



**FACULDADE ARI DE SÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FRANCISCO JACKSON DE SOUZA FORTE

**ESTUDO DE CASO DOS IMPACTOS RELACIONADOS A FALTA DE
MANUTENÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA GARANTIR SUA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

FORTALEZA

2023

FRANCISCO JACKSON DE SOUZA FORTE

**ESTUDO DE CASO DOS IMPACTOS RELACIONADOS A FALTA DE
MANUTENÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA GARANTIR SUA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Projeto de Pesquisa apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá, como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Me. ALEXANDRE LIMA FERREIRA.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Faculdade Ari de Sá
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F737i Forte, Jackson.

Impactos Relacionados a Falta de Manutenção de um Sistema Fotovoltaico para Garantir sua Eficiência Energética: estudo de caso / Jackson Forte. – 2023.

49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Ari de Sá. Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Me. Alexandre Lima Ferreira.

1. Manutenção. 2. Fotovoltaico. 3. Energia Solar. 4. Eficiência Energética. I. Título.

CDD 620

FRANCISCO JACKSON DE SOUZA FORTE

**ESTUDO DE CASO DOS IMPACTOS RELACIONADOS A FALTA DE
MANUTENÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA GARANTIR SUA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Projeto de Pesquisa apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá, como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Me. ALEXANDRE LIMA FERREIRA.

Aprovado em ___ de _____ de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Alexandre Lima Ferreira

Faculdade Ari de Sá

Prof. Leonardo Tavares

Faculdade Ari de Sá

Fortaleza

2023

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, ao longo desses 5 anos de graduação.

Aos meus pais, irmãos e amigos, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam minhas ausências enquanto eu me dedicava a realização deste trabalho. Em especial minha Mãe que se formou aos 53 anos com muita força de vontade e determinação.

Ao professor Alexandre Lima Ferreira, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Aos professores, da banca examinadora pelas correções que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação.

Aos todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizagem.

A instituição ARI DE SÁ, que me fez crescer profissionalmente, ao longo de toda minha trajetória, ao longo desses 5 anos de graduação.

RESUMO

O presente trabalho de título, estudo de caso dos impactos sobre a falta de manutenção em sistema fotovoltaico para garantir sua eficiência energética, aborda a temática e exemplifica a necessidade de se fazer uma manutenção periódica nos sistemas de geração de energia fotovoltaica e propor medidas preventivas a fim de garantir a sua eficiência energética do sistema para assegurar a garantia dos fabricantes. Tendo como objeto de estudo o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI, localizado em Fortaleza -CE. A pesquisa concentrou-se em propor e sugerir medidas que possa maximizar ganhos na produção de energia e minimizar possíveis deterioração dos componentes do sistema, em principal dos painéis fotovoltaicos que são expostos diretamente a incidência do sol e intempéries climáticas. O trabalho aborda também a importância do crescimento da energia solar como uma opção sustentável, não emite gases poluentes e não gera resíduos, produzindo energia limpa. Encerra-se o trabalho com a metodologia, analisando e acompanhando um estudo de caso em uma unidade no SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), onde foi observado uma variação de desempenho entre painéis solares, nas análises dos resultados se deu utilizando um equipamento que traça uma curva I-V da eficiência energética e na conclusão ficou evidenciado que podem existir indícios que essa vária se dá a partir do estado de sujeira dos painéis.

Palavras-chaves: fotovoltaico, energia, manutenção, painéis.

ABSTRACT

The present title work, a case study of the impacts on the lack of maintenance in a photovoltaic system to guarantee its energy efficiency, addresses the theme and exemplifies the need to carry out periodic maintenance in photovoltaic energy generation systems and propose preventive measures to order to ensure its energy efficiency of the system to ensure the manufacturer's warranty. Having as object of study the National Service of Industrial Learning - SENAI, located in Fortaleza - CE. The research focused on proposing and suggesting measures that can maximize gains in energy production and minimize possible deterioration of system components, in particular photovoltaic panels that are directly exposed to the incidence of sunlight and weather. The work also addresses the importance of the growth of solar energy as a sustainable option, does not emit polluting gases and does not generate waste, producing clean energy. The work ends with the methodology, analyzing and accompanying a case study in a unit at SENAI (National Service of Industrial Learning), where a variation of performance between solar panels was observed, in the analysis of the results it was given by the result using a equipment that traces an I-V curve of energy efficiency and in the conclusion it was evident that there may be indications that this variable is due to the state of dirt of the panels.

Keywords: photovoltaic, energy, maintenance, panels.

SUMÁRIO

1	Introdução	9
2	Objetivo	10
3	Referencial teórico	11
3.1	Aspectos de sustentabilidade	11
3.1.1	Contextualização da crise hídrica	14
3.3	Energias Renováveis	18
3.3.1	Hidrogênio Verde	18
3.3.2	Energia Eólica	18
3.3.3	Energia Solar	19
3.3.3.1	Apresentação do sistema fotovoltaico conectados à rede elétrica	20
3.4	Comparação entre os dois tipos de sistema fotovoltaico	20
3.5	Painéis fotovoltaicos	22
3.5.1	Eficiência do painel solar fotovoltaico	23
3.5.2	Componentes de um sistema fotovoltaico	24
3.6	Garantias e durabilidades dos componentes.....	27
3.7	Tipos de manutenção	27
3.8	Equipamento x Tipo de manutenção	31
3.9	frequência da manutenção do sistema fotovoltaico	31
4	Metodologia	32
4.1	Local de estudo, Senai Barra	32
4.2	Equipamentos utilizados	34
4.2.1	Traçador de curva	35
4.2.2	Medidor de irradiância	35
4.2.3	Medidor sombreamento	36
4.3	Teste realizado	37
5	Resultados	39
6	Conclusão	42
	Referências	45

LISTA DE IMAGENS

- Figura 1: Matriz elétrica brasileira em 2019
- Figura 2: Geração de energia elétrica conectado à rede pública de energia.
- Figura 3: Geração de energia elétrica autônomo
- Figura 4: Composição do painel fotovoltaico
- Figura 5: (a) Monocristalina; (b) Policristalino; (c) Filme fino
- Figura 6: Método de limpeza
- Figura 7: Fluxograma
- Figura 8: Local de estudo SENAI – Barra do Ceará
- Figura 9: Estação dos Painéis
- Figura 10: Traçador de Curva
- Figura 11: Medidor de sombreamento
- Figura 12: Medidor de Irradiância
- Figura 13: Situação da placa em ótima condição
- Figura 14: Curva I-V NBR 16274
- Figura 15: Curva I-V da placa em ótima manutenção
- Figura 16: Placa sem manutenção
- Figura 17: Curva I-V da placa sem manutenção.
- Figura 18: Sujo/limpo.
- Figura 19: Limpeza do sistema.
- Figura 20 – Manutenção corretiva planejada.
- Figura 21 – placa em manutenção corretiva planejada.
- Figura 22 – Gráfico de eficiência.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vive nos últimos dez anos um cenário crítico em relação ao abastecimento de energia elétrica causado pela escassez hídrica, impactando diretamente na produção de energia elétrica. Por sua vez, o abastecimento passa a ser substituído por fontes poluentes que agravam ainda mais o problema, pois as termoeletricas funcionam a base de carvão. Este tipo de energia chega mais cara na conta e reflete em todos os setores da economia, denotando o impacto sistemático desse problema. (BRASIL, 2021).

Os conceitos centrais podem ser compreendidos partindo do conceito principal de que as fontes de energia renováveis e alternativas são opções que não têm dependência de combustível para sua produção, pois podem ser obtidas através de recursos naturais. Nesse sentido, a energia solar fotovoltaica pode beneficiar amplamente o território nacional brasileiro, tanto nos cenários urbanos quanto nos rurais pela alta incidência de radiação solar e a predominância do clima aberto. Dessa forma, os sistemas fotovoltaicos podem constituir uma alternativa eficaz através da geração de energia limpa e amplamente renovável. O abastecimento de energia elétrica é um item essencial para todos os setores da sociedade, como, as indústrias, comércios e residências, e, por isso, há um aumento gradativo na demanda de consumo, impactando consequentemente os custos e os encargos que oneram a conta final para o consumidor. (BRASIL, 2021).

Embora com uma frequência pequena, é de suma importância a manutenção dos painéis fotovoltaicos, dos inversores e de todo o sistema de geração de energia, a fim de garantir e minimizar perdas na geração de energia elétrica gerada e garantir a longa a durabilidade dos equipamentos fazendo que os ganhos financeiros com a adesão do sistema sejam viáveis ao cliente. Afinal de contas, todos os componentes do sistema ficam a exposição de desgastes naturais assim como qualquer outro, em especial as placas pois elas são fixadas no telhado que ficam ainda mais expostas a diversas condições climáticas e do acúmulo de sujeira. (PORTAL SOLAR;2014)

2. OBJETIVO

2.1 Geral

Acompanhar e analisar um estudo de caso para demonstrar a importância da manutenção no sistema fotovoltaico, com foco na possível perda de eficiência energética por sujeira.

2.2 Específicos

Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o sistema fotovoltaico;

Compreender as técnicas de manutenção em instalações elétricas;

Demonstrar a importância dessas manutenções para que gastos não previstos possam surgir;

Verificar se existe perdas de produção de energia a partir das condições de limpeza dos painéis.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aspectos de sustentabilidade:

A Engenharia Civil pode atuar como protagonista neste sentido, incentivando a implementação dos sistemas fotovoltaicos como uma alternativa viável, sustentável e econômica frente a este cenário crítico pelo qual o Brasil tem passado.

Ficou evidenciado através da análise da situação hídrica brasileira e da contextualização da crise hídrica como fator encarecedor dos serviços de abastecimento elétrico, que um olhar sustentável, a longo prazo, pensando em oferecer qualidade de vida, além da responsabilidade ambiental acerca desta problemática, é uma preocupação de todos. (ANEEL, 2012).

Tornar essa tecnologia conhecida e incentivar sua implementação em projetos residenciais multifamiliares é uma ação que, certamente, trata o problema de forma mais sistemático, pois somos um país de clima predominantemente ensolarado na maior parte do ano. Dessa forma, utilizar esse recurso natural pode proporcionar um diferencial em empreendimentos, sejam eles residenciais ou não, bem como proporcionar também qualidade de vida às famílias que moram em áreas remotas, longe da rede de abastecimento elétrica comum. (ABSOLAR, 2019)

Villalva (2012 p. 18) nos traz uma definição objetiva do que é essa modalidade de energia e porque ela é importante do ponto de vista sustentável:

A energia solar de sistema fotovoltaica é uma energia de fonte renovável e constante, não traz danos ao meio ambiente pois não depende de uma grande área de instalação. Seus resíduos são eliminados para que evitem a poluição ambiental, evitando também o desmatamento e outros impactos negativos. (VILLALVA, 2012 p.18)

A energia solar possui impacto social e ambiental. A importância social da energia solar se deve a sua acessibilidade e a sua propriedade robusta de recursos diante do clima brasileiro, podendo ser proporcionada a famílias que moram em locais remotos, onde a rede comum possui pouca ou nenhuma abrangência, levando assim, mais qualidade de vida, incentivando também, a melhoria e implantação de outros serviços essenciais.

Do ponto de vista sustentável, a importância da energia solar concentra-se na ausência de emissão de gases responsáveis que possuem impacto direto sobre o efeito estufa, tornando-

a uma energia limpa e renovável. Para tanto, é fundamental que existam incentivos e ações que priorizem esse aspecto tão importante nos projetos residenciais e governamentais, pois ao favorecer a população com o abastecimento de energia elétrica limpa, cria-se uma maior conscientização e competitividade no mercado através de empreendimentos que abracem essa causa, reduzindo o consumo de energia elétrica, protegendo as gerações futuras e incentivando uma Engenharia Civil cada vez mais verde.

A taxa de insolação do território alemão é cerca de 3500 Wh/m² (watt-hora por metro quadrado) por dia de energia solar. Comparativamente, o Brasil apresenta valores de insolação diária entre 4500 e 6000 Wh/m² (Villalva e Gazoli, 2012). Portanto, dadas às dimensões territoriais e as elevadas taxas de irradiação solares brasileiras, o nosso país apresenta um significativo potencial de geração de energia solar.

A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) afirma que o Brasil deverá aumentar sua capacidade de instalação desses sistemas em 44% em 2022. Dessa forma, será possível elevar o país à marca de 3,3 gigawatts (GW) da fonte em operação (ABSOLAR, 2019).

Além disso, a energia fotovoltaica conta com diversas linhas de financiamento, a fim de tornar essa tecnologia mais acessível para aqueles que desejam implantá-la, por considerar a importância da ação para o meio ambiente, e também pela economia oriunda da mesma. A seguir, listam-se algumas vantagens de se investir no uso de sistema de energia fotovoltaica:

- a) A energia solar traz benefícios ao evitar mais danos ao meio ambiente por não utilizar gases que pioram o efeito estufa;
- b) Sua matéria prima é totalmente gratuita e renovável;
- c) Ausência dos ruídos comuns nas linhas de transmissão;
- d) Baixo custo de manutenção;
- e) O custo-benefício em relação a vida útil do sistema, haja vista sua durabilidade;
- f) A facilidade de instalação dos painéis fotovoltaicos;
- g) A acessibilidade do sistema em áreas remotas

Diante dessas vantagens é possível constatar que este sistema é sustentável e economicamente viável, uma vez que o retorno gerado em seu investimento se estende por até seis anos. A depender dos aspectos climáticos e das tarifas de energia de cada estado o custo-benefício é realmente vantajoso em no que se propõe (VILLALVA, 2012).

Desde o marco da regulamentação da resolução 482/2012 pela ANEEL, foram implementadas mais 120 mil unidades consumidoras com micro ou minigeração, havendo conseqüentemente a redução de 43% do valor dos painéis solares, tornando essa tecnologia mais acessível. Dessa forma, a fonte energia solar hoje, tornou-se a mais utilizada na categoria, totalizando 98% das conexões (ANEEL, 2012).

A ANEEL protocolou em reunião pública da diretoria uma abertura de consulta pública com o objetivo de receber contribuições em relação à proposta de revisão da Resolução Normativa 482/2012 tangentes às regras aplicáveis à micro e minigeração de distribuição (ANEEL, 2012).

Já em relação à regra atualizada, a ANEEL traz mais esclarecimentos sobre a forma de compensação:

[...] a compensação de energia se dá na baixa tensão, quem já possui geração de energia solar deixa de pagar todos os itens da tarifa de fornecimento sobre a parcela de energia consumida que é compensada pela energia injetada (ABSOLAR, 2019). As alterações ao sistema de compensação propostas visam equilibrar a regra para que os custos referentes ao uso da rede de distribuição e os encargos sejam pagos pelos 4 consumidores que geram energia. Com isso vai permitir que a se desenvolva ainda mais e de forma sustentável, sem impactar a tarifa de energia dos consumidores que não possuem o sistema. A proposta em debate estipula um período de transição para as alterações, a proposta prevê dois cenários, os consumidores que já possuem o sistema não terão alterações com as regras vigentes até o final de 2030. (ANEEL, 2019)

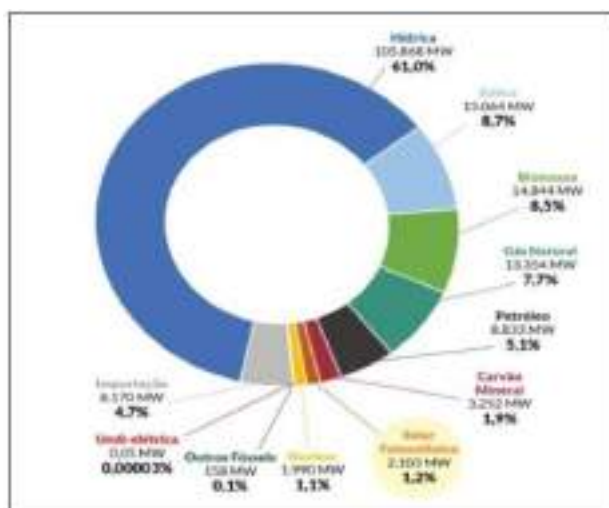
Para os pedidos de sistema de geração solar realizados após a publicação da normatização em 2020 também passaram a pagar encargos sobre o funcionamento da rede, podendo o excedente da produção ser compensando como um crédito no componente de energia da tarifa de energia. Para a definição da proposta, a ANEEL realizou estudos e consultas de mercado para assegurar que as alterações oriundas da normatização não

afetassem a produção dos componentes dessa tecnologia, bem como o seu custo final para o consumidor (ANEEL, 2019).

Nesse sentido, uma audiência pública para compreender o impacto trazido com a regulamentação foi realizada, e ao fim desses estudos realizados ficou evidenciado que, mesmo com a alteração do regulamento, o retorno obtido a partir do investimento em geração de energia limpa manteve sua vantagem (ABSOLAR, 2019).

Assim, para escolher conscientemente qual sistema é o mais apropriado e mais vantajoso financeiramente para cada residência, empreendimento ou projeto, é importante conhecer suas especificidades, bem como suas vantagens e desvantagens.

Figura 1 - Matriz elétrica brasileira em 2019.



Fonte: Adaptado de ABSOLAR (2019)

3.1.1 Contextualização da crise hídrica

Com o advento do período de estiagem na maior parte do país, os reservatórios de água que concentram as principais hidrelétricas de abastecimento sofrem com um esvaziamento contínuo, o que torna a produção energética mais desafiadora, e conseqüentemente, mais onerosa para o consumidor. Segundo a Operadora Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a escassez de chuvas no Brasil para a geração de energia é a pior em 91 anos (ONS, 2021).

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), afirma que o nível de chuvas diminuiu com o passar dos anos contribuindo para o baixo nível dos reservatórios ao impactar as bacias dos rios.

A vazão média dos rios mais importantes para gerar energia é a mais baixa em 91 anos. Esse dado não é sobre seca e, sim, sobre essa vazão. A bacia do Rio Paraná, por exemplo, está muito baixa, sendo uma das mais importantes para a geração de energia. Estamos em uma sequência de anos bem secos, estamos no oitavo ano consecutivo em que a estação chuvosa é muito abaixo da média. (CEMADEN, 2020)

De acordo com o CEMADEN (2020) a escassez de chuvas é causada pelos seguintes fatores:

[...] é causada, entre outros fatores, pela temperatura do oceano Atlântico, próximo ao Equador, no extremo norte – que, explica ele, foi desfavorável, prejudicando assim as chuvas no Nordeste, uma vez que a maior parte do país que gera energia elétrica teve chuvas abaixo da média no último período chuvoso. Diferentemente de outras secas, essa não foi tão severa como a de 2014, porém foi generalizada. Estamos nessa situação porque tivemos muitos anos consecutivos com chuvas abaixo da média e, nos últimos oito anos, este foi o ano com menor volume de chuvas. O sistema hídrico do país está em uma situação complicada. (CEMADEN, 2020)

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), afirma ainda, que, o El Niño (fenômeno de aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial) trouxe diversos transtornos que agravaram esse cenário. O fenômeno que esteve presente em 2016 e 2017, cria um sistema de baixo volume de chuvas e isso estendeu-se por todo o território brasileiro. Em sete anos, conforme explica a Organização Meteorológica Mundial (OMM), o clima está mais quente e menos chuvoso (INMET, 2020).

Todas essas problemáticas climáticas trazem impacto direto na conta de energia para consumidores, indústria e setores da sociedade em geral, uma vez que todos dependemos do sistema de abastecimento elétrico comum. Dessa forma é importante, compreender que o aumento da conta de energia para os consumidores é impactado diretamente pela dependência do Brasil das hidrelétricas.

Estima-se que cerca de 63% dos recursos energéticos são provenientes de hidrelétricas, que além da água, utilizam outras fontes de energia que à curto prazo são opções mais onerosas, resultando assim, em aumento de tarifas. É importante contextualizar essa problemática para educar e incentivar todos os usuários de energia convencional a compreenderem o problema vivido pelo país, e repensem sua forma de consumir eletricidade de forma que os sistemas fotovoltaicos sejam levados em consideração como uma alternativa, também, de economia (BRASIL, 2021).

O aumento das tarifas causados pelo uso das termelétricas ocorrem porque sua manutenção custa mais caro por funcionar a base de queima de combustíveis, tornando o problema mais agravante em relação a emissão de gases. O Ministério de Minas e Energia estima que, este ano, o acionamento de termelétricas resultará em um custo de R\$ 9 bilhões ao consumidor, que deverá ser repassado no ano que vem, com um aumento de 5% no total da tarifa de luz (BRASIL, 2021).

Para Oliveira (2002, p.27):

[...] falta, ainda, uma mentalidade de investimento em alternativas viáveis à geração de energia por meio de hidrelétricas, para evitar crises como esta. A alternativa, depois que a crise está instalada, é quase como enxugar gelo. Por isso, devemos questionar qual é, realmente, a verdadeira alternativa. É preciso ter planejamento energético e mudança da matriz elétrica brasileira, com investimentos em energia limpa, com a energia solar e a energia eólica. (OLIVEIRA, 2002 p.27)

Só entre janeiro e abril de 2021, já foram gastos R\$ 4,3 bilhões a mais em termelétricas, e ainda assim, o sistema elétrico precisou produzir 15 mil megawatts (MW) a mais. Em maio deste ano, esse montante subiu para 16 mil MW, por isso é preciso conscientizar a sociedade sobre o uso racional da energia elétrica, além de tentar viabilizar e agilizar projetos que possam produzir e transmitir energia a fim de evitar o risco de desabastecimento (ANEEL, 2021).

A tecnologia fotovoltaica ajuda a mitigar as mudanças climáticas porque emite muito menos dióxido de carbono do que os combustíveis fósseis. A energia solar fotovoltaica tem vantagens específicas como fonte de energia; uma vez instalada, sua operação não gera poluição e nenhuma emissão de gases de efeito estufa, apresenta escalabilidade em relação às necessidades de energia e o silício tem grande disponibilidade na crosta terrestre. embora outros materiais necessários na fabricação de sistemas fotovoltaicos, como a prata, possam restringir o crescimento da tecnologia.

Os sistemas fotovoltaicos têm sido usados há muito tempo em aplicações especializadas como instalações autônomas e os sistemas fotovoltaicos conectados à rede estão em uso desde a década de 1990. A diminuição dos custos permitiu que o PV crescesse como fonte de energia. Isso foi parcialmente impulsionado pelo investimento maciço do governo chinês no desenvolvimento da capacidade de produção solar desde 2000. e na obtenção de economias de escala. Melhorias na tecnologia de fabricação e eficiência também levaram à diminuição dos

custos. Medição líquida e incentivos financeiros, como tarifas preferenciais de alimentação para eletricidade gerada por energia solar, têm apoiado instalações solares fotovoltaicas em muitos países. Os preços dos painéis caíram por um fator de 4 entre 2004 e 2011. Os preços dos módulos caíram 90% em relação à década de 2010.

3.3 Energias renováveis

As energias renováveis são o presente e, ao mesmo tempo, o futuro da produção mundial de eletricidade. O termo "renovável" incorpora a essência desse tipo de energia: a capacidade de estar disponível na natureza e se regenerar continuamente, sem intervenção humana, espontaneamente e em uma quantidade inesgotável. O Sol, a força dos ventos ou da água, o calor da terra: produzir energia renovável significa usar esses elementos, presentes na natureza de maneira abundante e generalizada, para gerar eletricidade. Uma energia que, comparada à produzida por fontes convencionais, é capaz de reduzir drasticamente o nível de emissões. Produzir cada vez mais energia renovável e abandonar as fontes convencionais é uma necessidade compartilhada por todos os países do mundo. Hoje em dia, a energia verde contribui com mais de um terço do total à produção mundial de eletricidade. (Enel; Green Power, 2019).

3.3.1 Hidrogênio verde

O hidrogênio (H) é o elemento mais comum no universo e o quarto elemento mais abundante no planeta Terra. No entanto, ele normalmente está associado a outros elementos químicos, formando moléculas, a exemplo da água (H₂O). Para a obtenção do combustível hidrogênio (H₂), faz-se necessário o uso de tecnologias apropriadas, demandando expressiva quantidade de energia no processo. (BNB, 2021).

Hidrogênio renovável é o produzido através da eletrólise da água (em um eletrodo, alimentado por eletricidade), e com a eletricidade proveniente de fontes renováveis. As emissões de gases de efeito estufa do ciclo de vida completo da produção do hidrogênio é praticamente zero. O hidrogênio renovável também pode ser produzido por meio do biogás (ao invés do gás natural). (BNB, 2021).

Para CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (2010, P. 22).

[...] Segurança energética e a redução dos impactos ambientais constituem os principais motivadores para a mudança de paradigma do setor energético. A

segurança energética é evidenciada uma vez que a possibilidade de obtenção de hidrogênio de várias fontes permite privilegiar as fontes locais de cada país, diminuindo ou evitando a importação de energia. Os impactos ambientais diminuem, já que a utilização do hidrogênio para geração de energia elétrica através de célula a combustível não produz gás de efeito estufa, gerando apenas água como subproduto. As emissões também são significativamente reduzidas na queima do hidrogênio em motores de combustão interna ou queimadores para a geração de calor. (CGEE, 2010).

3.3.2 Energia Eólica

“A energia eólica é energia cinética contida nas massas de ar em movimento” (VANNI, 2008). De acordo com KRUMMENAUER (2009), para transformar essa energia cinética dos ventos em energia elétrica são utilizadas máquinas denominadas de aerogeradores. A potência do vento é transformada em potência mecânica, quando há movimentação das turbinas eólicas. O conjunto é composto pela turbina eólica que é acoplada ao gerador através de um eixo. Quando ele entra em movimento ocorre a conversão eletromecânica de energia. “Para uma visão global da conversão da energia dos ventos em eletricidade, deve-se considerar os principais componentes, a seguir: turbina, gerador, caixa multiplicadora, sistemas de controle e torre”,

Mendonça (2014) comenta que a utilização da energia eólica é considerada uma tendência mundial por ser caracterizada como uma fonte de energia que gera poucos impactos, contribuindo com a preservação do meio ambiente. Além disso não requer água para sua produção, nem gera gases de efeito estufa, por isso é denominada a fonte de energia renovável mais promissora para produção de energia elétrica, em curto prazo

3.3.3 Energia solar

A energia solar fotovoltaica é obtida com a conversão da luz em eletricidade, tendo como base o efeito fotovoltaico. Essa conversão ocorre por meio de uma reação fotoquímica no interior dos painéis solares fotovoltaicos, que possuem células instaladas. Para melhor compreender o funcionamento dessas células é preciso entender que a luz é constituída por pequenas partículas chamada fótons (TOLMASQUIM, 2016).

O sol é uma das fontes de energia de fácil acesso ao homem, e sua energia pode ser transformada em energia elétrica através de células fotovoltaicas ou por sistemas termos solares. Nas células fotovoltaicas a eletricidade é gerada quando um material semicondutor dopado é exposto ao sol. Já no sistema termos solar a radiação solar é absorvida e convertida em calor, com o objetivo de aquecer um fluido, no qual acionara uma turbina por meio de um gerador, transformando a energia cinética em energia elétrica (NAKABAYASHI, 2014). “Os países que mais geram energia a partir de centrais solares e placas residenciais são, respetivamente, Alemanha, China, Itália, Estados Unidos e Japão” (PINTO, 2015).

3.3.3.1 Apresentação do sistema fotovoltaico conectados à rede elétrica

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede elétrica (SFCR) ou on grid/grid tie, são caracterizados como de grande porte (centrais fotovoltaicas) ou de pequeno porte (para edificações em áreas urbanas). O inversor trabalha paralelamente à rede de distribuição de energia elétrica da concessionaria, e por isso, devem funcionar exatamente dentro das normas exigidas pela mesma (BLUESOL, 2021).

Os SFCR precisam operar dentro de determinada faixa de atribuições que são: tensão (voltagem), frequência e suporte para detectar de a falta de energia. O funcionamento é proporcionado a partir do sistema de geração de energia solar, começando pelos painéis solares e a captação da radiação solar, que ao ser absorvida, é transformada em energia elétrica. Ao receber a carga proveniente dos painéis, o inversor converte em energia solar limpa a carga produzida pelos painéis, podendo ser prontamente consumida (BLUESOL, 2021). O sistema conta ainda com um quadro elétrico de proteção (string box) e sistema antissurto que garante a proteção do equipamento. O inversor, por sua vez, também controla automaticamente o sistema gerador, a energia gerada pode ser utilizada na unidade consumidora de imediato. Se porventura não houver geração no momento, automaticamente passa-se a utilização da energia da rede de energia da concessionária (SOLAR PRIME, 2019).

A geração fotovoltaica contribui amplamente para preservar o meio ambiente ao longo de sua vida útil evitando a emissão de gases de efeito estufa na medida em que substitui a eletricidade gerada por fontes poluentes e combustíveis fósseis, a exemplo do gás natural, carvão e óleo diesel utilizados nas termelétricas.

Pinho e Galdino (2014) define os sistemas on grid como “sistema on grid – na rede, em tradução livre do inglês – é designado aos sistemas fotovoltaicos que estão ligados à rede pública de distribuição. Sua principal vantagem é a liberdade e a segurança que esse modelo proporciona”. Dessa maneira, quando a produção de energia está em baixa, o sistema estará apto para utilizar a energia elétrica da rede proveniente da distribuidora e, quando ocorrer da produção ser maior do que o consumo, o excedente é revertido para a rede pública, se tornando crédito para os seus usuários. É preciso lembrar que por não precisar da ação de baterias, os sistemas on grid também costumam ter um valor de investimento menor (PINHO; GALDINO, 2014).

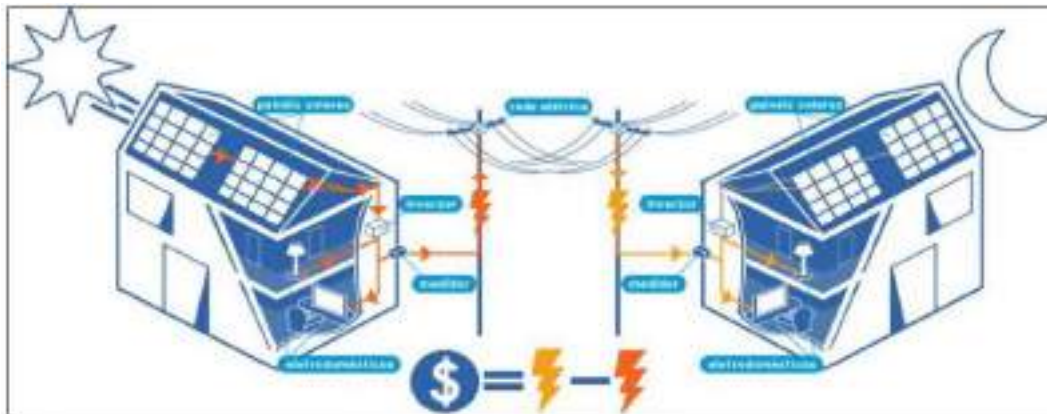
3.4 Comparação entre os dois tipos de sistema fotovoltaico

3.4.1 Sistema on-grid

O sistema on grid – na rede, em tradução livre do inglês – é designado aos sistemas fotovoltaicos que estão ligados à rede pública de distribuição. Sua principal vantagem é a liberdade e a segurança que esse modelo proporciona. O sistema solar on-grid possui o diferencial, por ter uma vida útil maior 25 anos em média e dispensar a utilização de baterias e controladores de carga, tornando-o 30% mais barato e eficiente em relação ao off-grid. Esse tipo de sistema garante que a energia seja utilizada tanto para consumo local quanto em outro ponto da rede elétrica. Permitindo também a compensação de créditos utilizando o excedente do que as placas produziram, sem falar no baixo custo para reparos sendo necessário apenas uma limpeza com água e sabão neutro, que deverá ser feita de acordo com o clima e o nível de poluição da local onde essas placas tenham sido instaladas.

A principal vantagem dessa configuração é o baixo custo e sua desvantagem concentra-se no risco de que, se caso em caso de uma pane, toda a instalação fica comprometida. Essa configuração também não permite que o sistema possa atingir seu ponto máximo de potência e seja independentemente da série de arranjos, afetando diretamente, dessa forma, o rendimento de todo o sistema (RAMPINELLI; KRENZINGER; ROMERO, 2013). Na data pré-estabelecida é realizada a leitura do medidor onde será apurada a diferença entre a energia que foi consumida e a energia excedente que foi aproveitada pela rede da concessionária. A partir daí, então, é apurada a diferença que se apontada como maior que o consumo, será adicionada como crédito.

Figura 2 - Geração de energia elétrica conectado à rede pública de energia.



Fonte: ECO CASA – Tecnologias Ambientais (2015).

3.4.2 Sistema Off-grid

Já no sistema solar fotovoltaico off grid, denominado como sistema fotovoltaico isolado, a energia é fornecida diretamente aos aparelhos elétricos, fazendo com que a energia seja fornecida de forma permanente, o que acarreta transtornos por causa das variações provenientes dos sombreamentos. Dessa forma, é preciso o uso de um banco de baterias que terão, por função, a estabilização da energia enviada aos aparelhos elétricos. Como a noite não há geração de eletricidade pelos painéis solares, toda a energia utilizada pelos equipamentos elétricos virá diretamente das baterias durante esse período. As características das baterias juntamente com as do gerador fotovoltaico, potencializa o rendimento do conjunto fazendo com que os acumuladores tenham maior longevidade, faz-se ainda necessário a instalação de um controlador de carga a fim de ocasionar descargas excessivas nas baterias (BLUESOL, 2017).

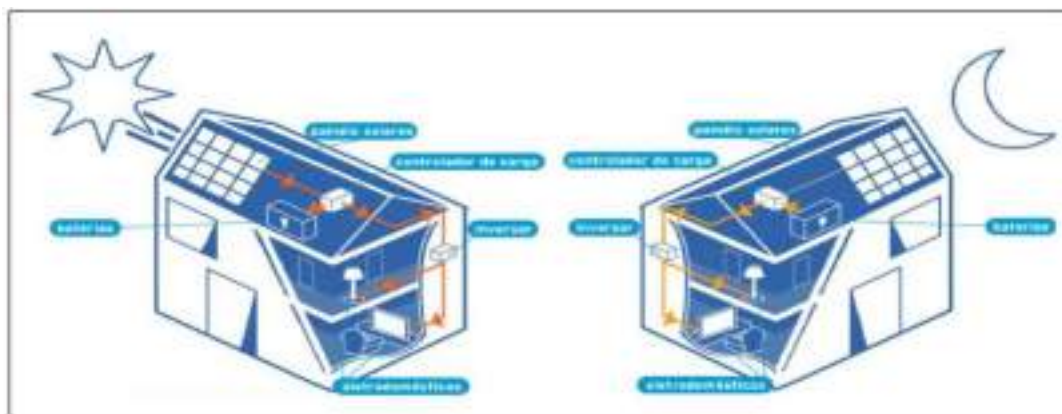
Os sistemas fotovoltaicos off grid pode ser de duas naturezas autônomas: com ou sem bancos de baterias. O primeiro sistema pode ser utilizado para carregar baterias de veículos elétricos, na iluminação pública e até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis, enquanto o segundo, além já ser utilizado costumeiramente no bombeamento de água, também pode ser utilizado para telefones públicos de rodovias, uma vez que, não necessita de baterias para armazenamento de energia.

No sistema fotovoltaico isolado, o uso de acumuladores (dispositivos de armazenamento de energia) torna-se necessário uma vez que é preciso atender a necessidade

de abastecimento durante os períodos em que não há geração de energia ou a geração é insuficiente, como por exemplo: à noite ou em dia com pouca incidência solar, como dias chuvosos ou nublados. Dessa maneira, parte da energia gerada pelos módulos fotovoltaicos captada durante o dia, é armazenada pelas baterias para que seja suprida a demanda quando necessário (PINHO; GALDINO, 2014).

É importante frisar que a execução da instalação dos dois tipos de sistema segue um padrão de qualidade, segurança e normas técnicas, de acordo com a resolução 482/2012 da ANEEL. As normas NR10 e NR35 são observadas também no que concerne a mão de obra e de instalação. A ANEEL determina que a concessionária faça a troca do medidor comum pelo bidirecional (ANEEL, 2012).

Figura 3 – Geração de energia elétrica autônomo



Fonte: ECOCASA – Tecnologias Ambientais (2015).

3.5 Painéis fotovoltaicos

Um painel fotovoltaico é uma placa que capta energia solar. Sendo utilizada para converter a luz do sol, em energia elétrica, sendo formada por células solares fotovoltaicas. Dessa forma ela é responsável por absorver energia vinda do sol e podendo gerar eletricidade em duas camadas opostas. Tornando-se uma ótima alternativa para a geração de energia limpa, os painéis que capta energia solar funcionam da seguinte forma: são absorvidos os fótons da luz solar e são convertidos em corrente elétrica. Desta maneira, a energia captada por meio dos painéis fotovoltaicos pode ser utilizada de diversas funcionalidades, podendo ser em residências, comércios, indústrias e até mesmo na iluminação de espaços públicos. É interessante ressaltar que os painéis fotovoltaicos possuem mínima manutenção, o que

contribui para a sua lista de benefícios no momento de escolha do seu projeto. Podendo durar anos e não agredem o meio ambiente, servindo também como uma solução para o aquecer água. (PORTAL SOLAR;2014)

Figura 4 – Composição do painel fotovoltaico.



Fonte: Silva, 2021.

3.5.1 Eficiência dos painéis fotovoltaicos

No momento que falamos sobre eficiência energética do painel solar fotovoltaico (placa fotovoltaica), estamos falando na porcentagem, na porcentagem de energia do solar que atinge a parte frontal do painel fotovoltaico e é transformada em energia elétrica, sendo utilizada no nosso consumo.

Quanto maior for a porcentagem, maior é eficiência do painel fotovoltaico, mais Watts por m² o seu sistema vai produzir. Quanto maior for é a eficiência do painel fotovoltaico, menor será o painel para a mesma produção de energia.

Constatando que 1000 Watts atinja o painel fotovoltaico por hora, um painel fotovoltaico (placa fotovoltaica) com eficiência de 16,5% irá produzir 165Watt / hora por m² (o teste sendo feito em laboratório). Outros fatores devem ser considerados, como: temperatura, direção-posicionamento do painel etc.). (PORTAL SOLAR;2014)

3.5.2 Componentes do sistema fotovoltaico

3.5.2.1 Painel monocristalino

A tecnologia usada na produção do painel monocristalino é a mais antiga e tem a eficiência mais elevada. Os painéis fotovoltaicos de silício monocristalino, são reconhecíveis olhando de perto. Possui uma cor uniforme, mostrando silício de alta qualidade e cantos arredondados.

São produzidos a partir de um único cristal de silício ultrapuro, (lingotes de silício), é fatiado como, lâminas de silício individuais, são então tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. A célula fotovoltaica em forma de círculo todos seus lados cortados fora para melhorar o espaço disponível no painel solar monocristalino e aproveitar ainda mais a área do painel. O painel é composto por uma matriz de células fotovoltaicas em série e paralelo: Eficiência do painel é de 15 – 22%. (PORTAL SOLAR; 2014)

Vantagens

- Tem a eficiência mais alta dentre as tecnologias comercialmente viáveis. 15% e 22%; (PORTAL SOLAR; 2014)
- Ocupam menor espaço. Painéis solares possuem uma eficiência maior desta forma, eles precisam de menos espaço para gerar a mesma quantidade de energia.
- A maior vida útil, 30 anos, garantia de 25 anos;
- Funcionar melhor do que policristalinos em condições de pouca luz.

Desvantagens

Os Painéis fotovoltaicos monocristalinos custam mais caros. Do que um painel solar que é produzido de silício policristalino

- O processo Czochralski usado para na produção do silício monocristalino ficam em grandes lingotes cilíndricos. Os 4 lados são retirados dos lingotes para fazer as lâminas de silício, uma quantidade considerável do silício não é aproveitada naquela célula e precisa ser reciclado.

3.5.2.2 Pannel policristalino

Os primeiros painéis solares à base de silício policristalino, foram introduzidos no mercado em 1981. O mono e policristalino são de silício, a diferença entre eles é a utilizada na dos cristais. O policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, preservando a formação de múltiplos cristais (por isso o nome policristalino). Quando este bloco é cortado e fatiado, podemos observar esta formação dos cristais. (PORTAL SOLAR; 2014)

Depois de fundido, eles são cortados em blocos quadrados e, depois, fatiados em células igual ao monocristalino, mas é mais fácil de produzir. Eles são parecidos ao de um único cristal (monocristalino), e as células são menos eficientes. Eficiência média de: 14 – 20%.

Vantagens

- O resíduo gerado durante o processo de corte das células fotovoltaicas é menor em comparação com o monocristalino;
- São mais baratos que os painéis monocristalinos;
- A vida útil de 30 anos, com garantia de 25 anos.

Desvantagens

- A eficiência é 14 e 20%, porque é menos puro. (PORTAL SOLAR; 2014)
- Menor quantidade de Watts/hora por m². necessita de uma área maior para gerar a mesma quantidade de Watts/m² que o painel monocristalino.

3.5.2.3 Filme fino

Possui várias camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato é a essência básica dos painéis de filme fino. Eles são conhecidos por suas células fotovoltaicas de película fina.

Os painéis de filme fino têm eficiência de: 7-16%. Em 2015, os painéis fotovoltaicos que utilizam a tecnologia de filme fino representam aproximadamente 20% do mercado

mundial de painéis solares fotovoltaicos. Sendo a maioria de silício cristalino. (PORTAL SOLAR; 2014).

Vantagens

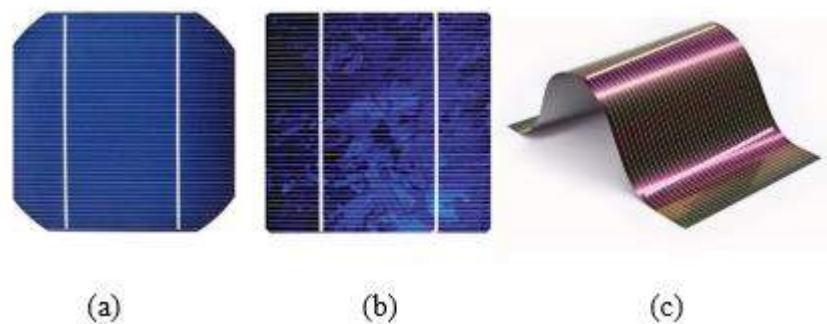
Podem ser produzidos em massa, sendo mais baratos de fabricar do que as células solares de base cristalinas.

- Aparência homogênea deixa o painel bem bonito.
- Pode ser flexível, o que abre muitas possibilidades nas aplicações.
- Em relação a altas temperaturas e sombreamentos, geram menos impactos nesse tipo de painel.

Desvantagens

- Tendem a degradar muito mais rapidamente do que os painéis solares mono e policristalinos e tem uma garantia mais curta.

Figura 5 – (a) monocristalina; (b) policristalino; (c) filme fino.



Fonte: Silva, 2021.

3.5.3 Inversores: Transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), a corrente alternada é que usamos nos equipamentos na nossa residência. Sem o inversor não poderíamos usar a energia vinda das placas com facilidade.

3.5.4 Estruturas de fixação: A estrutura de fixação tem papel de estabilizar e sustentar os painéis fotovoltaicos e deixando eles em uma inclinação para melhor receber a luz solar.

3.6 Garantias dos componentes

Os sistemas fotovoltaicos como um todo possuem garantias de grande longevidade, sistemas que garantem uma grande performance por mais de 25 anos e o payback de 3 a 6 anos (tempo de retorno do valor investido). (GLOBO BRASIL, 2019)

3.6.1 Garantia do painel solar

A maioria dos fabricantes seguem um padrão mundial de 25 anos de garantia.

Os fabricantes garantem que a degradação dos módulos esteja sempre acima da degradação mínima estipulada pelas empresas produtora do material. (GLOBO BRASIL, 2019)

3.6.2 Garantia dos Inversores

É a peça-chave do sistema, é o equipamento que recebe a tecnologia mais complexa do sistema, responsável por transformar a corrente contínua enviada dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada. (GLOBO BRASIL, 2019)

É um equipamento delicado e tem garantias que varia entre: 5 a 10 anos, dependendo do fabricante. É necessário que o usuário faça acompanhamento do equipamento e manutenções periódicas. (GLOBO BRASIL, 2019)

3.6.3 Garantia da Estrutura de Fixação

As estruturas para fixação dos painéis fotovoltaicos devem ser produzidas com um material de alta qualidade, a estrutura deve ser projetada para suportar peso, grandes ventos, suportar as temperaturas altas e baixas, ter proteção contra corrosão pois ficam expostas ao sol, chuva, calor e frio. A maioria das estruturas são feitas de alumínio ou aço inoxidável. (GLOBO BRASIL, 2019)

A garantia aplicada as estruturas de fixação, ficam em torno de 10 anos, mas uma estrutura de boa qualidade pode ter vida útil de décadas da mesma forma que módulos fotovoltaicos. A instalação também deve ser de boa qualidade. (GLOBO BRASIL, 2019).

3.7 Tipos de manutenção

Em comparação com outras instalações de geração de energia elétrica, o sistema fotovoltaico apresenta menor exigência de manutenção, desde que esteja devidamente projetada. Dessa forma, se deve ao fato deste sistema não ser constituído, em sua grande maioria, de partes móveis sendo submetidas a desgastes, além de não precisar lubrificação. Esta vantagem comparativa, a manutenção é fundamental para assegurar uma melhor performance do sistema. Não é suficiente ter um bom projeto de engenharia usando equipamentos de qualidade, a adoção dos procedimentos adequados de instalação de um sistema fotovoltaico é de fundamental para a redução dos custos com a manutenção.

3.7.1 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva do sistema fotovoltaico consiste no monitoramento da sua produção de energia, monitorando as quedas de desempenho com inspeção visual dos todos equipamentos, o painel solar, inversor e cabos, para detectar ainda na fase inicial os indícios de danos, como arranhões, manchas ou rachaduras nos painéis.

Muitas vezes feita pelo próprio dono do sistema sendo possível reduzir os gastos com manutenção, a inspeção visual de algum dos equipamentos e fazendo o acompanhamento da geração de energia do sistema, que pode ser feita de várias maneiras, computador, celular ou tablet através do software de monitoramento de energia integrado com a do inversor. (PINTO e XAVIER,2007).

Estrutura de fixação:

- Verificação de oxidação;
- Inspeção e alinhamento da mesa (usina de solo);
- Verificação dos grampos de fixação;
- Amostragem e verificação do torque das conexões e parafusos;
- Verificação do aterramento.

String box:

- Verificar conectores;

- Verificar os cabos;
- Verificar sinais de superaquecimento e arco elétrico;
- Verificar o aterramento;
- Fazer o reaperto.

Cabos e conectores:

- Verificar os conectores da placa;
- Verificar os terminais dos cabos de baixa tensão;
- Teste de isolamento dos cabos de baixa tensão.

Inversores:

- Verificar o ambiente físico (caso esteja num ambiente hostil é importante verificar como está o ambiente ao redor do mesmo (se há muita incidência de calor, se tem algo algum objeto ou estrutura bloqueando-o...));
- Limpeza do ventilador, grade, trocador de calor, filtro;
- Inspeção geral quanto à danos ou rompimentos;
- Verificar vedações e presença de umidade;
- Verificar sinais de sobreaquecimento e arcos elétricos;
- Medir a tensão com multímetro;
- Verificar proteções elétricas;
- Verificar a integridade da entrada de cabos e prensa cabos;
- Verificar e registrar a versão do firmware.

Módulos fotovoltaicos:

- Verificação da parte traseira quanto à danos;
- Verificação das células quanto às rachaduras, oxidação, bolhas, corrosão;
- Verificação da moldura;
- Verificação da proteção mecânica (vidro);
- Verificação dos isolamentos e conexão dos cabos;

– Análise da Curva I-V.

3.7.2 Manutenção preventiva

Já na manutenção preventiva do sistema de energia fotovoltaico, engloba a limpeza periódica das placas solares, a higienização do inversor e uma inspeção completa de todos os componentes elétricos módulos como: inversor e conectores; e mecânicos como: suportes e estrutura de fixação para otimizar o desempenho, visualizar/reparar danos e melhorar a vida útil dos equipamentos.

Sendo necessário subir no telhado, o dono do sistema pode realizar a limpeza do painel solar seguindo os cuidados necessários, ou pode contratar os serviços de empresas especializadas, que contam com equipe certificada (NR 10 e NR 35), equipamentos de segurança e ferramentas adequadas para realizar o serviço.

Verificar:

- O estado geral do inversor;
- Os vedantes das tampas de caixas e entradas de cabos;
- A existência de possíveis cabos danificados e desligue e ligue o inversor para se certificar se ele está funcionando corretamente.
- Das proteções elétricas;
- Do estado do inversor, bem como limpeza da ventilação do inversor;
- Do estado dos painéis e de todas as suas ligações;

3.7.3 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva do sistema solar é feita somente em casos de falhas ou defeitos, de algum de seus componentes, quando se nota uma queda substancial na produção ou parada do seu funcionamento e precisa acionar uma empresa para realizar o diagnóstico e reparar o dano ocasionado. A ideia de uma manutenção corretiva, é resolver a situação problemática que se criou por um problema presente no equipamento ou sistema., se uma peça do sistema quebra ou para de funcionar parcialmente, afetando assim, a principal função é necessária intervir com um serviço de manutenção corretiva. (PINTO e XAVIER,2007).

- **Manutenção Corretiva Não-planejada:** Esse modelo de manutenção normalmente acontece depois de uma falha ou de uma perda de desempenho de um determinado equipamento, não havendo tempo para que haja uma preparação dos fatos. Este tipo de manutenção mesmo gerando todo o transtorno de algo não esperado, ainda é muito praticado nas manutenções atualmente, a manutenção corretiva não planejada é caracterizada pela falta de atuação das outras manutenções. (PINTO e XAVIER,2007).
- **Manutenção Corretiva Planejada:** É uma correção do desempenho inferior do que o que se esperava ou da falha, por uma decisão gerencial, foi feito o acompanhamento dessa situação de pela manutenção preditiva e foi optada por seguir dessa forma até a quebra, mas isso já foi previsto e já temos uma solução. (PINTO e XAVIER,2007).

3.8 Equipamento x tipo de manutenção

A diminuição de custos provenientes das ações de manutenção é obtida através da identificação de uma melhor estratégia para cada componente do sistema.

Tabela 1 – Equipamento x Tipo de manutenção.

Equipamento	Estratégia
Módulos fotovoltaicos	Preditiva/Preventiva
Conectores	Preventiva
Cabos elétricos CC	Preventiva
Stringbox	Preventiva/Corretiva planejada
Estrutura de fixação	Preventiva
Inversor fotovoltaico	Preditiva/Preventiva
Quadro geral de baixa tensão	Preventiva/Corretiva planejada
Transformador de potencial	Preditiva/Preventiva
Subestação de proteção e medição	Preventiva

Fonte: autor

3.4 frequências da manutenção do sistema fotovoltaico

Acredita-se que a limpeza deverá ser feita anualmente. Ou em outros lugares onde não chove muito e tem muita poeira, de 6 em 6 meses. Olhando para os seus painéis fotovoltaicos e verificando que eles estão muito sujos, já está na hora da limpeza. À medida que os painéis ficam mais sujos, sua produção vai diminuindo. Uma pequena quantidade de sujeira, como por exemplo uma camada fina de poeira, poderá causar perda na produção de energia do

painel solar, chegando em até 5%. Quando os painéis solares ficam “encardidos”, a perda de geração de energia fotovoltaica pode ser maior a 20%. (PORTAL SOLAR; 2014).

Figura 6 – Métodos de limpeza

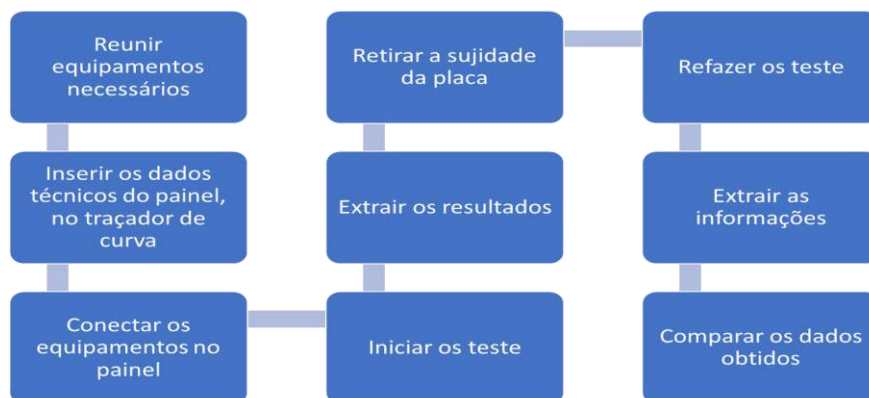


Fonte: Energês.

4. METODOLOGIA

Na figura seguinte é apresentado um fluxograma das ações que será realizada, a fim de ilustra de forma clara da forma que se decorreu os testes.

Figura 7 – Fluxograma



Fonte: Autor.

4.1 Local de estudo, Senai da barra

O local onde será feito o estudo de caso, SENAI da Barra do Ceará, localizado em Av. Francisco Sá, 7221 - Barra do Ceará, Fortaleza - CE, 60330-875. O SENAI Barra do Ceará

iniciou oficialmente suas atividades no dia 28 de fevereiro de 1975 e, desde então, vem buscando atender à evolução do setor industrial, desenvolvendo programas de Educação Profissional.

Um dos melhores centro de capacitação profissional de fortaleza, contando com apoio professores extremamente capacitados e com o reconhecimento perante a sociedade muito grande. Lá se encontra uma estação de produção de energia com 66 painéis solares que são usadas para ministra cursos voltados para a área de energia fotovoltaica.

Figura 7 – Local de estudo SENAI – Barra do Ceará



Fonte: Google Earth

Todos os 66 painéis presentes na estação, são do tipo policristalinos , marca GCI SOLAR, modelo type: GCL-P6/72330.

Figura 8 – Estação dos Painéis



Fonte: autor.

4.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

4.2.1 Traçador de Curva I - V (tensão x corrente)

O traçador de curva I-V é capaz de realizar medidas de tensão e corrente nos sistemas fotovoltaicos, informado ao usuário os valores de corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto e máxima potência do módulo ou do conjunto de módulos analisado.

Figura 10 – Traçador de Curva



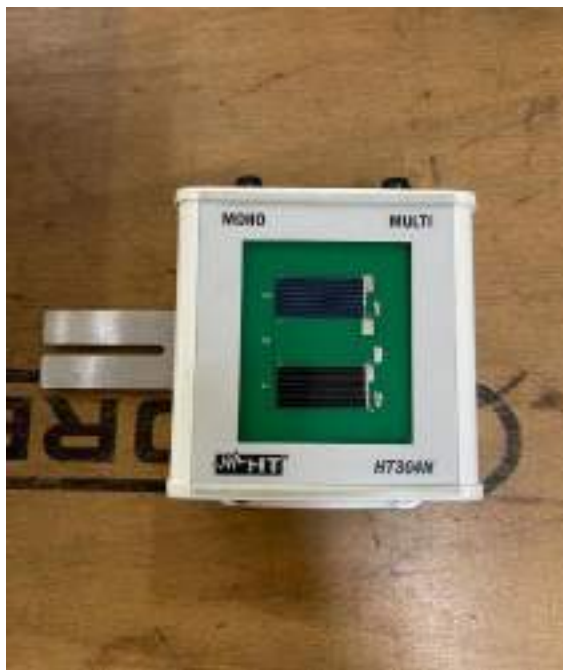
Fonte: Autor.

4.2.2 Medidor de irradiância

É possível mensurar os principais parâmetros elétricos de um módulo ou de uma placa fotovoltaica em duas parametrizações diferentes, em OPC (operation conditions), ou seja, as condições ambientes de operação do elemento sob medida e também em STC (standard test conditions) ou seja, irradiância de 1000 W/m² e temperatura operacional de 25 °C).

Para apresentar resultados de medição em STC o equipamento realiza a normalização dos valores de corrente, tensão e potência medidos nas condições operacionais. Isso significa que os valores de corrente e tensão obtidos experimentalmente são corrigidos a partir dos valores de irradiância e temperatura registrados quando as medições elétricas são realizadas.

Figura 11 – Medidor de Irradiância



Fonte: Autor.

4.2.3 Medidor de Sombreamento

Esse equipamento faz uma análise a partir dos dados inseridos nele e identifica qual parte do painel vai sofrer sombreamento durante um período de 1 ano.

Figura 12 – Medidor de sombreamento



Fonte: Autor.

4.3 Testes realizados

A dinâmica dos acontecimentos será da seguinte forma, a placa da Figura 12, foi limpa, com água sabão, panos de microfibras, e a placa da figura 16, está suja, já tendo se passado 6 meses da última manutenção, ambas exposta com a mesma inclinação e no mesmo suporte, para garantir e evidenciar que a diferença de eficiência energética possa ser observada de maneira clara e evidente.

Foi instalado o medidor de irradiância na lateral a esquerda da placa, o traçador de curva também tem um sensor de temperatura, que por sua vez foi posicionado na parte de baixo do painel, ambos os equipamentos ligados e conectados, foi inserido no traçador de curva os dados da placa e os dados do medidor de irradiância. Demos início aos testes.

O 1º teste foi feito com a placa sem nenhuma interferência e foi apresentada os seguintes resultados no traçador de curva.

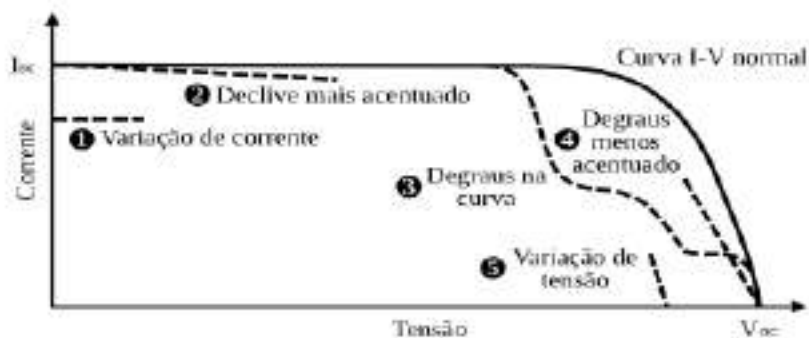
Figura 13 – Situação da placa em ótima condição.



Fonte: autor.

Antes de seguir com o resultado do traçador de curva de cada uma das placas, é importante mencionar sobre a leitura da curva I-V, presente na NBR 16274.

Figura 14 – Curva I-V NBR 16274



Fonte: NBR 16274

Aquisição da curva I-V deve ocorrer, preferencialmente, em um intervalo de tempo superior a 20 ms e inferior a 100 ms; Medição da curva I-V do arranjo fotovoltaico, realizada com equipamento específico em condições de irradiância de pelo menos 700 W/m². Tem o objetivo de identificar módulos e células danificados, diodos de bypass curto-circuitados, sombreamento localizado, resistência paralela excessiva e resistência série excessiva.

Figura 15 – Curva I-V da placa em ótima manutenção



Fonte: Autor.

Na figura 9, podemos observar as seguintes informações: 11,2 Amper e 46 Volts.

A próxima foto, figura 16, é de uma placa que apresenta falta de manutenção. Está em para a mais de 6 meses.

Figura 16 - Placa sem manutenção.



Fonte: Autor.

Durante o período de chuva, essa vegetação acaba subindo pela estrutura da placa, fazendo com que atrapalhe a captação de luz solar, gerando sombreamento em algumas partes da placa. Mas antes de ser feito o teste foi retirada essa sujeira de cima da placa. Não somente nesse caso específico, outros muitos tipos de objeto podem causar esse tipo problema na produção de energia, como: folhas, materiais plásticos, fezes de aves, entre outros.

Figura 17 – Curva I-V da placa sem manutenção.



Fonte: Autor.

Na figura 16, podemos observar as seguintes informações: 6,7 Amper e 42 Volts. Um valor de 40,1% mais baixo em Amper, e 8,7% mais baixo em Volts, do que a placa feita a manutenção.

5. RESULTADOS

Comentários sobre as manutenções

- Para a manutenção dos cabos elétricos de corrente contínua e dos conectores, presentes no sistema, e devido o grande volume de equipamentos utilizados na instalação e de sua importância para a geração, a estratégia que deve ser adotada é avaliar preventivamente o estado do isolamento de todas as conexões.
- Orientando-se pelos custos dos equipamentos, a escolha da manutenção corretiva planejada para os componentes como: fusíveis e dispositivos de proteção contra surto de corrente contínua. Correlativamente, os dispositivos de proteção contra surto do quadro geral de baixa tensão precisam de manutenção corretiva não-planejada, já para os disjuntores de corrente alternada presentes nos inversores e conexões é recomendada a manutenção preventiva.
- Sem essa manutenção periódica de limpeza, os painéis fotovoltaicos podem apresentar perdas consideráveis e significativas em um curto período, e a longo prazo, a falta dessa manutenção pode acelerar os desgastes destes equipamentos, resultando em falhas ou até mesmo a necessidade de uma manutenção corretiva ou substituição, gerando gastos não previsto anteriormente pelo cliente, gerando prejuízos e tornando o investimento não tão vantajoso.

Na figura 18, podemos observar com maior clareza a diferença entre uma placa limpa, e outra com sujidade, de acordo com, (Silva, 2018).

Figura 18 – sujo/limpo



Fonte: Silva, 2018.

Os processos de limpeza desses painéis devem seguir a figura 19, para a segurança que está executando os serviços, de modo que, essa manutenção não traga danos ao painel fotovoltaico.

Figura 19 – Limpeza do sistema.



Fonte: Energês, 2021.

Na figura 20, podemos ver a placa com sua proteção de vidro deficiente, estando parcialmente trincada, e com infiltrações em decorrência de chuva e umidade que recai sobre ela. Nesse caso específico, já foi identificado esse problema, e a mesma se encontra ligada separada das outras placas, para evitar problemas como superaquecimento e curto entre as células.

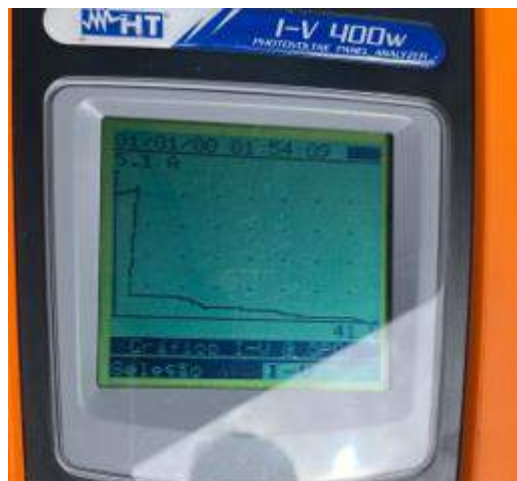
Figura 20 – Manutenção corretiva planejada



Fonte: autor.

Na figura 21, podemos ver o resultado gerado pelo traçador de curva, com um resulta de 5.1 Amper, e 41 Volts

Figura 21 – placa em manutenção corretiva planejada

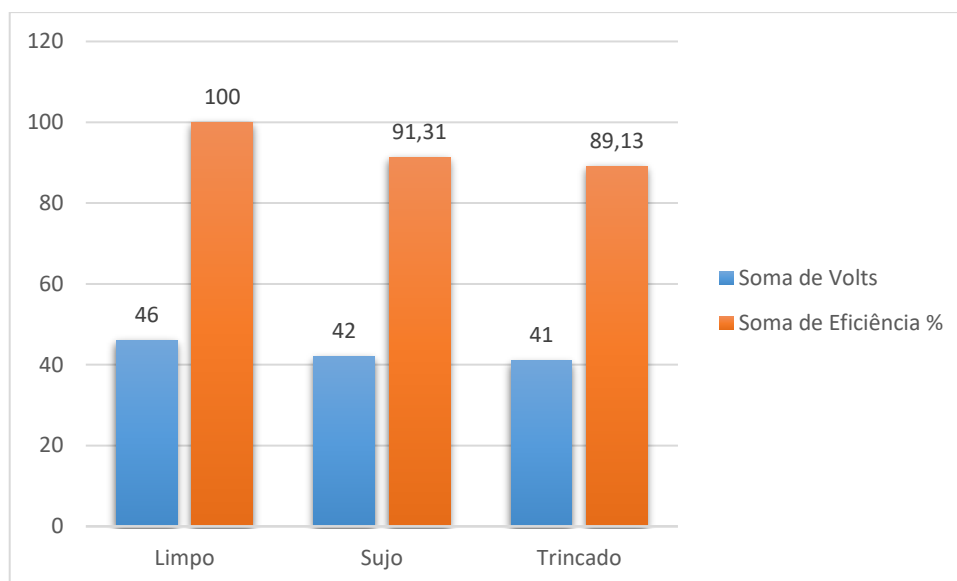


Fonte: autor

É nítido a diferença da curva I-V, em comparação com as outras duas placas (figura 13 e figura 16), neste caso, se tem conhecimento do estado da placa, mas está em manutenção corretiva planejada, não tendo mais condições de aplicação de nenhum outro tipo de manutenção apenas a esperar até a falha ou até a data prevista para substituição. Um fator importe a se ressaltar é que ela ainda dispõe de um padrão regular de produção de energia.

A placa apresenta um valor de 41V, com uma perda de 11% em relação a placa limpa e em boas condições. O grande problema é que pelo elevado nível de deterioração da placa, pode ocorrer diversos problemas, como superaquecimento e curto entre os diodos da placa, caso a placa estiver conectada a várias outras, poderá até mesmo suspender a geração de energia de todas elas, a depender do esquema de ligação.

Figura 22 – Gráfico de eficiência



Fonte Autor.

6. CONCLUSÃO

Ficou evidenciado através da análise da situação hídrica brasileira e da contextualização da crise hídrica como fator encarecedor dos serviços de abastecimento elétrico, que um olhar sustentável, a longo prazo, pensando em oferecer qualidade de vida, além da responsabilidade ambiental acerca desta problemática, é uma preocupação de todos.

É nosso dever procurar na indústria da construção civil buscarmos da melhor maneira possível trazer nossas obras para o tripé fundamental: ambiental, financeiro e social, embora que ainda não tenhamos grandes incentivos governamentais para desenvolvimento de energias limpas. Os sistemas fotovoltaicos são extremamente atraentes, uma vez que torna possível a geração da energia elétrica que se consome, sem produção ou consumo de resíduos ou gases poluentes geradores do efeito estufa e do aquecimento global.

A Engenharia Civil pode atuar como protagonista neste sentido, incentivando a implementação dos sistemas fotovoltaicos como uma alternativa viável, sustentável e econômica frente a este cenário crítico pelo qual o Brasil tem passado. Tornar essa tecnologia conhecida e incentivar sua implementação em projetos é uma ação que, certamente, trata o problema de forma mais sistemática.

É de extrema importância de todo o sistema fotovoltaico, a fim de garantir sua eficiência energética, que sejam feitas manutenções periódicas, verificando cada particularidade do ambiente, a fim de melhorar performance energética, sendo sempre que possível executar manutenções preditivas ao invés de chegar ao ponto de se usar uma manutenção corretiva. A partir dos estudos realizados a aferição da sujidade tem um impacto real na eficiência da geração de energia, diante das medições obtidas pelo traçador de curva, fatores externos e meteorológicos tem interferência direta na eficiência e na geração final da produção de energia dos painéis fotovoltaicos. Verificou-se que se mantendo a estabilidade dos parâmetros climáticos pode se atribuir uma eficiência considerável de potência máxima obtida do inversor, após a utilizar materiais simples como pano e água para a limpeza dos painéis, diante dos resultados obtidos pelo traçador de curva I-V que é a limpeza aumentou o rendimento em 8,69% do sistema.

Já na situação da placa trincada, a eficiência ficou em torno de 89% em comparação com a placa limpa e em bom estado de conservação, a placa apresenta um desempenho regular mesmo estando completamente trincada, e com infiltrações em todas as camadas do painel, É importante ressaltar que o fabricante não recomenda o uso da placa trincada, pois podem ocorrer superaquecimento e curtos-circuitos.

Conclui-se que as manutenções, sendo ela preditiva, preventiva ou corretiva, está diretamente relacionada com a eficiências de todo o sistema, principalmente quando falamos dos painéis fotovoltaicos. Ao instalar um sistema complexo como este, mesmo deixando todos os processos automatizados, é de suma importância fazer o acompanhamento dos resultados de geração de energia, dessa forma, ficará evidente quando os painéis precisarem de uma manutenção, quanto maior a frequência dessas manutenções, acarretará e resultados mais estáveis de geração. Principais benefícios: otimização da eficiência do sistema solar fotovoltaico, potencialização dos ganhos financeiros, extensão da vida útil dos equipamentos e proteção contra defeitos e perda de garantia.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Mudança regulatória traz desequilíbrio ao consumidor de energia solar distribuída. 2019. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/>. Acesso em: 09 mar 2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/>. Acesso em: 30 mar 2022.

Agenda Regulatória 2021-2022. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracaodistribuida> Acesso em: 02 mar 2022.

Portaria nº 6.689, de 1 de setembro de 2021. Disponível em PDF em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt20216689.pdf> Acesso em: 01 mar 2022.

Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/> Acesso em: 02 abril. 2022.

BLUESOL. Sistemas fotovoltaicos isolados. 2021. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/diferenca-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 02 abril. 2022.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Pesquisa bibliográfica. Energia Renovável. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL, 2021, Ministério de Minas e Energia. **Escassez Hídrica e o fornecimento de energia elétrica no Brasil.** Disponível em PDF em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-deimprensa/noticias/Documents/infogr%c3%a1fico.pdf>. Acesso em: 03 abril. 2022.

Legrand Disponível em: https://www.legrand.com.br/sites/default/files/perfil/folhetosensores_0.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Monitoramento de secas e impactos no Brasil.** 2020. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/categoria/cemaden/> Acesso em: 08 abril. 2022.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). **Sistema Nacional de Meteorologia (SNM) emite Alerta de Emergência Hídrica.** 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/sistema-nacional-de-meteorologia-snm-a> Acesso em: 10 abril. 2022.

ECOCASA – TECNOLOGIAS AMBIENTAIS (Limeira). Energias renováveis: energia fotovoltaica. Disponível em: <http://www.ecocasa.com.br/energia-solar-fotovoltaica.asp>. Acesso em: 20 abr. 2022.

VANNI, S. R. Estudo da viabilidade econômica de fontes alternativas de energia de uma comunidade típica da região nordeste do Brasil. 2008. 167f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2008.

ONS (Operador Nacional de Sistema Elétrico). Boletim semanal de operações de sistemas fotovoltaicos. 2021. Disponível em: <http://sdro.ons.org.br/>. Acesso em 08 mai. 2022

ELETROBRAS, Custo da Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com.br>> Acesso em 22 de abril de 2022.

NAKABAYASHI, R. K. Micro geração Fotovoltaica no Brasil: Condições atuais e perspectivas futura. 2014. 107f. Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

KRUMMENAUER, Leandro. Fontes alternativas e renováveis para geração de energia elétrica. 2009. 75f

ONM - Organização Meteorológica Mundial (ONU). Concentração de gases de efeito estufa atinge recorde. 25. Out. 2021 Disponível: <https://news.un.org/pt/story/2021/10/1767782>. Acesso em: 08 mai. 2022

Enel Green Power Disponível: <https://www.enelgreenpower.com/>. Acesso em: 11 julho 2022

OLIVEIRA, S. H. F. Geração Distribuída De Eletricidade: Inserção De Edificações Fotovoltaicas Conectadas à Rede No Estado De São Paulo. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: http://www.iee.usp.br/lsf/sitesdefault/files/Doutorado_Sergio_Ferreira_Oliveira.pdf . Acesso em: 10 mai. 2022.

OLIVEIRA, J; BALDIM, M; CARPENTIERI, V. Energias alternativas e renováveis: Energias de hidrogênio, dos mares e das ondas. 2010. 63f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em www.cresesb.cepel.br. Acesso: 08 mai. 2022.

PORTAL SOLAR Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/> . Acesso: 08 mai. 2022.

RAMPINELLI, G. A.; KRENZINGER, A. e ROMERO, F. C. **Descrição E Análise De Inversores Utilizados Em Sistemas Fotovoltaicos.** Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol.15, nº 1, Jan/Jun 2013. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/>. Acesso em: 10 mai. 2022.

LAITHYENTSAL, A. A inovação e a importância das construções sustentáveis. 2013. 47f. Monografia (Graduação em Administração). Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2013.

PINTO. C. et al; Energia solar. 2015. 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Porto, 2015.

SOLAR PRIME. Sistemas fotovoltaicos. 2019. Disponível em: <https://www.solarprime.com.br>. Acesso em: 13 mai. 2022.

VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos E Aplicações - Sistemas Isolados E Conectados à Rede. 2 ed. - São Paulo: Erica, 2012. Acesso em 14 mai. 2022.

MENDONÇA - JUNIOR, F. D. Viabilidade técnica/econômica para produção de energia eólica, em grande escala, no Nordeste brasileiro. 2009. 53f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MOTTA, Regis da Rocha; CALÔBA, Guilherme Marques. Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais. São Paulo: Atlas, 2002.

Solutudo Disponível em: <https://www.solutudo.com.br>. Acesso em: 10 Jun 2022

PORTAL SOLAR: Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-manutencao-do-painel-solar>. Acesso em: 10 set 2022

BNB Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482dspace/bitstream/123456789/1109/1/2021_CDS_2_12.pdf. Acesso em: 07/11/2022.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/>. Acesso em: 17 dez. 2022.

GLOBO BRASIL 2019 Disponível em : <https://www.paineisglobobrasil.com.br/>. Acesso em: 19 dez 2022.

ENERGÊS Disponível em <https://energes.com.br/manutencao-solar/> Acesso em: 20 dez. 2022.

SILVA, 2018 Disponível em <https://docplayer.com.br/156052896-Universidade-federal-de-uberlandia-faculdade-de-engenharia-eletrica.html> Acesso em: 02 Jan 2023.

Pinto, A. K. e Xavier, J. N. (2007), Manutenção: função estratégica, Qualitymark, Rio de Janeiro. Acesso em 10 jan 2023