



Painéis Solares Fotovoltaicos:

Fundamentos, Eficiência e Manutenção



SOLARSUL
ENERGIA LIMPA

Painéis Solares Fotovoltaicos:

Fundamentos, Eficiência e Manutenção

Solar Sul

Canoas

2021



Painéis Solares Fotovoltaicos: Fundamentos, Eficiência e Manutenção

© 2021 Mérida Publishers

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-3-6>

Apresentado por

Solar Sul

Diretor Executivo Solar Sul

Rafael Maccari

Adaptação da capa e desenho gráfico

Reynaldo Miquel

Foto da capa

Unsplash.com



Canoas - RS - Brasil

contact@meridapublishers.com

www.meridapublishers.com

Todos os direitos autorais pertencem a Mérida Publishers. A reprodução total ou parcial dos trabalhos publicados é permitida, desde que sejam atribuídos créditos aos autores.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

Solar Sul.
S684p Painéis solares fotovoltaicos [livro eletrônico] : fundamentos, eficiência e manutenção / Solar Sul. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-994457-3-6

1. Células fotoelétricas. 2. Energia limpa. 3. Sustentabilidade.
I.Título.

CDD 551.5271

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Apresentação

Instalar painéis fotovoltaicos é um investimento cada vez mais acessível para os brasileiros. O custo de instalação vem reduzindo gradualmente, à medida que cada vez mais pessoas optam por utilizar essa energia limpa e sustentável. Além disso, a capacidade de produção dos painéis fotovoltaicos está cada vez maior, devido aos avanços nessa tecnologia.

A Solar Sul iniciou as suas atividades no ramo de energia solar em 2018, atuando na venda, instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos residenciais, comerciais e industriais. O nosso objetivo é entregar um serviço de qualidade, com agilidade, segurança e economia. E nossa missão consiste em apresentar soluções práticas de energias renováveis com alta qualidade e atendimento de excelência, otimizando a rotina de pessoas físicas e jurídicas.

Este e-book traz uma visão geral de aspectos relacionados com os painéis solares fotovoltaicos, ressaltando fundamentos teóricos da energia solar fotovoltaica, posicionamento físico dos painéis solares a fim de garantir maior eficiência, além de fundamentos práticos como a manutenção, durabilidade, comparação da eficiência entre tipos de painéis. Igualmente, apresentar assuntos atuais e futuros relacionados com materiais, projeções de painéis solares no mercado.

SOLAR SUL

Encantado, RS, Brasil

Índice

Introdução.....	6
1. A energia solar fotovoltaica	7
1.1. Em que consiste.....	7
1.2. Paridade da rede.....	10
1.3. Sustentabilidade, saúde e segurança, tipos, fabricação e reciclagem	12
1.4. Tipos de tecnologia	14
1.5. Amortização de energia e Pegada de carbono	16
1.6. Redução nos custos de energia solar.....	17
1.7. A energia solar fotovoltaica no Brasil.....	18
1.8. Uso de energia solar no mundo e projeções futuras.....	19
2. A Melhor posição para instalação do Painel Solar Fotovoltaico no Brasil	21
3. Manutenção do Painel Solar	23
3.1. Quando é necessário lavar os painéis solares?.....	25
3.2. De que depende a perda de desempenho devido à sujeira dos painéis solares	26
3.3. Limpeza dos painéis solares	27
4. Durabilidade e tempo de vida das placas solares comercializadas	27
5. Painéis monocristalinos versus painéis policristalinos	28
6. Atualidade e futuro.....	28
7. Considerações finais	29
8. Referências.....	30

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o surgimento de novos conceitos, desenvolvimentos, sistemas de geração e a necessidade de aumentar significativamente os componentes de energias renováveis para contrariar a dependência excessiva de combustíveis fósseis e combater as alterações climáticas, estão a serem construídos, principalmente em países desenvolvidos, centrais solares de grande dimensão, onde os modelos de pequena potência passam a ser integrados de forma eficaz, como elemento de eficiência, produção e gestão, e não apenas como simples ligação para o escoamento da energia eléctrica produzida (CÂMARA, 2011).

Um dos novos sistemas de geração de energia que surgiram são os painéis solares fotovoltaicos. Nesse sentido, a tecnologia fotovoltaica é defendida como uma energia limpa, chamada a aproveitar o recurso energético mais abundante do planeta. Essa tecnologia já é considerada madura e isso permite sua implementação em todos os níveis de usuários, devido à redução de custos e a facilidade na busca de créditos para subsidiar a implementação do mesmo com linhas de crédito com baixas taxas de juros. Desta forma, a produção de células solares entrou na manufatura em grande escala industrial (LOSEKANN; HALLACK, 2018).

As células solares fotovoltaicas convertem a luz solar diretamente em eletricidade por meio do chamado efeito fotoelétrico, pelo qual certos materiais são capazes de absorver fótons (partículas de luz) e liberar elétrons, gerando uma corrente eléctrica. Já os coletores solares térmicos utilizam painéis ou espelhos para absorver e concentrar o calor solar transferi-lo para um fluido e conduzi-lo por meio de tubulações para sua utilização em edifícios e instalações ou também para a produção de eletricidade (termoeléctrica solar) a partir de uma fonte de energia económica, limpa e renovável (SILVA; CARMO, 2017).

O Brasil apresenta uma capacidade instalada de 72,3% de energia limpa, principalmente a partir das hidroeléctricas (EPE, 2018). Contudo, devido

principalmente ao aumento das demandas e às limitações de recursos, agravadas pela aceleração da degradação ambiental, os sistemas fotovoltaicos têm experimentado grande crescimento mundial nos últimos anos (TURNERY; FTHENAKIS, 2011).

Esse tipo de energia é cada vez mais utilizado no Brasil. A fonte solar fotovoltaica brasileira totalizou 692 megawatts (MW) médios na primeira quinzena de abril de 2020, apresentando um avanço de 53,3% em relação ao mesmo período de 2019. Os dados foram divulgados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2021).

O aumento no uso da fonte solar é uma garantia que gera confiança no fornecimento de energia elétrica. Sua aplicação traz algumas vantagens como reduzir custos para os consumidores, pode ser repassada para a rede de distribuição gerando créditos de energia elétrica, que são acumulados e utilizados por um prazo de até cinco anos (WEIRICH, 2021). Além de sua natureza renovável e, portanto, limpa para o meio ambiente.

Este e-book traz uma visão geral de aspectos relacionados com os painéis solares fotovoltaicos, ressaltando fundamentos teóricos da energia solar fotovoltaica, posicionamento físico dos painéis solares a fim de garantir maior eficiência, além de fundamentos práticos como a manutenção, durabilidade, comparação da eficiência entre tipos de painéis. Igualmente, apresentar assuntos atuais e futuros relacionados com materiais, projeções de painéis solares no mercado.

1. A energia solar fotovoltaica

1.1. Em que consiste

Uma instalação solar fotovoltaica é, em geral, uma pequena planta de produção de energia elétrica, que injeta a corrente produzida na rede elétrica. Dependendo das características da corrente que flui através dos diferentes componentes, podemos dividir a instalação em duas partes: corrente contínua e corrente alternada (SILVA; CARMO, 2017).

Como síntese do funcionamento, podemos dizer que os módulos fotovoltaicos absorvem a radiação solar e a transformam em corrente elétrica. Esta corrente elétrica gerada é contínua. É necessário um inversor ou conjunto de inversores para transformar a corrente contínua em corrente alternada, quer

para autoconsumo na rede interna do utilizador, quer para descarga na rede da concessionária (GERMANOS *et al.*, 2020).

Quatro componentes são necessários para o funcionamento de uma instalação fotovoltaica:

1. Painel Solar. É a soma dos módulos fotovoltaicos conectados para atingir a potência de pico da instalação determinada.
2. Quadro elétrico e fiação. Entre os módulos, entre o campo do painel e o inversor, e entre o inversor e o ponto de ligação à rede elétrica.
3. Inversor. Define a potência nominal do sistema. Ele transforma a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada para introduzi-la na rede.
4. Monitoramento, medidor de energia. Registra o funcionamento dos principais componentes da instalação solar, permite detectar falhas, analisar desempenho, etc.

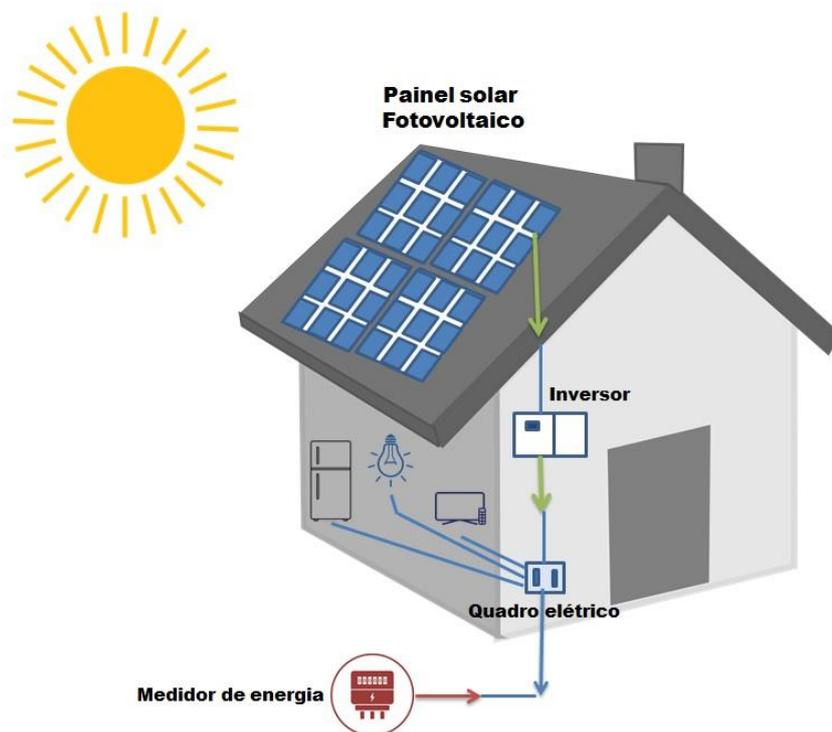


Figura 1. Estrutura esquemática dos componentes na instalação fotovoltaica.

A tecnologia fotovoltaica consiste na utilização da luz solar (radiação eletromagnética) que incide sobre uma célula fotoelétrica ou fotovoltaica que produz energia elétrica (FILHO, 2018).

Segundo Filho (2018), **célula fotovoltaica** é o dispositivo eletrônico capaz de gerar energia elétrica diretamente ao receber a luz solar.

Um conjunto de células fotovoltaicas forma um módulo e vários módulos ligados por cabos formam o campo solar. O campo solar é a soma dos módulos fotovoltaicos conectados para atingir uma potência de pico especificada na instalação. Santos (2018), apresenta principalmente dois tipos de células fotovoltaicas:

1. Cristalinas
 - a. Monocristalinas (1,5 - 2% mais eficiente do que policristalino);
 - b. Policristalino (custo mais baixo do que monocristalino).
2. Camada fina (amorfa e outros materiais, ocupa maior superfície do que as duas anteriores):
 - a. CIGS (cobre, índio, gálio e selênio);
 - b. CIS (cobre, índio, selênio);
 - c. CdTe (telureto de cádmio);
 - d. A-Si •H triplo (ligação tripla de silício amorfo);
 - e. •H tandem (junção dupla de silício amorfo);
 - f. •H *single* (silício amorfo).

O inversor é o coração da instalação solar, deve obter a potência máxima do campo solar. Seu custo representa entre 6 – 9% da instalação e sua eficiência está entre 95-98 %.

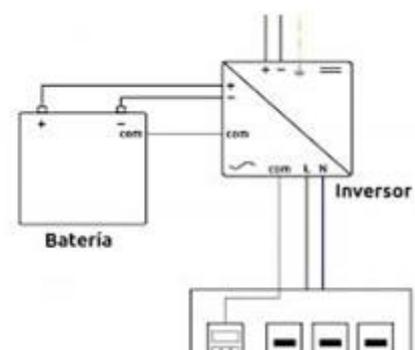


Figura 2. Exemplos de inversores e diagrama de operação.

Outros componentes da instalação solar são:

- Estrutura de suporte do módulo solar;
- Caixas de proteção CC e AC;
- Cabo Solar;
- Hastes de aterramento de instalação;
- Transformador (no caso de conexão MT);
- Contador de energia produzida.

A instalação do campo solar pode ser feita em diferentes locais:

- Telhados planos;
- Telhados inclinados;
- Estacionamento;
- Instalações de integração arquitetônica.

As curvas de geração de energia fotovoltaica e demanda de energia do cliente não precisam ser acopladas, o que faz com que, dependendo do horário, o consumidor tenha geração excedente ou déficit de energia (SENDERSKI, 2018).

A viabilidade econômica deste tipo de projeto depende da obtenção de índices de lucratividade atrativos sobre o investimento efetuado na central solar fotovoltaica, para isso é importante assegurar que a energia gerada pela planta solar fotovoltaica e o autoconsumo instantâneo pelo usuário tem um custo de geração inferior ao custo de aquisição dessa mesma energia da distribuidora. Isso já é um fato, e é o que chamamos de paridade de rede, e dependendo dos hábitos de demanda de energia dos clientes (consumo estável durante os períodos de produção da planta solar fotovoltaica, atividade e consumo de energia todos os dias da semana, etc.) os prazos de amortização do investimento variam entre 3 e 15 anos com índices de lucratividade alcançados superiores a 12% (LACCHINI, 2017).

1.2. Paridade da rede

Conforme indicado anteriormente, a viabilidade econômica deste tipo de projeto passa pela obtenção de rácios de rentabilidade atrativos sobre o

investimento efetuado na central solar fotovoltaica, e isto é obtido, quando alcançamos que a energia gerada pela central solar fotovoltaica e instantaneamente auto consumida pelo usuário tem um custo de geração inferior ao custo de aquisição dessa mesma energia da distribuidora. Se conseguirmos também que o excedente de energia que não é auto consumido seja recompensado ou incentivado, a lucratividade do nosso projeto será ainda maior. O conceito de paridade pode então ser definido como o ponto em que os custos da produção fotovoltaica e convencional se igualam, assim, a paridade da rede é um fato (BENEDITO, 2009).

Para simplificar a análise, foi assumido que 100% da energia elétrica é auto consumida *in situ*, o que é tecnicamente possível se for realizado um bom planejamento entre a demanda de energia do consumidor e a produção fotovoltaica (BRAUN-GRABOLLE, 2010).

A forma de analisar a competitividade de um sistema fotovoltaico em relação à eletricidade convencional da rede é estudando o custo de produção da energia fotovoltaica e, para ser o mais justo possível, o custo da eletricidade gerada ao longo da vida útil da instalação, e que uma vez calculado, o preço futuro da eletricidade convencional no futuro pode diferir da previsão que estabelecemos para nosso estudo, mesmo levando em consideração as revisões do valor da moeda, impostos, etc. (MIQUELIN, 2019).

A competitividade melhorou consideravelmente, principalmente devido à redução drástica de custos, o que por si só torna essa tecnologia muito lucrativa em alguns países, como se verá posteriormente em uma comparação. Esta realidade econômica, quando combinada com o apoio dos governos (por meio de esquemas de balanço líquido ou mecanismos equivalentes), encorajou notavelmente os usuários em muitos países a entrar em um sistema de geração cujo preço por quilowatt produzido e descarregado na rede não é priorizado (MIQUELIN, 2019).

Embora a tendência indique uma estagnação dos preços a nível global, a redução dos custos nos últimos anos desde o início da implementação desta energia foi sempre decrescente graças à curva de experiência inerente ao desenvolvimento de qualquer tecnologia. O preço dos módulos fotovoltaicos tem seguido a tendência mundial de queda (NASCIMENTO, 2019).

Os custos gerais de um projeto fotovoltaico diminuem significativamente à medida que a escala do projeto aumenta. Para grandes parques solares o preço do watt instalado justifica a entrada deste tipo de produtores na venda para o mercado diário e intradiário de eletricidade (NASCIMENTO, 2019).

Por outro lado, Valadares (2019), indica que como se tem verificado em vários países, a crescente penetração destes sistemas de distribuição, não centralizados em grandes centrais geridas pelas principais empresas elétricas, começam a colocar novos desafios na mesa com impacto no tópico de paridade de rede:

- Para cobrir o custo do preço fixo da conta de luz, países como a Bélgica definem um desconto para cada KW solar instalado, como faziam estados como Arizona ou Idaho nos Estados Unidos.
- Para compensar a redução na receita que os governos estão sofrendo por meio de impostos associados à eletricidade que os usuários compram da eletricidade, países como a Espanha consideraram a cobrança de um imposto sobre a geração de eletricidade.

1.3. Sustentabilidade, saúde e segurança, tipos, fabricação e reciclagem

O sol é a fonte de energia mais limpa e abundante do mundo, mas ainda assim nossa eletricidade, transporte e sistemas de distribuição dependem de combustíveis fósseis, não de energia solar (SILVA; CARMO, 2017).

Colocando os recursos de combustíveis fósseis do mundo em perspectiva com o sol, descobrimos que a energia produzida a partir de todo o petróleo bruto atualmente na Terra é equivalente à energia de aproximadamente 15 horas de luz solar atingindo o planeta. Todo o gás natural é cerca de 24 horas de luz solar atingindo a Terra, e todo o carvão atualmente na Terra tem o mesmo potencial de energia na forma de 80 horas de luz solar atingindo a superfície da Terra (SILVA; CARMO, 2017; BURIN, 2017; SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

Historicamente, a indústria solar tem enfrentado o desafio de competir em custo com os combustíveis fósseis e também enfrenta desafios adicionais, pois a fabricação em grande escala de painéis solares atualmente requer vários componentes que são tóxicos para os humanos e o meio ambiente. Nos

últimos anos, alguns fabricantes de grandes marcas não cumpriram os padrões de saúde e segurança e usaram produtos químicos nocivos de maneira incontrolável, aumentando a preocupação da sociedade com a fabricação de painéis solares (VASCONCELOS, 2019).

Ao examinar os desafios que a indústria solar enfrenta, é importante levar em consideração o impacto que diferentes tipos de geração de eletricidade têm sobre os seres humanos e o meio ambiente. Embora existam elementos químicos tóxicos usados na fabricação da maioria dos painéis solares, a geração de eletricidade produzida com o sol é significativamente mais segura para o meio ambiente e os trabalhadores do que a produzida com carvão, gás natural ou fissão nuclear. Por exemplo, uma vez que um painel solar é instalado, ele gera eletricidade com emissões zero, enquanto em 2010, as usinas a carvão nos Estados Unidos emitiram 1.996 milhões de toneladas de dióxido de carbono e houve 13.200 mortes naquele país diretamente atribuíveis a partículas de usinas que queimam carvão como fonte primária (BOZIO, 2018; SANTOS, 2019).

Muitos fabricantes de energia fotovoltaica reduzem o consumo de água e a utilizam em seus processos, e estão participando de programas voluntários internacionais relacionados à segurança ocupacional. Algumas empresas também estão migrando seus processos para utilizar materiais cada vez mais seguros, contando com energias renováveis para abastecer os processos que demandam mais energia, reduzindo desperdícios por meio do desenvolvimento de processos de reciclagem e recuperação de materiais e melhorando o relacionamento com seus trabalhadores e cadeias de abastecimento nas comunidades (PALETTA, 2021).

À medida que a demanda por energia fotovoltaica aumenta, é importante que as empresas continuem a reduzir a espessura dos materiais, reutilizando-os e reciclando-os durante a fabricação. Em combinação, isso pode resultar em uma diminuição na demanda por matérias-primas e uma diminuição na pressão sobre materiais com recursos limitados na natureza. Indo além, gradativamente a seleção de fornecedores levando em consideração critérios de direitos trabalhistas e respeito ao meio ambiente e o monitoramento contínuo desse processo seletivo resultará na melhoria das condições dos trabalhadores, na

proteção do meio ambiente e na minimização dos obstáculos e problemas que surjam na cadeia de suprimentos (PALETTA, 2021).

Para caminhar em direção a uma geração mais limpa, é necessário que políticas governamentais ajudem no desenvolvimento de energias alternativas, novas instalações e interajam com grandes empresas de eletricidade para que assumam um futuro onde uma parte da população gere energia de forma distribuída em todo o território. As políticas devem revisar os incentivos que os combustíveis fósseis têm atualmente e que representam um grande obstáculo aos combustíveis limpos quando se trata de competição de custos (SOUZA, 2021).

1.4. Tipos de tecnologia

Segundo Góes e Tanimoto (2021), existem dois tipos principais de energia fotovoltaica (PV):

1. Silício cristalino e
2. Filme fino (*ThinFilm*).

Dentro do filme fino, existem atualmente cinco tecnologias que alcançaram ou estão perto de atingir a comercialização:

- Telureto de cádmio (CdTe).
- Silício amorfo (a-Si).
- Seleneto de cobre, índio e gálio (CIGS).
- Fotovoltaica orgânica (OPV).
- Células solares sensibilizadas com corante (DSSC).
- Células de arsenieto de gálio (GaAs) atualmente em produção. Elas são muito eficientes, mas custosas para fabricação, e são usadas quase exclusivamente em satélites e sistemas de energia solar concentrada.

As células solares de silício foram as primeiras a serem fabricadas e as células monocristalinas são, até agora, o tipo de PV mais eficiente para transformar luz em energia elétrica. O silício puro requer muita energia para ser fabricado, sua produção é cara e uma camada relativamente espessa é necessária nas células solares para que a luz seja absorvida. Como tal, tem havido muita inovação nas últimas décadas a fim de reduzir a espessura

necessária para a produção de eletricidade e ampliar o espectro de luz que as células solares podem converter em eletricidade (ZANESCO; RAZERA; MOEHLECKE, 2017).

Novas invenções em PV, incluindo novas tecnologias, estudam as várias limitações dos módulos - melhorando materiais, reduzindo custos de produção e criando novas aplicações - e aumentam a eficiência e facilidade de uso da energia solar. Devido ao alto custo de fabricação do silício purificado e à espessura necessária para a geração de energia elétrica, a tecnologia de filmes finos vem ganhando espaço. Os filmes finos são mais econômicos para a fabricação, mas atualmente são menos eficientes do que os módulos de silício cristalino. A eficiência do filme fino está aumentando, mas a faixa de eficiência varia significativamente entre as diferentes subtecnologias (ZANESCO; RAZERA; MOEHLECKE, 2017).

Uma das razões pelas quais existem diferentes tecnologias de filme fino é que cada material absorve diferentes espectros de luz e requer diferentes espessuras de material para fazer isso. Cada cor no espectro de luz possui uma quantidade diferente de energia. O material semicondutor banda proibida corresponde a um espectro específico de luz. Se a combinação estiver correta, a luz libera um elétron do material - se a luz tem menos energia do que a banda proibida, nenhum elétron é liberado para produzir energia elétrica. Se a luz tem mais energia do que a banda proibida, o elétron fica livre, mas a célula também perde o excesso de energia na forma de calor. Portanto, camadas de materiais com diferentes intervalos de banda podem ser combinadas em uma única célula para converter a maior parte da luz em energia elétrica sem perder energia do sol como calor. Quanto mais luz ela converte sem perda de calor, mais eficiente é a célula (BONILLA *et al.*, 2017).

Outras inovações em PV estão sendo impulsionadas pela aplicação de outros materiais solares. Os painéis de células cristalinas são rígidos, como um painel de vidro. A tendência do mercado é criar materiais solares integrados em edifícios de acordo com as curvas e superfícies das unidades arquitetônicas. Também no interesse de captar energia solar e gerar eletricidade em tecidos de mochilas para celulares e laptops, gerar eletricidade para tropas do exército. No entanto, o mercado atual de PV ainda é dominado por módulos rígidos (ZANESCO; MOEHLECKE, 2012).

1.5. Amortização de energia e Pegada de carbono

O impacto ecológico em relação à pegada de carbono é um aspecto importante a considerar nos fabricantes de PV. Nos últimos anos, a otimização do processo de produção levou a uma redução do consumo de energia e hidráulica em mais de 60% (MORINI, 2019).

Em quanto à redução de consumo de água Kazem (2019) toma as seguintes medidas:

- Construção de uma estação de tratamento de águas residuais para tratar e reciclar a água da instalação;
- Medição cuidadosa do uso de água;
- Maximizando o uso de água reciclada e água usada.

Para reduzir o uso de energia elétrica usada na fabricação de painéis solares, eles tomam as seguintes medidas:

- Recuperação e reaproveitamento do calor residual de nossa planta de silício com água de resfriamento;
- Uso seletivo de unidades de refrigeração e bombas de calor refrigeradas a ar;
- Captação e reaproveitamento de água concentrada por osmose reversa;
- Redução do tempo de regeneração do sistema de ar seco comprimido.

O período de retorno energético de uma usina fotovoltaica é notavelmente reduzido se o compararmos com sua vida útil, o que significa que o saldo líquido de emissões de CO₂ evitadas com esta tecnologia é muito respeitoso com o meio ambiente (KAZEM, 2019).

Ao comparar a pegada da geração fotovoltaica com outras fontes de energia tradicionais, assumindo uma energia anual gerada de 141,67 Kwh, podemos ver as vantagens que apresenta a Tabela 1. Em um ano, as emissões de CO₂ evitadas com uma usina de geração fotovoltaica são iguais ao CO₂ emitido por uma usina a carvão, o que nos mostra a magnitude do impacto ecológico que cada tecnologia tem (PINHEIRO; MENEZES; CARVALHO, 2017).

Tabela 1. Pegada de carbono das fontes de geração.

Combustível	Produção anual	kWh Tn de CO₂
Fotovoltaico	141,67	-54,5
Gás natural	141,67	28,6
Diesel	141,67	37,2
Combustível	141,67	38,8
GLP genérico	141,67	33,2
Carvão nacional	141,67	57,1
Carvão importado	141,67	50,5

Fonte: adaptado de (DELGADO e CARVALHO, 2016; GUIMARÃES, 2017; PINHEIRO; MENEZES; CARVALHO, 2017).

1.6. Redução nos custos de energia solar

Na última década, o avanço das energias renováveis deve-se a uma acentuada redução nos custos envolvidos. Os custos de geração para a energia solar são significativamente menores do que para as novas usinas nucleares e a carvão, ficando geralmente também abaixo do gás, e na mesma faixa da energia eólica, onde, a depender da região, a energia solar apresenta custos de geração ainda menores (LAZARD, 2018).

O custo da geração de energia elétrica pela fonte solar vem reduzindo drasticamente ao longo dos últimos dez anos. Desde 2016 que os leilões de energia solar ao redor do mundo têm vindo a registrar recordes de preços, ano após ano, sendo valores comuns que oscilam perto dos 2 (dois) centavos por kWh. Realizado em 28 de junho de 2019, apresentou um recorde para a fonte solar fotovoltaica no país, com preço de US\$ 1,76¢ / kWh (EPE, 2019). Para que um país apresente preços competitivos no mercado solar se requer basicamente de três fatores: uma política energética estável, financiamento sólido, com taxas e prazos razoáveis (LAZARD, 2018).

Por esta razão, é seguramente mais simples para os países desenvolvidos e alguns países emergentes desenvolverem seu mercado de energia solar fotovoltaica, quanto menor o custo de capital, maior é a vantagem

do custo solar. Isso explica o fato de países como Emirados Árabes Unidos, Arábia Saudita, Índia e Brasil, por exemplo, apresentarem acordos de compra de energia solar com valores mais baixos do que outros mercados em desenvolvimento da Ásia, da África e da América do Sul (VALADARES, 2019).

Alguns mercados em desenvolvimento, através de instituições de financiamento para o desenvolvimento econômico e social, têm conseguido reduzir significativamente seus riscos e contratos de compra e venda de eletricidade em leilões de energia solar com preços reduzidos (VALADARES, 2019).

Em comparação com as fontes convencionais de energia, a energia solar fotovoltaica, principalmente quando utilizada em grande escala, concorre em preços e se mostra uma fonte competitiva, chegando, em alguns casos, a apresentar custos do kWh menores do que fontes tradicionais, como carvão e gás natural. Atualmente, o cenário energético global faz com que as células fotovoltaicas se tornem uma realidade para o fornecimento de energia elétrica renovável (PENA, 2021).

1.7. A energia solar fotovoltaica no Brasil

Nos últimos anos, o Brasil tem se posicionado como um dos países com maior utilização de energia solar fotovoltaica. A partir do ano 2012 o ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) inseriu regulações na base da Resolução Normativa 482/2012. Esta normativa estabelece as regras para geração e distribuição de energia no cenário nacional.

O Brasil possui um potencial enorme para a geração de eletricidade com fonte solar devido aos altos níveis de irradiação ocorridos no país. Por outro lado, ofertas no mercado dos equipamentos e instalação, aplicação de políticas energéticas faz com que o Brasil seja um dos principais países que mais avançaram no uso da energia solar fotovoltaica (VALADARES, 2019).

No entanto, a matriz solar representa apenas 1,1% do total da geração elétrica no Brasil, mesmo com um crescimento de 92,1% entre 2018 e 2019. (EPE, 2020). Porém, o Brasil continua alinhado com o cenário de sustentabilidade mundial e na procura de alcançar eficiência energética diversificando sua matriz (NASCIMENTO, 2019).

Estima-se que até 2024 o Brasil terá 880 mil sistemas de energia solar instalados. No ano passado, aproximadamente 94.000 sistemas foram conectados (ABSOLAR, 2021).

1.8. Uso de energia solar no mundo e projeções futuras

No final de 2014, os 24 países associados à IEA (Agência Internacional de Energia) acumulavam mais de 156 GW de instalações fotovoltaicas em todo o mundo, na sua maioria ligadas à rede. Os outros 38 países que foram considerados neste relatório e não fazem parte do programa IEA representaram um adicional de 21 GW. Na Europa: Reino Unido, com cerca de 5,3 GW, Grécia com 2,6 GW, República Tcheca com 2,1 GW instalados, Romênia com 1,2 GW e Bulgária, com 1,0 GW e ainda menos Ucrânia e Eslováquia (KEMMERICH; FIGUEIRA; MICHELS, 2020).

Fora da Europa, os principais países com mais instalações acumuladas em 2014 foram Índia com mais de 3 GW, África do Sul com 0,9 GW, Taiwan com 0,6 GW e Chile com 0,4 GW. Muitos outros países ao redor do mundo começaram a desenvolver FV, mas poucos ainda alcançaram um nível significativo de desenvolvimento em termos de capacidade instalada acumulada no final de 2014 (KEMMERICH; FIGUEIRA; MICHELS, 2020).

Com cerca de 40 GW, o mercado cresceu em 2014 cerca de 4,6%, o rácio mais elevado até à data. A China instalou 10,6 GW em 2014, patamar inédito ligeiramente inferior aos 10,95 GW que colocaram o país em primeiro lugar em relação a todas as instalações fotovoltaicas instaladas em 2013. Atualmente lidera a geração de energia fotovoltaica com capacidade acumulada de 205.072 MW. Estes números estão perfeitamente em linha com a sua vontade política de desenvolver fontes renováveis particularmente PV no curto e médio prazo (KEMMERICH; FIGUEIRA; MICHELS, 2020).

No segundo lugar temos o Japão (61.840 MW), seguido pelos Estados Unidos (60.540 MW) e Alemanha (49.016 MW) (ABSOLAR, 2021). Esses países, líderes em potência instalada, promoveram políticas de incentivos para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia de acordo com as necessidades e determinações de cada país (IPEA, 2020).

Em termos de crescimento anual, as adições anuais de capacidade solar fotovoltaica precisam ser praticamente multiplicadas por 3 até 2030 (até 270 GW por ano) e por 4 até 2050 (até 372 GW por ano) em comparação com os níveis atuais (adição de 94 GW em 2018) (ZERVOS, 2019).

Graças à sua natureza modular e distribuída, a tecnologia solar fotovoltaica está se adaptando a uma ampla gama de aplicações fora da rede e às condições locais. Na última década (2008-2018), a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica fora da rede em escala global se multiplicou por mais de 10, de cerca de 0,25 GW em 2008 para praticamente 3 GW em 2018. Solar fotovoltaica externa A rede é uma tecnologia-chave para alcançar o pleno acesso à energia e para cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (KEMMERICH; FIGUEIRA; MICHELS, 2020).

O aumento do investimento em energia solar fotovoltaica é crucial para acelerar o crescimento das instalações nas próximas décadas. Globalmente, isso significaria um aumento de 78% no investimento médio anual em energia solar fotovoltaica entre agora e 2050 (até 192 bilhões de dólares americanos - USD - por ano). Em 2018, o investimento em energia solar FV foi de US \$ 114 bilhões/ano (ZERVOS, 2019).

O setor de energia solar fotovoltaica é um setor em rápida evolução, mudando em um ritmo acelerado graças às inovações que ocorrem em toda a cadeia de valor, e espera-se que experimente reduções de custos adicionais em um curto espaço de tempo. As tecnologias de primeira geração continuam a ser o principal motor do desenvolvimento do setor solar e ainda detêm a maior parte do valor de mercado. As tecnologias em tandem e perovskita também oferecem perspectivas interessantes, embora várias barreiras de longo prazo ainda precisam ser superadas. O surgimento de novas arquiteturas de células permitiu obter níveis mais elevados de eficiência. Mais especificamente, a mudança mais importante do mercado em relação à arquitetura celular é aquela produzida por células e módulos bifaciais, impulsionada pela crescente adoção de arquiteturas avançadas, como o emissor passivo e a célula traseira. (PERC, por sua sigla em Inglês), e por sua compatibilidade com outras inovações emergentes, como a meia célula, entre outras (TRUBE, 2018).

Aproveitando o crescimento acelerado da capacidade solar fotovoltaica em todo o mundo, vários projetos de pesquisa e protótipos foram lançados com

o objetivo de estimular o crescimento do mercado futuro, estudando tecnologias solares inovadoras para aplicações. Um exemplo é a construção de painéis solares fotovoltaicos integrados (BIPV). Essas soluções oferecem vários benefícios, como multifuncionalidade (pode ser adaptada a várias superfícies), eficácia de custos (economia de material de cobertura, mão de obra/ construção e custos de reforma e renovação), versatilidade e flexibilidade de design em termos de tamanho, forma e cor. A eficiência e a potência útil dos painéis solares melhoraram substancialmente nas últimas décadas (LANA *et al.*, 2021).

Em 2018, a eficiência dos módulos fotovoltaicos policristalinos era de 17% e a dos módulos monocristalinos de 18%. Hoje está em 18,6 nas policristalinas e 20,6 nas monocristalinas. Espera-se que esta tendência positiva continue até 2030. No entanto, com o crescimento do mercado fotovoltaico global, a necessidade de prevenir a degradação dos painéis e gerir o volume de painéis fotovoltaicos desmontados também aumentará, levando à adoção da economia circular. Essas práticas incluem métodos inovadores e alternativos para reduzir o uso de materiais e a degradação dos módulos, bem como oportunidades de reutilização e reciclagem de painéis fotovoltaicos no final de sua vida útil (LANA *et al.*, 2021).

2. A Melhor posição para instalação do Paine Solar Fotovoltaico no Brasil

A capacidade de gerar energia solar no Brasil é alta podendo alcançar índices de radiação solar com uma média de 2500 kWh/m² (MARTINS, 1996).

Para a eficiência de um sistema fotovoltaico deve-se considerar a incidência de radiação. O planeta Terra descreve uma trajetória elíptica em torno do Sol e seu eixo em relação ao plano normal à elipse tem uma inclinação de aproximadamente 23,45°, denominado Declinação Solar (δ), este ângulo é positivo ao Norte e negativo ao Sul da linha do Equador (LIMA, GONÇALVES, 2018).

O sol nasce pelo leste e se põe pelo oeste, durante o processo o sol sobe se inclinando ao norte. Assim, a posição do Sol em relação à Terra é que determina o ângulo correto de instalação do painel e também determina o aparecimento de determinadas sombras sobre o equipamento (NÓBREGA *et al.*, 2018).

Se um telhado está voltado ao norte e não há sombras, aquele lugar seria o ideal para instalar o painel fotovoltaico em vista que o gerador produzirá maior energia. Porém, além da direção, o ângulo de inclinação tem um papel importante. Assim, Vinturini (2020) apresenta resultados das simulações feitas indicando que os melhores ângulos de inclinação são ligeiramente deslocados para Leste e não correspondem exatamente à inclinação zero (Norte).

A maior geração de energia dos sistemas fotovoltaicos com inclinação diferentes de zero por isso, deslocados para Leste, depende em grande medida da temperatura. No início da manhã, os módulos estão mais frios do que no final da tarde. Portanto podemos conseguir um bom resultado se for possível captar mais radiação na parte da manhã, em detrimento da parte da tarde. Se colocássemos os módulos orientados para o Norte, teríamos a mesma quantidade de radiação coletada nos períodos da manhã e da tarde. Com isso perderíamos a oportunidade de gerar um pouco mais de energia do que se tivéssemos priorizado o período da manhã, orientando os módulos ligeiramente para o Leste. Em resumo, a máxima geração de energia dos sistemas fotovoltaicos ocorre quando os módulos estão ligeiramente orientados para o Leste, com ângulos de inclinação que em nossos estudos variaram de $-2,5^\circ$ a $-7,5^\circ$ (VINTURINI, 2020).

Segundo Vinturini (2020), a perda de geração da energia solar fotovoltaica não é tão grande se o sistema for instalado nas faces voltadas ao Leste e Oeste:

- As perdas direcionais para telhados com face NE ou NO variam entre 3% e 8%.
- Para um telhado com face Leste ou Oeste, você pode perder entre 12% e 20%.
- Para face Sul, as perdas são muito grandes, no estado do Rio Grande do Sul estima-se que ultrapassam os 80% de perda de eficiência. Somente considere instalar nesta parte do seu telhado se você morar na região Norte do Brasil.

A inclinação dos painéis solares está diretamente relacionada com a latitude, coordenadas e o período do ano da cidade onde vai ser feita essa instalação. Pense que o ângulo ideal para o painel (caso este esteja apontado

diretamente para o Sol) deverá ser igual ao ângulo da altura solar, porém, como a maior parte dos painéis são fixos é preciso considerar a altura do ano e a quantidade de sol recebido em cada estação (NÓBREGA *et al.*, 2018).

A recomendação para que os resultados extraídos sejam ainda mais proveitosos é de que a inclinação dos painéis seja igual a latitude do local onde os painéis serão fixados. Assim, a cidade de Porto Alegre tem uma latitude de aproximadamente 30°. Nesse caso, a instalação dos painéis solares na capital Gaúcha deverá ser feita com uma inclinação de 30° (RONDÓN; DUCATI; HAAG, 2020).

Por isso, é de grande importância conhecer qual é a latitude do local onde vai se realizar a instalação do painel para que esse valor seja respeitado, e que permita melhorar a eficiência na geração de energia.

Além do anteriormente exposto, para tirar o máximo proveito da geração de energia mediante painéis solares deve-se considerar os seguintes aspectos:

- Instalação dos painéis solares em uma área livre de possíveis sombreamentos;
- Avaliar a área de instalação para evitar possíveis interferências na eficiência do sistema;
- Considerar as condições atmosféricas do local de instalação.

3. Manutenção do Painel Solar

Uma vez instalado um painel solar, surgem algumas dúvidas em relação à sua manutenção. É preciso limpar os painéis solares fotovoltaicos? Com que frequência? Sujeira e detritos têm um impacto negativo na eficiência dos painéis solares, interferem na coleta de luz solar.

A limpeza frequente dos painéis solares dependerá de aspectos como tipo de sujeira Tabela 2 e índice pluviométrico no local de instalação. Quando se trata de sujeira tipo poeira ou pólen, regularmente não é necessário limpar os painéis solares com muita frequência, já que esta será levada pela água da chuva Figura 3. Porém, se houver uma seca severa no local da instalação, ou se houver chuvas muito leves e ocasionais, a limpeza pode precisar ser feita com mais frequência (CHAUDHARY, CHATURVEDI, 2017).

Tabela 2. Tipos de sujeira acumulado em painéis solares.

Sujeira atmosférica (normal)	Que produz uma fina camada de poeira (mais comum) no painel.
Excrementos de pássaros	Que produz manchas densas em diferentes áreas do painel.
Sujeira extrema	Que produz uma densa camada de terra, pequenas pedras e poeira que cobre grande parte do painel.

**Figura 3.** Painéis solares depois da chuva.

Dependendo do tipo de sujeira, pode afetar a integridade do painel solar. Por exemplo, sujeira altamente concentrada em uma área do painel que não é limpa por muito tempo e que a chuva não será suficiente para lavá-los, como fezes de pássaros, podem acabar danificando o painel, produzindo um ponto quente. Sujeira e detritos podem afetar negativamente a quantidade de luz solar que o painel absorve e converte em eletricidade. Porém, a quantidade de eficiência reduzida é de no máximo 5% em casos de sujeira normal (CHAUDHARY, CHATURVEDI, 2017).

3.1. Quando é necessário lavar os painéis solares?

Existem maneiras de determinar se os painéis solares precisam ser limpos Figura 4. Um é a inspeção física dos painéis em busca de detritos, sujeiras, excrementos de pássaros, etc. A outra forma é ver se a produção de eletricidade cai. O quão mais sujo, menos energia a placa fotovoltaica vai produzir. Diversos fatores afetam a produção de energia dos painéis solares, mas a sujeira pode ser um dos principais e também o mais fácil de corrigir.

A época do ano em que se precisa maior monitoramento no estado dos painéis solares é a primavera e o verão. Esta época do ano é quando os animais são mais ativos e os painéis têm maior probabilidade de ficar manchados.

Em condições normais, com painéis com sujeira atmosférica normal (sem excrementos significativos de pássaros), é suficiente limpá-los duas vezes ao ano. Com isso teremos um desempenho muito aceitável da instalação fotovoltaica. Se o painel está instalado em uma área que é altamente afetada por sujeira causada por pássaros, árvores, areia, etc., teríamos que aumentar a frequência de limpeza de nossos painéis solares.

Dados extraídos da plataforma de monitoramento *SolarEdge*, utilizados pela empresa espanhola Campo Energético, mostram que a perda de desempenho quanto ao tipo de sujeira, em um período de seis meses, varia de 5% na chamada sujeira normal devido à poluição ou sujeira atmosférica, 32% em o caso de excrementos para pássaros e 37% para sujeira extrema (CAMPO ENERGÉTICO, 2021).



Figura 4. Painel solar antes e depois da limpeza.

3.2. De que depende a perda de desempenho devido à sujeira dos painéis solares?

Segundo Hudedmani *et al.* (2017), o fator de perda de desempenho dos módulos fotovoltaicos dependerá de quatro fatores fundamentais:

- Tipo de sujeira: Sujeira concentrada, como excrementos de pássaros, não é o mesmo que sujeira, por exemplo, poeira atmosférica;
- Inclinação dos painéis solares: Quanto maior a inclinação, maior será o efeito da lavagem da chuva e menores serão as ranhuras que permanecem na parte inferior do módulo fotovoltaico e que às vezes afetam muito o desempenho;
- Tipo de célula do painel solar: Temos células divididas e células inteiras. A célula dividida dos painéis monocristalinos é geralmente afetada muito menos pela sujeira do que a célula completa da qual os painéis policristalinos são formados.
- Projeto de instalação: talvez a coisa mais importante. Fundamentalmente, existem dois tipos de instalações: as concebidas em *string*, que são cadeias de módulos totalmente dependentes uns dos outros; e instalações projetadas com otimizadores de energia ou sistemas semelhantes.

3.3. Limpeza dos painéis solares

Muitas empresas de energia solar oferecem este tipo de serviço. Existem até empresas que o incluem como parte de um serviço de manutenção anual. É imprescindível consultar as instruções do painel e/ou consultar o fornecedor para saber se existem informações, recomendações e o que fazer ou não fazer na limpeza do sistema do painel solar.

Deve-se evitar arranhar os painéis. Não se deve usar nenhum tipo de jato de água de alta pressão para lavar os painéis solares. Uma conexão de alta pressão pode danificá-los.

O melhor momento do dia para limpar os painéis solares é em um dia nublado, no início da manhã ou à noite. Se o sol estiver forte, a água utilizada pode evaporar rapidamente dificultando a limpeza. O amanhecer pode ser um momento particularmente bom para a manutenção, já que durante a noite o painel está mais úmido facilitando a saída da sujeira e o processo de limpeza. Desta forma se precisa usar menos água e menos energia para limpar os painéis solares.

4. Durabilidade e tempo de vida das placas solares comercializadas

Os fabricantes de painéis solares se esforçam muito para tornar seus painéis duráveis, uma vez que eles devem ser capazes de resistir às intempéries, tanto quentes como frias. No entanto, sua vida útil não é infinita e eles inevitavelmente envelheceram.

A expectativa de vida é, geralmente, de 25 anos com no mínimo 80% de sua geração inicial. Na verdade, um painel solar pode funcionar por trinta anos ou mais, mas sua potência diminui depois de vinte anos devido à degradação de suas células fotovoltaicas. Com os devidos cuidados, pode-se esperar uma meia-vida de até 35 anos. A partir daí, a potência da instalação deve ser verificada para garantir que a energia produzida ainda atenda às necessidades da casa ou empresa (MAJDI *et al.*, 2021).

A classificação de energia dos painéis solares mono e policristalinos normalmente se degrada para cerca de 0,5% ao ano. No entanto, os painéis solares de filme fino (a-Si, CdTe e CIGS) degradam a uma taxa mais alta do que os anteriores (SOLÍS-ALEMÁN *et al.*, 2019).

Em todo o caso, devemos ter presente que, embora os painéis solares sejam a parte visível do sistema fotovoltaico doméstico, não são os únicos elementos cuja vida útil devemos levar em consideração. Baterias e inversores são elementos essenciais em qualquer instalação solar e devemos estar atentos aos seus cuidados para prolongar ao máximo sua vida útil.

5. Painéis monocristalinos versus painéis policristalinos

Na prática, a diferença entre os dois é mínima. Os painéis solares de células monocristalinas têm uma maior eficiência sobre condições padrão (STC), o que só pode ser importante quando o espaço disponível é limitado. Com painéis policristalinos, mais baratos para uma produção menos exigente, muitas vezes poderá se obter mais energia pelo mesmo preço.

Prange (2021) apresenta mais duas características que favorecem os painéis policristalinos:

- Em temperaturas elevadas, a perda de eficiência em módulos policristalinos é geralmente menor do que em painéis de células monocristalinos. Isso faz com que os painéis policristalinos produzam mais energia em condições de alta temperatura;
- A perda devido à degradação induzida pela luz (LID) é menor em painéis policristalinos. Portanto, com o passar dos anos, eles perdem um pouco menos eficiência (não é válido para os novos módulos monocristalinos do tipo 'p', por exemplo, o *Sunpower Maxeon*).

6. Atualidade e futuro

A energia solar está avançando muito como uma fonte confiável e renovável de energia, mas ainda há um grande potencial inexplorado em termos de eficiência das células fotovoltaicas e do que acontece à noite e durante o mau tempo. Recentemente, uma solução foi proposta na forma de produção de energia a partir das gotas de chuva. O que acontece aqui, é que os íons carregados positivamente se ligam à camada ultrafina de grafeno e formam uma camada dupla com os elétrons já presentes. A diferença de energia potencial entre as duas camadas é forte o suficiente para gerar uma corrente elétrica (TANG *et al.*, 2016).

A tecnologia com grafeno é inovadora e diferente de qualquer outra que existe; o grafeno é umas das formas cristalinas do carbono. É um material quase transparente, indestrutível, elimina os problemas de degradação, umidade e eficácia da temperatura enfrentada por outros painéis solares. Esses painéis usam tecnologia de célula híbrida, combinando tecnologia de filme fino com tecnologia de silício cristalino, para produzir módulos 50% mais eficientes, que duram mais, são menos propensos a micro danos e, mesmo quando danificados, ainda funcionam com uma perda de produtividade quase zero (WU *et al.*, 2018).

Por outro lado, painéis solares 100% transparentes foram criados na Universidade de Michigan. Com seu vidro 100% transparente, tem a capacidade de absorver luz ultravioleta e luz infravermelha. As células solares fotovoltaicas coletam luz e a convertem em eletricidade. Embora atualmente não sejam tão eficientes quanto os painéis convencionais, a versão atual tem uma eficiência de até 8,1%, esperam-se melhorias para o futuro, isso será algo promissor, pois veremos arranha-céus cobertos por janelas que ao mesmo tempo são painéis solares. Para isso utilizam uma base de carbono que permite maior transparência (até 43,3%). O novo composto permite que sejam células orgânicas, sendo mais econômicas, flexíveis e eficientes (YANG; LIU; LUNT, 2019).

Espera-se que estudos futuros busquem a melhor forma de aplicar essas novas tecnologias em ambientes reais, mantendo um baixo custo de produção e uma vida útil significativa para os painéis solares.

7. Considerações finais

A tecnologia fotovoltaica já está em um estado suficientemente maduro para que a energia produzida possa competir com o custo da obtida de forma tradicional. Praticamente todos os países com desenvolvimento fotovoltaico mínimo já atingiram a paridade de rede. O que começou como um setor de grandes instalações fotovoltaicas foi expandindo até chegar aos usuários domésticos.

A busca por novas tecnologias que tragam maior eficiência, durabilidade e custos competitivos faz com que as empresas que oferecem serviços na área de energias limpas frequentemente estejam renovando e atualizando seu

mercado. Ainda falta experiência histórica suficiente, além da presença de alguns problemas de produção em painéis de filme fino, onde a qualidade deixa algumas dúvidas. Embora os painéis de filme fino tenham conseguido reduzir os custos de produção, ainda há alguma incerteza sobre sua durabilidade.

As empresas especializadas na área devem seguir oferecendo oportunidades de acesso para que os brasileiros possam encontrar opções de uso de energia limpa e sustentável com custos de instalação reduzidos.

Atualmente os custos de instalação de painéis solares são elevados em relação a outros sistemas de geração de energia. No entanto, os benefícios que geram enquanto ao meio ambiente e economia na conta de luz serão percebidos ao longo do tempo no médio prazo.

As placas requerem manutenção, algo que algumas empresas já incluem em seus pacotes de instalação. Recomenda-se que se realize a manutenção preditiva, a fim de garantir o correto funcionamento do sistema e assim evitar danos ou perdas por mau funcionamento dos painéis solares. A inspeção periódica garante a eficiência e uma vida útil mais longa aos painéis.

8. Referências

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

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. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Eletrotécnica e Energia e Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12082010-142848/publico/DissertRicardoBenedito.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

BONILLA, R.S., REICHEL, C., HERMLE, M., *et al.* Long term stability of c-Si surface passivation using corona charged SiO₂, **Applied Surface Science**, Elsevier, v. 412, p. 657-667, Aug. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433217308978>. Acesso em: 15 jun. 2021.

BOZIO, Douglas de Mafra. **Perspectivas das energias renováveis e não renováveis nas matrizes energéticas e elétricas**. 2018. 66 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios, Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica

Federal do Paraná, Medianeira, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/22667/1/perspectivasenergiasrenovaveismatrizes.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2021.

BRAUN-GRABOLLE, Priscila. **A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana**. 2010. 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: https://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Priscila_Braun.pdf. Acesso em: 22 jun. 2021.

BURIN, Luan de Marco. A busca por energias renováveis em um mercado globalizado. **Revista Thêma Et Scientia**, Cascavel, v. 7, n. 1E, p. 385-400, jan/jun. 2017. Semestral. Disponível em: <http://www.themaetscientia.fag.edu.br/index.php/RTES/article/view/695>. Acesso em: 22 jun. 2021.

CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 2011. 68 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011. Disponível em: <https://www.solenerg.com.br/files/monografia-Carlos-Fernando-Camara.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2021.

CAMPO ENERGÉTICO (Cáceres, Espanha). **Como a sujeira afeta as placas solares?** 2021. Disponível em: <https://www.cambioenergetico.com/blog/suciedad-placas-solares/>. Acesso em: 07 jul. 2021.

CCEE CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (São Paulo). **Geração solar avança 53% na primeira quinzena de abril, registra CCEE**. 2020. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico. Acesso em: 07 jul. 2021.

CHAUDHARY, Akash Singh; CHATURVEDI, D.K.. Thermal Image Analysis and Segmentation to Study Temperature Effects of Cement and Bird Deposition on Surface of Solar Panels. **International Journal Of Image, Graphics And Signal Processing**, [S.L.], v. 9, n. 12, p. 12-22, 8 Dec. 2017. MECS Publisher. <http://dx.doi.org/10.5815/ijigsp.2017.12.02>. Disponível em: <http://j.mecspress.net/ijigsp/ijigsp-v9-n12/IJIGSP-V9-N12-2.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.

DELGADO, Danielle Bandeira de Mello; CARVALHO, Monica. Potencial de Energia Fotovoltaica em geração distribuída para manutenção da pegada de carbono no mix elétrico brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - CONGESTAS 2016, 4., 2016, Paraíba. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. João Pessoa: Ecogestão Brasil, 2016. v. 4, p. 1295-1305. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2016/trabalhos/pdf/congestas2016-et-06-005.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.

EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Rio de Janeiro). Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 ano base 2019**. Brasília: Epe, 2020. 256 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica%202020.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

FILHO, Zormiro Tomain. **Análise da utilização de sistemas fotovoltaicos conectados às redes elétricas em propriedades rurais**. 2018. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23948>. Acesso em: 05 jul. 2021.

GERMANOS, Ricardo Alberto C. *et al.* Inversores de Potência: conceitos teóricos e demonstração experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. 01-07, 30 maio 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0113>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/hZbhGcY6YNX4zqNZSRSDtSp/>. Acesso em: 22 jun. 2021.

GÓES, Patrícia Fagundes; TANIMOTO, Armando Hirohumi. Tecnologias e parâmetros ambientais para a escolha de uma placa geradora de energia solar fotovoltaica. **Revista Scientia**: ciência; informação; habilidade; conhecimento, Salvador, v. 6, n. 15, p. 34-61, abr. 2021. Disponível em: <https://revistas.uneb.br/index.php/scientia/article/view/9521>. Acesso em: 15 jun. 2021.

GUIMARÃES, Patrícia Macedo. **A pegada de carbono na produção de energia hidráulica**: uma abordagem metodológica prospectiva para as emissões de carbono. 2017. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/4608>. Acesso em: 20 mai. 2021.

HUDEDMANI, Mallikarjun G. *et al.* A Comparative Study of Dust Cleaning Methods for the Solar PV Panels. **Advanced Journal Of Graduate Research**, India, v. 1, n. 1, p. 24-29, Jan. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314254127_A_Comparative_Study_of_Dust_Cleaning_Methods_for_the_Solar_PV_Panels. Acesso em: 20 jun. 2021.

KAZEM, Hussein A.. Evaluation and analysis of water-based photovoltaic/thermal (PV/T) system. **Case Studies In Thermal Engineering**, Oman, v. 13, n. 1, p. 100401, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2019.100401>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330724272_Evaluation_and_analysis_of_water-based_photovoltaicthermal_PVT_system. Acesso em: 20 jun. 2021.

KEMMERICH, Pedro Camargo; FIGUEIRA, Henrique Horst; MICHELS, Leandro. Evolução da normatização para a conexão à rede elétrica de sistemas

fotovoltaicos no mundo: uma revisão. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2020, Ceará. **Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Fortaleza: Anais CBENS, 2020. p. 01-11. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1035>. Acesso em: 15 jun. 2021.

LACCHINI, Corrado. **Análise econômica de sistemas fotovoltaicos residenciais no contexto brasileiro, com foco nos indicadores financeiros e nas tarifas locais de energia elétrica**. 2017. 156 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/181239/348629.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jun. 2021.

LANA, Thiago Rocha et al. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Revista Mythos**, v. 14, n. 2, p. 51-61, 25 jun. 2021. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, Fepesmig. Disponível em: <https://periodicos.unis.edu.br/index.php/mythos/citationstylelanguage/get/associacao-brasileira-de-normas-tecnicas?submissionId=467>. Acesso em: 15 jul. 2021.

LIMA, João Victor Figueiredo; GONÇALVES, Pedro H. S. A.. **A Influência do ângulo de inclinação na incidência de radiação solar em painéis fotovoltaicos**. 2018. 172 f. TCC (Graduação) - Curso de Faculdade de Tecnologia, Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/24290>. Acesso em: 20 jun. 2021.

LOSEKANN, Luciano; HALLACK, Michelle Carvalho Metanias. Novas energias renováveis no Brasil: desafios e oportunidades. In: NEGRI, João Alberto de; ARAÚJO, Bruno César; BACELETTE, Ricardo (org.). **Desafios da Nação: artigos de apoio**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2018. Cap. 34. p. 631-655. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8446/>. Acesso em: 20 mai. 2021.

MAJDI, Abdulrhman *et al.* Fundamental study related to the development of modular solar panels for improved durability and repairability. **Let Renewable Power Generation**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 1382-1396, 22 mar. 2021. Institution of Engineering and Technology (IET). Disponível em: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com>. <http://dx.doi.org/10.1049/rpg2.12079>. Acesso em: 15 jun. 2021.

MARTINS, A. Conhecendo o sol. **Folha de São Paulo**. São Paulo, 15 set. 1996.

MIQUELIN, Beatriz Momente. **Plano trienal: auge e crise do planejamento no Brasil**. 2019. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Direito Político e Econômico (Ppgdpe), Faculdade de Direito (Fdir), Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/4112>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MORINI, Antônio Augusto. **Pré-avaliação da energia incorporada e da pegada de carbono como requisitos para seleção de materiais nas fases iniciais do desenvolvimento de produto.** 2019. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – Pgmt, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/214690/PCEM0496-T.pdf?sequence=-1 & isAllowed=y>. Acesso em: 15 jul. 2021.

NASCIMENTO, Mário Elias Carvalho do. **Avaliação econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para empreendimentos do agronegócio.** 2019. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura - Ppgea, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/4243>. Acesso em: 31 mai. 2021.

NÓBREGA, Balduino Sonildo da *et al.* Desempenho de um sistema solar fotovoltaico com diferentes inclinações e orientações azimutais em cidades da Paraíba. **Revista Principia: Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 1, n. 43, p. 175-188, 13 dez. 2018. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n43p175-188>. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/1950/1000>. Acesso em: 15 jul. 2021.

PALETTA, Francisco Carlos *et al.* Sustentabilidade Ambiental. **Osf: Preprints**, Rio de Janeiro, p. 144, 4 jun. 2021. Center for Open Science. <http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/wpgzn>. Disponível em: <https://osf.io/wpgzn>. Acesso em: 22 jun. 2021.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Fontes renováveis de energia.** Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilescuela.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

PINHEIRO, Raoni; MENEZES, Valeska L.; CARVALHO, Monica. Pegada de carbono associada a telha fotovoltaica do tipo cerâmico com célula de Si-poli. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - CONGESTAS 2017, 5., 2017, Paraíba. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade.** João Pessoa: Ecogestão Brasil, 2017. v. 5, p. 1131-1138. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2017/anais2017.html>. Acesso em: 22 jun. 2021.

PRANGE, Nathanael Günter. **Análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos baseados em silício monocristalino e policristalino.** 2021. 6 f. Artigo Científico (Especialização) - Curso de Pós Graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/13040>. Acesso em: 16 jul. 2021.

RONDÓN, Adriana Coromoto Becerra; DUCATI, Jorge Ricardo; HAAG, Rafael. Análise anual das componentes direta, difusa e global da radiação solar em Porto Alegre, RS. In: VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 08., 2020, Fortaleza. **Anais CEBENS**. Fortaleza: Associação Brasileira de Energia Solar, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/issue/view/2>. Acesso em: 23 jun. 2021.

SANTOS, Alana Santiago dos Santos. **O estado da arte das células fotovoltaicas**. 2018. 53f. TCC (Graduação) - Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/18827>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SANTOS, Gabriela Rios Lemos dos. **Tecnologias de conversão de energia e suas dimensões: um modelo conceptual**. 2019. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis e Eficiência Energética, Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Portugal, 2019. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/21039/1/pauta-relatorio-13.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2021.

SENDERSKI, André Miguel. **Estudo de viabilidade técnico-financeira de geração distribuída por painéis fotovoltaicos**. 2018. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10553/1/PG_COELE_2018_2_02.pdf. Acesso em: 04 jul. 2021.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. de; CAMARGO, I. M. T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: Políticas públicas para a energia: Desafios para o próximo quadriênio, 2006, Brasília. **V CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. Brasília: Laboratório de Fontes Alternativas de Energia do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2006. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3427159/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

SILVA, Rayssa G., CARMO, Marlon José do. Energia solar fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética. **InterSciencePlace – International Scientific Journal**, v. 12, n. 2, p. 129-173, 2017. Disponível em: <http://www.interscienceplace.org/isp/index.php/isp/article/view/649>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SOLÍS-ALEMÁN, Ernesto *et al.* A study on the degradation rates and the linearity of the performance decline of various thin film PV technologies. **Solar Energy**, Elsevier, v. 188, p. 813-824, Aug. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X19306413?via%3dIhuh>. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.067>. Acesso em: 15 jun. 2021.

SOUZA, Ruana Tomaz de. **Eficiência energética e proteção climática: metodologia de ensino para educação básica como instrumento de apoio para implementação de políticas públicas.** 2021. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, Centro de Ciência, Tecnologias e Saúde, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/221345?show=full>. Acesso em: 20 mai. 2021.

TANG, Qunwei *et al.* A solar cell that is triggered by sun and rain. **Angewandte Chemie International Edition**, Wiley Online Library, v. 55, p. 5243-5246, Apr. 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.201602114>. <https://doi.org/10.1002/anie.201602114>. Acesso em: 22 jun. 2021.

TRUBE, J., Results 2017 including maturity report 2018, **International Technology Roadmap for Photovoltaics**, Frankfurt, 2018. Disponível em: <https://pv.vdma.org/documents/105945/26776337/ITRPV%20Ninth%20Edition>. Acesso em: 05 jun. 2021.

TURNEY, D.; FTHENAKIS, V.. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. **Journal Elsevier**, v. 15, p. 3261-3270, Aug. 2011. Disponível em: https://www.bnl.gov/pv/files/pdf/229_rser_wildlife_2011.pdf. Acesso em: 22 jun. 2021.

VALADARES, Patrícia Nazareth. **A energia solar e os desafios para sua consolidação no Brasil e no mundo.** 2019. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28488/>. Acesso em: 05 jul. 2021.

VASCONCELOS, Isabella Francisca Freitas Gouveia de *et al.* Inovação tecnológica radical e mudança organizacional: a institucionalização de organizações resilientes e formas de trabalho mais substantivas. **Cadernos EBAPE.BR [online]**. 2019, v. 17, n. 4, p. 895-922. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cebape/a/fWPPq95jJMtK8BjCxPBMVZs>. <https://doi.org/10.1590/1679-395120190144>. Acesso em: 08 jul. 2021.

VINTURINI, Mateus. **Os módulos FV devem ser orientados sempre para o Norte?** Canal Solar, 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/os-modulos-fv-devem-ser-orientados-sempre-para-o-norte/>. Acesso em: 04 jul. 2021.

WEIRICH, Cintia Sabrina. **Análise econômica de sistemas de geração de eletricidade no modo GD: motor gerador a biogás e painéis fotovoltaicos.** 2021. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/5360>. Acesso em: 22 jun. 2021.

WU, Jiang Horng *et al.* The Interaction between Quantum Dots and Graphene: The Applications in Graphene-Based Solar Cells and Photodetectors. **Advanced Functional Materials**, Wiley Online Library, v. 28, Issue50, Dec. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/https://doi.org/10.1002/adfm.201804712>. Acesso em: 17 jul. 2021.

YANG, Chenchen; LIU, Dianyi; LUNT, Richard R. How to accurately report transparent luminescent solar concentrators. **Joule**, v. 13, n. 12, p. 2871-2876, Dec. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ZANESCO, Izete; MOEHLECKE, Adriano. Desenvolvimento de tecnologias industriais de fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos, In: **Relatório Final de Projeto FINEP**, Convênio FINEP 01.080635.00, ref. 1359/08, 2012.

ZANESCO, Izete; RAZERA, Ricardo Augusto Zanotto; MOEHLECKE, Adriano. Análise da passivação com SiO₂ na face posterior e frontal de células solares com campo retrodifusor seletivo. **Matéria [online]**, v. 22, n. Suppl 1, e11924, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170005.0260>. Acesso em: 08 jul. 2021.

ZERVOS, A., Renewable energy policy network for the 21st Century, Renewables 2019 global status report. **REN 21: renewables now**. 2019. Disponível em: <https://www.google.com.br/search?q=ZERVOS%2C+A.%2C>. Acesso em: 08 jul. 2021.

