	12		NON-RENEWABLES
GÁS NATURAL	-	9	15	16	22	23	12		NATURAL GAS
CARVÃO VAPOR	-	-	-	-	-	-	-		STEAM COAL
ÓLEO DIESEL	-	-	-	-	-	-	-		DIESEL OIL
ÓLEO COMBUSTÍVEL	-	-	-	-	-	-	-		FUEL OIL
GÁS DE COQUERIA	-	-	-	-	-	-	-		COKE OVEN GAS
OUTRAS SECUNDÁRIAS	-	-	-	-	-	-	-		OTHER SECONDARIES
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	-	-	-	-	-	-	-	GWh	OTHER NON-RENEWABLES

RENOVÁVEIS	104	350	814	2.210	5.247	9.787	18.411	<i>RENEWABLES</i>
LENHA	-	-	18	27	32	32	34	<i>FIREWOOD</i>
BAGAÇO DE CANA	-	-	0	1	11	19	20	<i>SUGAR CANE BAGASSE</i>
LIXÍVIA	-	-	-	-	0	0	-	<i>BLACK LIQUOR</i>
OUTRAS RENOVÁVEIS	35	82	97	185	337	469	650	<i>OTHER RENEWABLES</i>
EÓLICA	0	18	14	28	37	41	46	<i>WIND</i>
SOLAR	54	166	526	1.659	4.764	9.019	17.378	<i>SOLAR</i>
HIDRÁULICA	15	84	158	310	67	207	284	<i>HYDRAULIC</i>

Fonte: EPE (2023).

A Figura 4 por sua vez, apresenta os dados da geração distribuída com sua capacidade instalada no Brasil disponibilizado por região e destacando o estado das mesmas. Vale ressaltar que a geração distribuída fotovoltaica tendo a maior representatividade em instalações e geração de energia distribuída (EPE, 2023):

Figura 4 - Geração distribuída do Brasil por região.

ESTADO	Capacidade Instalada Installed Capacity	Serviço Público Public Utility	APE Self-Producers	STATE
BRASIL	17.325		17.325	<i>BRAZIL</i>
NORTE	1.063		1.063	<i>NORTH</i>
Rondônia	194		194	<i>Rondônia</i>
Acre	44		44	<i>Acre</i>
Amazonas	95		95	<i>Amazonas</i>
Roraima	22		22	<i>Roraima</i>
Pará	466		466	<i>Pará</i>
Amapá	22		22	<i>Amapá</i>
Tocantins	220		220	<i>Tocantins</i>
NORDESTE	3.410		3.410	<i>NORTHEAST</i>
Maranhão	385		385	<i>Maranhão</i>
Piauí	305		305	<i>Piauí</i>
Ceará	560		560	<i>Ceará</i>
Rio G. do Norte	367		367	<i>Rio G. do Norte</i>
Paraíba	259		259	<i>Paraíba</i>
Pernambuco	534		534	<i>Pernambuco</i>
Alagoas	166		166	<i>Alagoas</i>
Sergipe	105		105	<i>Sergipe</i>
Bahia	730		730	<i>Bahia</i>
SUDESTE	5.837		5.837	<i>SOUTHEAST</i>
Minas Gerais	2.438		2.438	<i>Minas Gerais</i>
Espírito Santo	353		353	<i>Espírito Santo</i>
Rio de Janeiro	699		699	<i>Rio de Janeiro</i>

São Paulo	2.348	2.348	<i>São Paulo</i>
SUL	4.450	4.450	<i>SOUTH</i>
Paraná	1.698	1.698	<i>Paraná</i>
Santa Catarina	852	852	<i>Santa Catarina</i>
Rio G. do Sul	1.900	1.900	<i>Rio G. do Sul</i>
CENTRO OESTE	2.564	2.564	<i>CENTER-WEST</i>
Mato G. do Sul	588	588	<i>Mato G. do Sul</i>
Mato Grosso	1.025	1.025	<i>Mato Grosso</i>
Goiás	724	724	<i>Goiás</i>
Distrito Federal	228	228	<i>Distrito Federal</i>

Fonte: EPE (2023).

2.2 Energia solar e seus benefícios

O Brasil se destaca como um dos países com maior potencial para o desenvolvimento da energia solar no mundo. Localizado próximo à linha do equador e banhado por sol abundante, o país apresenta condições climáticas ideais para a geração de energia limpa e renovável a partir da radiação solar. Essa combinação de fatores favoráveis, aliada à crescente demanda por energia e à necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, torna a energia solar uma aposta estratégica para o futuro energético do Brasil (EPE, 2024).

A posição geográfica do Brasil, próximo à linha do equador, garante que o país receba uma quantidade significativa de radiação solar durante todo o ano (EPE, 2024). Essa alta incidência de luz torna a geração de energia solar altamente eficiente, permitindo que os sistemas fotovoltaicos produzam mais energia por metro quadrado em comparação com outras regiões do planeta (ABSOLAR, 2024). Além disso, as frequentes ondas de calor que assolam o país contribuem para o aumento da demanda por energia elétrica, especialmente durante o verão, período em que a geração solar se encontra no auge (EPE, 2024).

A adoção da energia solar no Brasil traz consigo uma gama de benefícios que a tornam uma escolha inteligente e sustentável. Primeiramente, a sustentabilidade ambiental é um dos principais pontos positivos, pois a energia solar é uma fonte de energia limpa e renovável que não emite gases de efeito estufa nem poluentes atmosféricos, contribuindo para a redução da poluição do ar e para o combate às mudanças climáticas (WWF, 2024). Essa característica se contrapõe às fontes de energia não renováveis, como combustíveis fósseis, que causam severos impactos ambientais (INPE, 2022). Além disso, a energia solar pode reduzir significativamente a dependência do Brasil de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, que são recursos finitos e causam impactos ambientais negativos (MME, 2024). Essa mudança contribui para a diversificação da matriz energética do país e para a segurança energética nacional (EPE, 2024).

Outro benefício importante é o potencial da energia solar para impulsionar a economia brasileira, gerando novos empregos na área de fabricação, instalação, operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos. Além disso, a indústria solar atrai investimentos e promove a inovação tecnológica, contribuindo para o

desenvolvimento do país. A geração de energia solar própria pode levar a uma economia significativa na conta de luz, especialmente para consumidores residenciais e comerciais. Essa vantagem financeira torna a energia solar uma opção cada vez mais atrativa para a população (ABSOLAR, 2024).

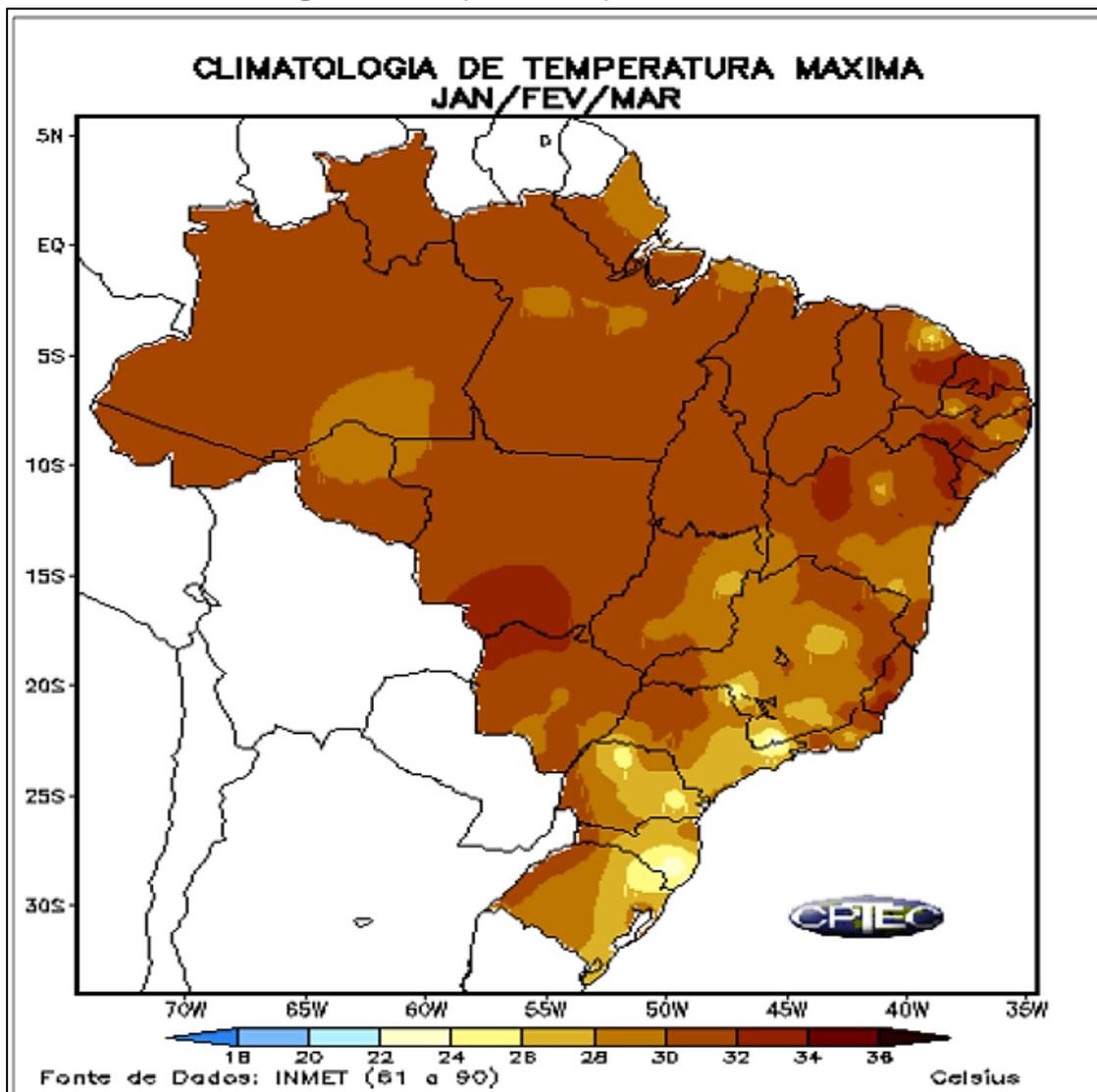
A energia solar permite a descentralização da geração de energia, possibilitando que indivíduos, comunidades e empresas produzam sua própria eletricidade. Essa característica contribui para a democratização do acesso à energia e para a autonomia energética do país (ABSOLAR, 2024).

Apesar do enorme potencial da energia solar no Brasil, alguns desafios ainda precisam ser superados para que essa fonte de energia se torne ainda mais acessível e competitiva no país (EPE, 2024). Entre os principais desafios estão o custo inicial de instalação, que ainda pode ser considerado alto para alguns consumidores, limitando a adoção dessa tecnologia (ABSOLAR, 2024). A energia solar é uma fonte intermitente, ou seja, sua geração depende da disponibilidade de luz solar. Isso torna necessário o desenvolvimento de soluções eficientes para o armazenamento de energia solar, permitindo que a energia gerada durante o dia seja utilizada à noite ou em períodos de baixa geração. Além disso, a expansão e o aprimoramento da infraestrutura de transmissão e distribuição de energia são essenciais para garantir a integração eficiente da energia solar à rede elétrica nacional (EPE, 2024).

Percebe-se que o Brasil possui um enorme potencial para o desenvolvimento da energia solar, que pode trazer diversos benefícios econômicos, ambientais e sociais. No entanto, para que esse potencial seja plenamente aproveitado, é necessário enfrentar os desafios relacionados aos custos de instalação, armazenamento de energia e infraestrutura de transmissão. Com investimentos contínuos e políticas públicas de incentivo, a energia solar tem o potencial de se tornar uma das principais fontes de energia do país, contribuindo para um futuro mais sustentável e próspero para todos.

A Figura 5 refere-se a temperatura máxima entre os meses, janeiro, fevereiro e março de 2024, destaca-se que quanto maior a temperatura maior o nível de irradiação solar, sendo assim observa-se a vantagem da instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Figura 5 - Mapa de temperatura máxima.



Fonte: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), 2024.

2.3 Geração distribuída (GD) e possibilidade de geração de créditos com energia solar fotovoltaica.

Segundo a *International Renewable Energy Agency* (2016), a geração distribuída (GD) é um conceito que surgiu globalmente como uma alternativa ao modelo tradicional de geração centralizada de eletricidade. No passado, a maioria das instalações de geração de energia elétrica era baseada em grandes usinas localizadas longe dos centros de consumo. Com o avanço da tecnologia e o aumento da conscientização sobre sustentabilidade, a GD começou a ganhar destaque como uma maneira de democratizar a produção de energia e reduzir as perdas na transmissão.

Conceitualmente, a geração distribuída refere-se à produção de eletricidade em pequena escala, próxima aos pontos de consumo, utilizando uma variedade de fontes de energia, como solar, eólica, biomassa, entre outras (REN 482/12, ANEEL).

De acordo com Oliveira (2016), no Brasil, a GD se consolidou como uma importante estratégia para diversificar a matriz energética e promover a segurança e a resiliência do sistema elétrico.

No contexto da energia solar fotovoltaica, a geração distribuída ganhou destaque devido ao seu potencial para instalação em telhados de residências, empresas e edifícios comerciais (Fonte: REN 482/12, ANEEL).

No Brasil, o marco regulatório para a GD começou a ser estabelecido com a Resolução Normativa (REN) 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabeleceu as regras para o sistema de compensação de energia elétrica, permitindo assim que o consumidor gerasse créditos de energia ao produzir mais do que consome e os utilizasse para abater sua conta de luz (REN 482/12, ANEEL).

Posteriormente, a REN 687/2015 ampliou o escopo da geração distribuída ao estabelecer os procedimentos para conexão de micro e minigeradores de energia elétrica ao sistema de distribuição (REN 687/15, ANEEL).

Além disso, a Lei n. 14.300/2022 trouxe novas diretrizes para o setor elétrico, incentivando ainda mais o desenvolvimento da GD e promovendo a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável (Lei n. 14.300/2022).

Recentemente, a REN ANEEL n. 1.059/2023 consolidou e atualizou as regras para a GD no Brasil, estabelecendo procedimentos simplificados para conexão de sistemas de geração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica (REN ANEEL n. 1.059/2023).

Assim, é inegável que a energia solar fotovoltaica foi impulsionada e incentivada no Brasil graças ao arcabouço legal e regulatório estabelecido pelas diversas normativas, especialmente pela REN 482/12, que representou um marco inicial no desenvolvimento desse segmento e na democratização da produção de energia elétrica no país (REN 482/12, ANEEL).

2.4 Sistema *on grid* e *off grid* fotovoltaico.

Um sistema *on-grid* fotovoltaico, também conhecido como *grid-tied* ou conectado à rede, é projetado para funcionar em conjunto com a rede elétrica convencional. Nesse tipo de sistema, os painéis solares geram eletricidade durante o dia e, se houver produção excedente, essa energia é injetada na rede elétrica. Em contrapartida, quando a demanda por eletricidade excede a produção dos painéis solares, a energia é consumida da rede elétrica. Esse sistema permite que o consumidor reduza a conta de luz por meio do mecanismo de compensação de energia elétrica, onde os créditos são gerados quando há excesso de produção e utilizados quando a produção é insuficiente (ANEEL, 2012).

Por outro lado, os sistemas *off-grid* são independentes da rede elétrica. Eles utilizam baterias para armazenar a energia gerada pelos painéis solares, garantindo

fornecimento contínuo mesmo durante a noite ou em períodos de baixa insolação. Esse tipo de sistema é ideal para áreas remotas ou locais onde a conexão à rede elétrica é inviável ou inexistente. Os componentes principais incluem painéis solares, inversores off-grid, controladores de carga e bancos de baterias.

A principal diferença entre os sistemas *on-grid* e *off-grid* reside na conexão com a rede elétrica. Enquanto os sistemas *on-grid* são conectados à rede, permitindo a troca de energia e a compensação de créditos, os sistemas *off-grid* operam de forma autônoma, sem qualquer ligação com a rede elétrica. Esta característica faz com que os sistemas *off-grid* sejam mais complexos e, geralmente, mais caros, devido ao custo adicional das baterias e dos controladores de carga (ANEEL, 2012).

No Brasil, a legislação para sistemas fotovoltaicos *off-grid* ainda está em desenvolvimento, com o foco principal nas normativas relacionadas aos sistemas *on-grid*. A Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL estabelece os requisitos técnicos e comerciais para a micro e minigeração distribuída, mas não aborda especificamente os sistemas *off-grid*. No entanto, outras legislações, como a Lei nº 12.187/2009, que institui a Política Nacional de Mudança do Clima, e a Resolução Normativa nº 482/2012, que trata da comercialização de energia excedente, também são relevantes para o setor de energia solar (ANEEL, 2012).

A geração distribuída, conceito que se refere à produção de energia elétrica por unidades consumidoras em pequena escala, é predominantemente associada aos sistemas *on-grid*, que injetam o excedente de energia na rede elétrica. Os sistemas *off-grid*, por outro lado, não são considerados geração distribuída, pois não estão conectados à rede e não geram créditos de energia (Almeida, 2012).

Além disso, existe a possibilidade de implementar sistemas híbridos, que combinam elementos dos sistemas *on-grid* e *off-grid*, aproveitando o melhor de ambos os mundos. Esses sistemas podem oferecer maior flexibilidade e segurança energética, sendo uma solução viável em determinadas situações (EPE, 2023).

Abaixo (Quadro 1) tem-se os equipamentos descritos utilizados em sistemas *on grid* e *off grid*, destaca-se os mesmos para os sistemas híbridos:

Quadro 1 - Equipamentos utilizados em sistemas híbridos.

Componentes	Descrição
Painéis Solares	Converte luz solar em eletricidade, esses módulos fotovoltaicos são a principal fonte de geração de energia do sistema.
Inversor híbrido	Dispositivo que converte a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA) e gerencia a carga e descarga das baterias.

String box	Caixa de proteção que contém fusíveis, disjuntores e dispositivos de proteção contra surtos para proteger os circuitos de corrente contínua (CC).
Estruturas de montagem	Estruturas metálicas que fixam os painéis solares no telhado ou no solo, garantindo a inclinação e orientação adequadas para maximizar a captação solar.
Cabo CC	Cabos que transportam a corrente contínua gerada pelos painéis solares até o inversor.
Cabo CA	Cabos que transportam a corrente alternada do inversor até o quadro de distribuição elétrica da residência ou empresa.
Conectores MC4	Conectores padrão utilizados para garantir conexões seguras e duráveis entre os painéis solares e os cabos de corrente contínua.
Dispositivos de proteção	Incluem fusíveis, disjuntores e protetores contra surtos que protegem o sistema contra sobrecargas e falhas elétricas.
Medidor bidirecional	Dispositivo que mede a quantidade de energia que é exportada para a rede elétrica e a quantidade de energia importada da rede, necessário para a compensação de energia.
Controlador de carga	Regula a carga e descarga das baterias, protegendo-as contra sobrecarga e descarga profunda.
Banco de baterias	Armazena a energia gerada pelos painéis solares para uso posterior, garantindo fornecimento contínuo de energia.
Medidor de energia	Opcional, pode ser utilizado para monitorar o consumo de energia e a produção dos painéis solares.

Fonte: Autor (2024).

2.5 Equipamentos típicos dos sistemas *on-grid* e *off-grid* fotovoltaicos e custos envolvidos na implantação.

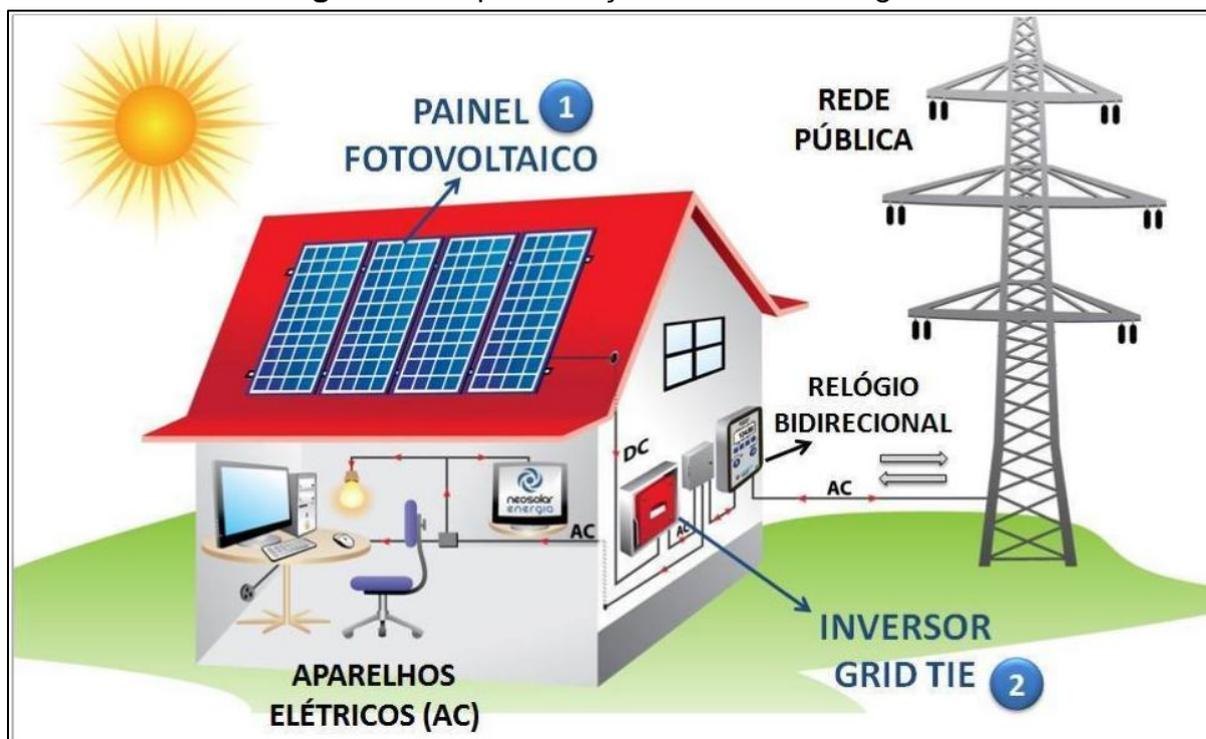
Sistema *On-grid*

De acordo com NeoSolar Energia (2023), um sistema *on-grid*, conectado à rede elétrica, permite a troca de energia com a concessionária, oferecendo a possibilidade de compensação de créditos de energia. Os principais componentes são:

- Painéis Solares Fotovoltaicos;
- Inversor *On-Grid*;
- String Box;
- Estruturas de Montagem;
- Cabo CC (Corrente Contínua);
- Cabo CA (Corrente Alternada);
- Conectores MC4;
- Dispositivos de Proteção (DPS e Disjuntores);
- Medidor Bidirecional.

A Figura 6 representa um sistema fotovoltaico típico *on-grid*, conectado à rede convencional de energia elétrica.

Figura 6 - Representação do sistema *on-grid*.



Fonte: NeoSolar Energia (2023).

Sistemas *Off-grid*

De acordo com NeoSolar Energia (2023), um sistema *off-grid*, independente da rede elétrica, armazena energia em baterias para garantir o fornecimento contínuo, mesmo sem luz solar direta. Os principais componentes são:

- Painéis Solares Fotovoltaicos;
- Inversor *Off-Grid*;
- String Box;
- Estruturas de Montagem;
- Cabo CC (Corrente Contínua);
- Conectores MC4;
- Dispositivos de Proteção (DPS e Disjuntores);
- Controlador de Carga;
- Banco de Baterias;
- Medidor de Energia (Opcional).

A Figura 7, por sua vez, representa um sistema fotovoltaico típico *off-grid*, que não é conectado à rede convencional de energia elétrica, tendo, portanto, um sistema próprio de armazenamento de energia, através de um banco de baterias.

Figura 7 - Representação do sistema *off-grid*.



Fonte: NeoSolar Energia (2023).

O Quadro 2 abaixo mostra uma comparação entre os equipamentos para a instalação e utilização dos sistemas apresentados, *on-grid* e *off-grid*.

Quadro 2 - Componentes dos sistemas *on-grid* e *off-grid*.

Componentes	ON-GRID	OFF-GRID
Painéis solares	Sim	Sim
Inversor	On-grid	Off-grid
String box	Sim	Sim
Cabo CC	Sim	Sim
Cabo CA	Sim	Não
Conectores MC4	Sim	Sim
Dispositivos de proteção	Sim	Sim
Medidor bidirecional	Sim	Não
Controlador de carga	Sim	Sim
Banco de baterias	Não	Sim
Medidor de energia	Opcional	Opcional
Estrutura de montagem	Sim	Sim

Fonte: Autor (2024).

Baseando-se nos dados fornecidos acima sobre os componentes de cada sistema, pode-se alcançar um custo médio para cada um dos sistemas, sendo *on-grid* ou *off-grid*, podendo haver diferenças no valor, por conta de região e dimensionamento do projeto realizado.

Para um sistema *on-grid* tem-se os seguintes materiais com seus respectivos custos médios:

Quadro 3 - Custo de implantação sistema *on-grid*.

Componentes	Valor R\$
Painéis solares fotovoltaicos 340W (Custo unitário)	R\$ 777,69
Inversor on-grid 3000W	R\$ 1690
String box 1040v	R\$ 462,59
Estruturas de montagem	R\$ 1890,40

Cabo CC	R\$ 7,54 (o metro)
Cabo CA	R\$ 4,74 (o metro)
Conectores MC4	R\$ 13,00
Dispositivos de proteção	R\$ 141,75
Medidor bidirecional	R\$ 232,56
Medidor de energia	R\$ 127,71
Total R\$	R\$ 5347,98

Fonte: Autor (2024)

Para um sistema off-grid tem-se os seguintes materiais com seus respectivos custos médios:

Quadro 4 - custo para a implementação para o sistema *off-grid*.

Componentes	Valor R\$
Painéis solares fotovoltaico 340W	R\$ 777,69
Inversor off-grid	R\$ 2832
String box 1040v	R\$ 462,59
Estrutura de montagem	R\$ 1890,40
Cabo CC	R\$ 7,54 (o metro)
Conectores MC4	R\$ 13,00
Dispositivos de proteção	R\$ 141,75
Controlador de carga	R\$ 730,47
Banco de baterias 24v	R\$ 3594,67
Medidor de energia	R\$ 127,71
Total R\$	R\$ 10577,82

Fonte: Autor (2024)

Destaca-se que os quadros dos custos de implementação dos sistemas foram elaborados utilizando como fonte de pesquisa, vendedores típicos do Mercado Livre, desconsiderando-se a mão de obra de instalação.

3. METODOLOGIA

De acordo com a metodologia de pesquisa descrita por Lakatos e Marconi (2019), a pesquisa se caracteriza como bibliográfica, baseando-se na análise de materiais já publicados, como livros, artigos científicos, ensaios críticos, leis e normas brasileiras. O objetivo é aprofundar o conhecimento sobre um tema específico, no caso, a Diferença entre sistemas de geração de energia fotovoltaica on-grid e off-grid no Brasil. A pesquisa bibliográfica utiliza fontes secundárias para sistematizar e analisar informações existentes, explorando e compreendendo temas novos ou pouco conhecidos, além de ampliar o conhecimento sobre temas já pesquisados. Ela sintetiza informações de diversas fontes, identificando convergências e divergências e fornecendo um embasamento teórico sólido para pesquisas futuras.

A metodologia envolve o levantamento bibliográfico, a análise crítica das fontes e a síntese e organização das informações. Os resultados incluem a apresentação de um panorama geral do tema, a identificação de lacunas de conhecimento e a formulação de hipóteses para futuras pesquisas. No caso da pesquisa sobre a diferença entre sistemas de geração de energia fotovoltaica on-grid e off-grid no Brasil, a metodologia bibliográfica é adequada para conhecer diferentes perspectivas, analisar impactos na matriz energética brasileira e identificar desafios e oportunidades.

Os métodos histórico e comparativo podem ser utilizados dentro da pesquisa bibliográfica para enriquecer a análise. O método histórico analisa a evolução da matriz energética no Brasil, enquanto o método comparativo compara diferentes sistemas de distribuição de energia no Brasil, identificando semelhanças e diferenças.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da matriz elétrica brasileira revela uma predominância significativa de fontes de energia renovável, com destaque para as hidrelétricas, que representam mais da metade da geração total de eletricidade no país (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2023). Este perfil de geração é altamente favorável do ponto de vista ambiental, pois as fontes de energia não renováveis são as principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo significativamente para as mudanças climáticas (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2022). Ainda, as hidrelétricas desempenham papel crucial na matriz elétrica brasileira, fornecendo uma fonte confiável e abundante de eletricidade conforme apontado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2023.

Vale ressaltar que o Brasil também integra outras fontes de energia renovável em sua matriz, como biomassa, gás natural, solar e eólica (Associação Brasileira de Energia Eólica - ABEEólica, 2024), sendo tais fontes responsáveis pela vitalização na diversificação da matriz elétrica e na redução da dependência de combustíveis fósseis (Agência Internacional de Energia Renovável - IRENA, 2013). A diversificação da matriz energética é crucial para garantir a resiliência e a sustentabilidade do

fornecimento de energia, mitigando os riscos associados à variabilidade hidrológica que afeta a geração hidrelétrica.

Adicionalmente, a matriz elétrica brasileira inclui fontes não renováveis, como nuclear, derivados de petróleo, carvão e seus derivados (Ministério de Minas e Energia - MME, 2024). Embora estas fontes sejam atualmente necessárias para garantir a segurança energética e a estabilidade do fornecimento, é imperativo continuar investindo em fontes de energia limpa e sustentável, pois a transição para uma matriz energética mais verde é essencial para reduzir as emissões de GEE e promover um desenvolvimento energético mais sustentável e resiliente (Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, 2022).

A transição energética do Brasil está em curso, impulsionada por uma combinação de fatores, incluindo a queda dos custos da tecnologia solar fotovoltaica e a implementação de políticas públicas de incentivo. A energia solar, em particular, apresenta um enorme potencial devido à alta incidência de radiação solar em grande parte do território brasileiro (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2023). A crescente adoção de sistemas solares fotovoltaicos, tanto em escala residencial quanto comercial, tem contribuído para a descentralização da geração de energia, aumentando a autonomia energética e reduzindo a pressão sobre a rede elétrica nacional.

Contudo, a expansão da energia solar enfrenta desafios significativos, incluindo o alto custo inicial de instalação e a necessidade de desenvolver soluções eficientes de armazenamento de energia. O armazenamento é crucial para garantir a disponibilidade de energia solar durante a noite e em períodos de baixa irradiância solar (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2023). Dessa forma, é de suma importância que haja investimentos em pesquisa e desenvolvimento necessários para superar os desafios e aproveitar plenamente o potencial da energia solar no Brasil.

Outro desafio crítico é a integração da energia solar à rede elétrica. A infraestrutura de transmissão e distribuição precisa ser modernizada para acomodar a geração distribuída e garantir a eficiência e a estabilidade do sistema elétrico (Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2023). Nesses casos, a adoção de tecnologias de redes inteligentes (*smart grids*) podem desempenhar um papel importante na otimização da gestão de energia e na melhoria da resiliência da rede.

O Brasil está bem posicionado para liderar a transição energética global, graças à sua abundante disponibilidade de recursos renováveis e ao crescente compromisso com a sustentabilidade. A energia solar fotovoltaica, em particular, oferece uma oportunidade significativa para diversificar a matriz energética, reduzir as emissões de GEE e promover um desenvolvimento sustentável. Ainda, superar os desafios existentes exigirá um esforço contínuo em investimentos, políticas públicas e inovação tecnológica, mas os benefícios potenciais para o meio ambiente, a economia e a sociedade são inúmeros.

Do ponto de vista econômico, a energia solar possui um grande potencial para impulsionar a economia brasileira. A indústria solar não só gera novos empregos nas áreas de fabricação, instalação, operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos, como também atrai investimentos e promove a inovação tecnológica (ABSOLAR,

2024). Esses fatores contribuem para o desenvolvimento econômico do país, criando oportunidades de negócios e fortalecendo a economia local. Além disso, a geração de energia solar própria pode resultar em economias significativas na conta de luz para consumidores residenciais e comerciais, tornando-se uma opção cada vez mais atraente para a população (ABSOLAR, 2024).

A descentralização da geração de energia é outro benefício importante da energia solar, permitindo que indivíduos, comunidades e empresas produzam sua própria eletricidade. Essa característica promove a democratização do acesso à energia e aumenta a autonomia energética do país, fortalecendo a resiliência das comunidades locais (ABSOLAR, 2024). Vale ressaltar que, apesar do enorme potencial, alguns desafios ainda precisam ser enfrentados para que a energia solar se torne mais acessível e competitiva no Brasil (EPE, 2024). O custo inicial de instalação dos sistemas fotovoltaicos ainda é considerado alto para muitos consumidores, o que pode limitar a adoção da tecnologia (ABSOLAR, 2024). Além disso, a intermitência da energia solar, que depende da disponibilidade de luz solar, destaca a necessidade de desenvolver soluções eficientes para o armazenamento de energia, garantindo que a energia gerada durante o dia possa ser utilizada à noite ou em períodos de baixa geração. A expansão e o aprimoramento da infraestrutura de transmissão e distribuição de energia também são essenciais para garantir a integração eficiente da energia solar à rede elétrica nacional (EPE, 2024).

A geração distribuída (GD) surgiu globalmente como uma alternativa ao modelo tradicional de geração centralizada de eletricidade, ganhando destaque como uma maneira de democratizar a produção de energia e reduzir as perdas na transmissão (IRENA, 2016). No Brasil, a GD consolidou-se como uma importante estratégia para diversificar a matriz energética e promover a segurança e a resiliência do sistema elétrico (Oliveira, 2016). A GD, especialmente no contexto da energia solar fotovoltaica, possibilita a instalação de sistemas em telhados de residências, empresas e edifícios comerciais, descentralizando a geração de energia (REN 482/12, ANEEL).

O marco regulatório da GD no Brasil foi estabelecido com a Resolução Normativa (REN) 482/2012 da ANEEL, que criou o sistema de compensação de energia elétrica, permitindo aos consumidores gerar créditos ao produzir mais energia do que consomem (REN 482/12, ANEEL). A REN 687/2015 ampliou esse escopo, estabelecendo procedimentos para a conexão de micro e minigeradores ao sistema de distribuição (REN 687/15, ANEEL). A Lei n. 14.300/2022 trouxe novas diretrizes para o setor elétrico, incentivando o desenvolvimento da GD e promovendo a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável. Mas recentemente, a REN ANEEL n. 1.059/2023 consolidou e atualizou as regras para a GD no Brasil, facilitando a conexão de sistemas de geração distribuída à rede elétrica (REN ANEEL n. 1.059/2023).

É inegável que a energia solar fotovoltaica foi significativamente impulsionada pelo arcabouço legal e regulatório estabelecido no Brasil. A REN 482/12 representou um marco inicial no desenvolvimento desse segmento, promovendo a democratização da produção de energia elétrica e incentivando a adoção de sistemas

fotovoltaicos por consumidores residenciais, comerciais e industriais. Com a continuidade dos investimentos e políticas públicas de incentivo, a energia solar tem o potencial de se tornar uma das principais fontes de energia do país, contribuindo para um futuro energético mais sustentável e resiliente.

No contexto da energia solar fotovoltaica, dois tipos de sistemas se destacam: os sistemas on-grid e off-grid. Os sistemas on-grid são conectados à rede elétrica, permitindo a troca de energia e a compensação de créditos. Eles são projetados para funcionar em conjunto com a rede elétrica convencional, onde a energia gerada durante o dia pode ser injetada na rede elétrica e utilizada quando a produção dos painéis solares é insuficiente (ANEEL, 2012). Esse sistema é especialmente vantajoso para consumidores que buscam reduzir suas contas de luz através do mecanismo de compensação de energia elétrica.

Por outro lado, os sistemas off-grid operam de forma autônoma, sem conexão à rede elétrica. Eles utilizam baterias para armazenar a energia gerada pelos painéis solares, garantindo o fornecimento contínuo mesmo durante a noite ou em períodos de baixa insolação. Esses sistemas são ideais para áreas remotas ou locais onde a conexão à rede elétrica é inviável (ANEEL, 2012).

A legislação brasileira para sistemas fotovoltaicos tem focado principalmente nos sistemas on-grid, com a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL estabelecendo os requisitos técnicos e comerciais para a micro e minigeração distribuída (REN 482/12, ANEEL). Entretanto, sistemas híbridos, que combinam elementos dos sistemas on-grid e off-grid, podem oferecer maior flexibilidade e segurança energética, representando uma solução viável em determinadas situações (EPE, 2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude dos fatos mencionados, o Brasil se destaca globalmente pelo seu imenso potencial para o desenvolvimento da energia solar, beneficiado por condições geográficas e climáticas excepcionais. A abundante radiação solar, disponível ao longo do ano, coloca o país em uma posição privilegiada para expandir sua matriz energética de maneira sustentável, essa transição é fundamental, pois as fontes renováveis, como a energia solar, não apenas contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também promovem uma maior segurança energética e independência de recursos finitos.

Os avanços tecnológicos e a redução dos custos associados à instalação de sistemas fotovoltaicos têm facilitado a adoção da energia solar em diversos segmentos, desde residências até grandes indústrias. O suporte legislativo e regulatório, evidenciado pelas diversas resoluções da ANEEL, tem sido crucial para impulsionar a geração distribuída e incentivar o uso de energia solar no Brasil. Legislação como a REN 482/2012 permitiram a implementação de sistemas on-grid, possibilitando que consumidores gerem e utilizem sua própria eletricidade, e contribuindo para a democratização do acesso à energia.

Apesar dos desafios, como o custo inicial de instalação e a necessidade de soluções eficientes para o armazenamento de energia, o país tem condições favoráveis para superar essas barreiras. Investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento, juntamente com políticas públicas eficazes, são essenciais para ampliar a infraestrutura de transmissão e distribuição de energia solar, bem como para tornar essa tecnologia mais acessível e competitiva.

A energia solar traz múltiplos benefícios econômicos e sociais. Além de reduzir os custos de eletricidade para os consumidores, ela cria empregos, atrai investimentos e promove a inovação tecnológica. A descentralização da geração de energia possibilita que comunidades e empresas se tornem mais autossuficientes, contribuindo para a autonomia energética e a equidade no acesso à energia.

Os sistemas híbridos, que combinam elementos dos sistemas on-grid e off-grid, também se apresentam como soluções viáveis para garantir a flexibilidade e a segurança energética, especialmente em regiões onde a infraestrutura de rede ainda é limitada. Assim, a contínua adaptação e aprimoramento das legislações e regulamentações são necessários para acomodar essas novas tecnologias e práticas.

Em suma, a energia solar é uma peça-chave para o futuro energético do Brasil. Através de uma combinação de investimentos estratégicos, avanços tecnológicos e políticas públicas de incentivo, o Brasil pode aproveitar plenamente seu potencial solar, promovendo um desenvolvimento econômico sustentável, reduzindo sua pegada de carbono e garantindo um futuro mais verde e próspero. Além disso, a diversificação da matriz energética com a incorporação de sistemas *on-grid* e *off-grid* fortalecerá a segurança energética do país, democratizando o acesso à energia e impulsionando a inovação tecnológica.

REFERÊNCIAS

ABUBAKAR, Ahmad. **Sizing of battery energy storage systems in isolated photovoltaic plants using predicted solar radiation data**. 2020. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-19012021-100846/en.php>. Acesso em: 16 abr. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução Normativa n. 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 abr. 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução Normativa n. 1.059, de 7 de fevereiro de 2023**. Aprimora as regras para a conexão e o

faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica; altera as Resoluções Normativas n. 920, de 23 de fevereiro de 2021, 956, de 7 de dezembro de 2021, 1.000, de 7 de dezembro de 2021, 1.009, de 22 de março de 2022, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 fev. 2023. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-28062012-102236/pt-br.php>. Acesso em: 18 abr. 2024.

AMORIM, Luis Felipe Carrari de. **Políticas de incentivo à energia eólica: um estudo de caso sobre os processos de implementação e os motivos para a expansão da fonte eólica no setor elétrico brasileiro no período de 2001 a 2018**. 2021. Tese (Doutorado em Direito Econômico, Financeiro e Tributário) - Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. doi:10.11606/T.2.2021.tde-15082022-114511. Acesso em: 2024-04-18.

ABEEÓLICA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Prática circular: energia solar e eólica entram na rota da reciclagem**. 2024. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/pratica-circular-energia-solar-e-eolica-entram-na-rota-da-reciclagem/>. Acesso em: 20 jul. 2024.

ABSOLAR. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia solar e armazenamento: as últimas pesquisas de mercado mostram um crescimento dinâmico**. 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/https-tvcidade10-com-br-2024-07-11-energia-solar-e-armazenamento-as-ultimas-pesquisas-de-mercado-mostram-um-crescimento-dinamico/>. Acesso em: 24 ago. 2024.

ABSOLAR. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Geração de energia solar cresce 47% no Brasil em junho**. 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/https-www-portalsolar-com-br-noticias-operacao-e-expansao-oem-geracao-de-energia-solar-cresce-47-no-brasil-em-junho/>. Acesso em: 22 set. 2024.

ABSOLAR. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia solar: procura sobe 20% com aumento na bandeira da conta de luz**. 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/https-monitormercantil-com-br-energia-solar-procura-sobe-20-com-aumento-na-bandeira-da-conta-de-luz/>. Acesso em: 22 set. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia solar representa 19,5% da matriz elétrica brasileira**. ABSOLAR, 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/energia-solar-representa-195-da-matriz-eletrica-brasileira/>. Acesso em: 22 set. 2024.

BARBOSA, Solange Maria Kileber. **A competitividade das fontes energéticas em uma abordagem de learning curves**: uma proposição de regulação que incentive as tecnologias renováveis. 2016. Tese (Doutorado em Energia) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-14042016-094140/pt-br.php>. Acesso em: 18 abr. 2024.

BENEDITO, Ricardo da Silva. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. 2009. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12082010-142848/pt-br.php>. Acesso em: 09 maio 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Relatório do IPCC: 2023**. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 02 jul. 2024.

BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis n. 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 abr. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 12 abr. 2024.

CAMPANHOL, Leonardo Bruno Garcia. **Sistema fotovoltaico trifásico de único estágio conectado a sistemas de geração distribuída operando como condicionador de qualidade de energia unificado usando uma estratégia dual de compensação ativa de potência**. 2017. Tese (Doutorado em Sistemas Dinâmicos) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. doi:10.11606/T.18.2017.tde-18122017-093612. Acesso em: 2024-04-16.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Balço Energético Nacional 2024**: ano base 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Plano Nacional de Energia - 2030**. EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: 16 jul. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Balço Energético Nacional 2020**: ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 12 abr. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 03 out. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Energy Statistics 2016**. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2016/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2016>. Acesso em: 21 jul. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Energy Country Profiles for the European Union**: June 2013 edition. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2013/Jun/Renewable-Energy-Country-Profiles-for-the-European-Union-June-2013-edition>. Acesso em: 15 jun. 2024.

LUZ (Brasil). **Gás natural**: o que é e como gera energia limpa. 2023. Disponível em: <https://sualuz.com.br/blog/gas-natural#que>. Acesso em: 22 jul. 2024.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2019. Disponível em: <http://177.20.147.23:8080/handle/123456789/1239>. Acesso em: 12 abr. 2024.

MCTI. **Relatório do IPCC sobre Mudança do Clima**. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf. Acesso em: 22 out. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **MME destaca a Política Nacional de Transição Energética durante a primeira reunião do Plano Clima Participativo**. Governo Federal, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt->

[br/assuntos/noticias/mme-destaca-a-politica-nacional-de-transicao-energetica-durante-primeira-reuniao-do-plano-clima-participativo](https://www.gov.br/assuntos/noticias/mme-destaca-a-politica-nacional-de-transicao-energetica-durante-primeira-reuniao-do-plano-clima-participativo). Acesso em: 02 set. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Geração de energia solar alcança dois novos recordes no mês de junho**. Governo Federal, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/geracao-de-energia-solar-alcanca-dois-novos-recordes-no-mes-de-junho>. Acesso em: 12 ago. 2024.

NEOSOLAR ENERGIA. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 15 out. 2024.

PINTO FILHO, Gilberto Figueiredo. **Degradação induzida pelo potencial em módulos e instalações fotovoltaicas de c-Si**. 2017. Tese (Doutorado em Energia) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-21122017-110248/pt-br.php>. Acesso em: 09 maio 2024.

RAÍZEN (Brasil). **Energia a partir da biomassa: entenda o que é e para que serve!** 2022. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/energia-biomassa#:~:text=%C3%89%20a%20energia%20que%20vem,resultar%20em%20captura%20de%20carbono>. Acesso em: 10 ago. 2024.

RABELO, André Vasconcelos. **Método de controle para inversores de sistemas fotovoltaicos on-grid aplicados em micro e minigeração distribuída**. 2020. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Renewable Energy Journal, v. 148, p. 1182-1193, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10112020-113936/en.php> . Acesso em: 16 abr. 2024.

WWF. (World Wildlife Fund). **Relatório Planeta Vivo 2024**. Disponível em: https://wwflpr.awsassets.panda.org/downloads/relatorio-planeta-vivo-2024_1.pdf. Acesso em: 15 jul. 2024.