



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

WÁLLISON ANDRÉ SOARES CAVALCANTE

**ESTUDO DE MULTICASOS DE PROCESSOS CORROSIVOS EM
ESTRUTURAS DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO MUNICÍPIO DE
PAU DOS FERROS-RN**

PAU DOS FERROS

2022

WÁLLISON ANDRÉ SOARES CAVALCANTE

**ESTUDO DE MULTICASOS DE PROCESSOS CORROSIVOS EM
ESTRUTURAS DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO MUNICÍPIO DE
PAU DOS FERROS-RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharelado em Engenharia Civil

Orientador: José Flávio Timoteo Júnior, Prof.
Dr.

PAU DOS FERROS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C377e Cavalcante, Wállison André Soares.
ESTUDO DE MULTICASOS DE PROCESSOS CORROSIVOS
EM ESTRUTURAS DE UINAS FOTOVOLTAICAS NO MUNICÍPIO
DE PAU DOS FERROS-RN / Wállison André Soares
Cavalcante. - 2022.
52 f. : il.

Orientador: José Flávio Timóteo Júnior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. Processos Corrosivos. 2. Módulos
Fotovoltaicos. 3. Estruturas de Usinas
Fotovoltaicas. I. Júnior, José Flávio Timóteo,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

WÁLLISON ANDRÉ SOARES CAVALCANTE

**ESTUDO DE MULTICASOS DE PROCESSOS CORROSIVOS EM
ESTRUTURAS DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO MUNICÍPIO DE
PAU DOS FERROS-RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharelado em Engenharia Civil

Defendida em: 15/06/2022.

BANCA EXAMINADORA

**JOSÉ FLÁVIO
TIMÓTEO JÚNIOR**

Assinado de forma digital por
JOSE FLAVIO TIMOTEO JUNIOR
Dados: 2022.06.22 14:27:17 -03'00'

Prof. Dr. José Flávio Timóteo Júnior – Orientador

**CLAWSIO ROGERIO CRUZ DE
SOUSA:05328256409**

Assinado de forma digital por CLAWSIO
ROGERIO CRUZ DE SOUSA:05328256409
Dados: 2022.06.22 15:55:41 -03'00'

Prof. Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa – Avaliador Interno

Lincoln Nunes de Queiroz

Eng. Especialista Lincoln Nunes de Queiroz – Avaliador Externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus e depois aos meus pais e aos meus irmãos!

Se você está passando pelo inferno, continue caminhando
Winston Churchill

RESUMO

Sabe-se que vivemos uma crise energética que acaba por impulsionar a humanidade a buscar fontes de energia alternativa, essa crise energética é motivada por um crescente aumento da produtividade para atender ao gradativo aumento do consumo da sociedade atual. Cada vez mais o corpo social da atualidade se vê dependente do uso de fontes de energias para realizar suas atividades cotidianas. As fontes de energias não-renováveis, como o petróleo, por exemplo, estão causando impactos negativos severos ao meio ambiente. Com a necessidade de buscar outras fontes de energias alternativas, as usinas fotovoltaicas surgem como uma boa opção, e portanto, sabendo que as estruturas de fixação/suporte das usinas solar fotovoltaicas são materiais passíveis de sofrer corrosão, e esta por sua vez, pode causar degradação graves às referidas estruturas e, conseqüentemente, comprometer a eficiência da usina como um todo, o presente trabalho vem abordar, como objetivo geral, as formas como a corrosão influencia e afeta as estruturas de fixação de usinas fotovoltaicas instaladas em duas instituições de ensino superior (IES) do Município de Pau dos Ferros – RN, a UFERSA e o IFRN. Como objetivos específicos, tem-se o estudo dos tipos e causas de corrosões em estruturas de fixação de módulos e, também, sugerir soluções para os possíveis problemas de corrosões encontrados, com o intuito de preservar a eficiência e a segurança das usinas estudadas. Sabe-se que um sistema fotovoltaico é formado basicamente por 4 grupos de elementos, que são eles: gerador, transformador, armazenador e compensador e observando os materiais desses componentes, é possível a percepção de que alguns deles são passíveis de sofrer corrosão, como por exemplo, os elementos de fixação dos módulos fotovoltaicos, que estão incluídos no grupo do gerador. E a corrosão se mostra como uma potencial causa de possíveis falhas nessas estruturas de fixação. No referencial teórico ainda, o presente estudo traz uma abordagem sobre os principais tipos de tratamentos anticorrosivos. Metodologicamente, o estudo ocorreu através do método qualitativo se baseando em referências sobre o assunto pesquisado no presente trabalho, e também, análises feitas em campo em usinas fotovoltaicas. Por fim, o trabalho traz uma discussão dos tipos de problemas encontrado nas usinas estudadas, no caso a corrosão galvânica nos parafusos; e também, as causas dos problemas encontrados, que foi a incompatibilidade de materiais utilizados e concluindo, com proposições de medidas de soluções.

Palavras-chave: processos corrosivos; módulos fotovoltaicos; estruturas de usinas fotovoltaicas.

ABSTRACT

It is known that we are experiencing an energy crisis that ends up pushing humanity to seek alternative energy sources, this energy crisis is motivated by a growing increase in productivity to meet the gradual increase in consumption in today's society. The current social body is increasingly dependent on the use of energy sources to carry out its daily activities. Non-renewable energy sources, such as oil, for example, are causing severe negative impacts on the environment. With the need to seek other sources of alternative energy, photovoltaic plants appear as a good option, and therefore, knowing that the fastening/support structures of photovoltaic solar plants are materials susceptible to corrosion, and this in turn, can cause serious degradation to those structures and, consequently, compromising the efficiency of the plant as a whole, the present work addresses, as a general objective, the ways in which corrosion influences and affects the fixing structures of photovoltaic plants installed in two higher education institutions (IES) of the Municipality of Pau dos Ferros – RN, UFERSA and IFRN. As specific objectives, there is the study of the types and causes of corrosion in modules fixing structures and, also, to suggest solutions for the possible problems of corrosion found, in order to preserve the efficiency and safety of the plants studied. It is known that a photovoltaic system is basically formed by 4 groups of elements, which are: generator, transformer, storage and compensator and observing the materials of these components, it is possible to perceive that some of them are susceptible to corrosion, such as For example, the fastening elements of the photovoltaic modules, which are included in the generator set. And corrosion is shown as a potential cause of possible failures in these fastening structures. In the theoretical framework, the present study brings an approach on the main types of anticorrosion treatments. Methodologically, the study took place through the qualitative method based on references on the subject researched in the present work, and also, analyzes made in the field in photovoltaic plants. Finally, the work brings a discussion of the types of problems found in the studied plants, in this case the galvanic corrosion in the screws; and also, the causes of the problems found, which was the incompatibility of materials used and concluding, with propositions of measures of solutions.

Keywords: corrosive processes; photovoltaic modules; structures of photovoltaic plants.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLO DE CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE USINA SOLAR	15
FIGURA 2 - ESTRUTURA BÁSICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	20
FIGURA 3 - PAINÉIS EM SUAS ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO.....	21
FIGURA 4 - - ESTRUTURA BÁSICA DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS EM TELHADO.....	21
FIGURA 5 - MODELO DE FIXAÇÃO EM TELHADOS COLONIAIS	22
FIGURA 6 - MODO DE FIXAÇÃO EM TELHAS DE FIBROCIMENTO.....	23
FIGURA 7 - FORMAS VARIADAS DE FIXAÇÃO EM COBERTURAS METÁLICAS	23
FIGURA 8 - MODO DE FIXAÇÃO EM LAJES.....	24
FIGURA 9 - FIXAÇÃO DE USINAS SOLAR NO SOLO	24
FIGURA 10 - FORMA DE INSTALAÇÃO DE USINA SOLAR EM ESTACIONAMENTOS	25
FIGURA 11 - INVERSOR	27
FIGURA 12 - CONTROLADOR DE CARGA.....	27
FIGURA 13 - BATERIA	28
FIGURA 14 - RELÓGIO BIDIRECIONAL	29
FIGURA 15 - TIPOS DE CORROSÃO.....	32
FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES DE ESTUDO.....	40
FIGURA 17 - LOCALIZAÇÃO DA UFERSA, CAMPUS PAU DOS FERROS, RN.....	41
FIGURA 18 - VISUALIZAÇÃO AÉREA DA UFERSA, CAMPUS PAU DOS FERROS.....	41
FIGURA 19 - LOCALIZAÇÃO DO IFRN, CAMPUS PAU DOS FERROS, RN.....	42
FIGURA 20 - LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE PAU DOS FERROS DENDRO DO RN.....	43
FIGURA 21 - USINA FOTOVOLTAICA DO IFRN, CAMPUS PAU DOS FERROS	44
FIGURA 22 - ELEMENTOS DE FIXAÇÃO DA USINA DO IFRN, CAMPUS PAU DOS FERROS	45
FIGURA 23 - PARAFUSO OXIDADO POR CORROSÃO GALVÂNICA, NA USINA DA UFERSA, CAMPUS PAU DOS FERROS	46
FIGURA 24 - LOCALIZAÇÃO DA USINA DA UFERSA COM RELAÇÃO À LINHA DO EQUADOR	47
FIGURA 25 - COMPARATIVO DE UM PARAFUSO CORROÍDO E OUTRO NÃO (USINA DA UFERSA).....	48
FIGURA 26 - - PARAFUSO NÃO CORROÍDO (UFERSA, CAMPUS PAU DOS FERROS).....	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DE ENERGIA	18
TABELA 2 - TABELA COMPARATIVA DE MATERIAIS E SEUS POTENCIAIS DE REDUÇÃO/OXIDAÇÃO	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
HEI	Higher Education Institutions
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IES	Instituição de Ensino Superior
IFRN	Instituto Federal do Rio Grande do Norte
IRENA	International Renewable Energy Agency
KTL	Katho-dische Tauch Lackierung
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	GERAL	17
2.2	ESPECÍFICO	17
3	REVISÃO TEÓRICA.....	18
3.1	COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	19
3.1.1	GERADOR	20
3.1.2	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO	21
3.1.2.1	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO EM TELHADOS	22
3.1.3	TRANSFORMADOR	25
3.1.3.1	INVERSOR.....	26
3.1.3.2	CONTROLADOR DE CARGA	27
3.1.4	ARMAZENADOR.....	27
3.1.5	COMPENSADOR.....	28
3.2	FALHAS NAS ESTRUTURAS.....	29
3.2.1	FATORES CLIMÁTICOS CAUSADORES DE FALHAS NAS ESTRUTURAS	30
3.3	CORROSÃO	30
3.3.1	PROCESSOS CORROSIVOS	31
3.3.2	FORMAS DE CORROSÃO	31
3.3.3	CORROSÃO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	32
3.4	CORROSÃO GALVÂNICA	33
3.5	ANODIZAÇÃO	35
3.6	GALVANIZAÇÃO	36
3.7	FOSFATIZAÇÃO.....	37
3.8	PINTURA ELETROFORÉTICA CATÓDICA (KTL).....	38
3.9	GEOMET	38
4	METODOLOGIA DE ESTUDO	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
6	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Com a elevada necessidade de produção, com o intuito de suprir o consumismo da sociedade atual, há o uso desenfreado dos combustíveis fósseis e com o passar do tempo, foram surgindo indagações sobre os impactos que esse uso causa ao meio ambiente, por meio de gases poluentes e reservas petrolíferas, por exemplo (FORTUNATO, 2018).

Cada vez mais vê-se a importância sobre a discussão a respeito de fontes alternativas de energia, ou energias renováveis, pois, desde o início da exploração do petróleo, bem como, a invenção de motores que se utilizam de derivados de combustíveis fósseis, vem se afetando e causando algumas alterações no meio ambiente, levando a ter problemas ambientais, como, o aquecimento global (FORTUNATO, 2018).

A sociedade atual, sabendo da sua grande necessidade por fontes de energia e, ciente de que as principais fontes de energias utilizadas atualmente são fontes não renováveis, como o petróleo, vem se preocupando em buscar fontes de energias alternativas, principalmente, energias renováveis, onde pode-se citar a energia proveniente dos raios solares (FORTUNATO, 2018).

A energia, inegavelmente, está presente em tudo na vida do ser humano, desde coisas básicas como ouvir, ver, sentir, realizar movimentos corporais, até a representação dela em outras formas mais sofisticadas, como obter luz, movimento por meio de um transporte, e até mesmo, obter calor por meio de um micro-ondas. Então, é notório que a energia está diretamente relacionada com as facilidades e confortos que a sociedade conseguiu com o passar dos anos, com o intuito de facilitar a realização de tarefas, bem como, a produção de produtos em geral (FORTUNATO, 2018).

Existe uma considerável pressão sobre a necessidade do uso de recurso de fontes de energias alternativas diante da crise energética que vivemos. Exige-se uma melhor racionalização, bem como uma maior eficiência na utilização dos recursos. É conhecido que a sociedade atual necessita cada vez mais do setor energético para as mais variadas atividades (CRUZ, 2010).

A necessidade energética, alinhada ao aumento dos preços do petróleo e as alterações climáticas, provocam uma iminente necessidade da indústria de aumentar a eficiência dos produtos e buscar novas fontes de energias alternativas aos combustíveis orgânicos. Além disso, a preocupação com o meio ambiente vem crescendo a cada dia e dessa forma, aumentando ainda mais a procura por fontes de energias renováveis (CRUZ, 2010).

O sol, inegavelmente, é a maior fonte de energia que temos, na atualidade, o uso da

energia é algo necessário a todas as atividades que podemos citar, como exemplo, transporte; confecção de alimentos; abastecimento de água e até climatização. Por conta dessa grande necessidade, busca-se por energias alternativas ao petróleo, carvão e gás natural, que são combustíveis fósseis, apesar de ter à disposição uma fonte de energia inesgotável, que é o sol. A energia solar pode ser aproveitada de várias maneiras, como exemplos das formas mais utilizadas pode-se citar a secagem de produtos; a solar térmica para aquecimento de água doméstica e a fotovoltaica, que é usada para a geração de eletricidade (CRUZ, 2010).

Os sistemas fotovoltaicos são projetados com uma vida útil de 25 anos. A fim de garantir a durabilidade do projeto, deve-se estudar processos que venha proporcionar a longevidade dos materiais que compõem o projeto. Os sistemas de fixação dos módulos fotovoltaicos, aparecem como sendo um dos elementos mais críticos quando se trata dos quesitos de durabilidade e de segurança (VINTURINI, 2019).

As estruturas podem vir a falhar de diversas formas, é possível enumerar as principais possibilidades, dentre elas: instalação incorreta, descuido no cálculo de dimensionamento, especialmente pelas cargas dos ventos, e nesse caso, deve-se observar o projeto estrutural da edificação caso os módulos fotovoltaicos sejam instalados na cobertura.

De acordo com a NBR 8800 (2008) em coberturas comuns, ou seja, telhados, no caso de ausências de especificações mais rigorosas de projetos, deve-se prever uma sobrecarga de $0,25 \text{ kN/m}^2$, essa sobrecarga é prevista pensando no peso de instalações elétricas, hidráulicas, isolamento térmico e acústico e de peças que porventura possam vir a ser fixadas no telhado, com até no máximo $0,05 \text{ kN/m}^2$. Pesquisando as dimensões e pesos dos painéis fotovoltaicos em fabricantes do produto, como por exemplo, a **Trina Solar**, tem-se que um painel fotovoltaico tem em média $1,97 \text{ m}^2$ e em média 28 kg, que transformando em kN fica por volta de $0,275 \text{ kN}$, portanto temos uma carga em média de $0,14 \text{ kN/m}^2$.

Desta forma a carga, em média, um módulo fotovoltaico já ultrapassa a sobrecarga prevista na NBR 8800. Sendo assim, se torna necessário ter acesso ao projeto estrutural da edificação para verificar se a mesma está preparada para receber a carga adicional dos módulos fotovoltaicos, bem como ter cuidado na escolha apropriada dos métodos de fixação, excesso de cargas sobre a estrutura e corrosão do material, que pode se dar por má seleção dos materiais utilizados e também pela agressividade do ambiente que a estrutura está inserida com relação à corrosão (VINTURINI, 2019).

Além de pensar em todos esses fatores, quando se tem a intenção de implantar um sistema fotovoltaico, precisa-se pensar também no final de sua vida útil, deve-se pensar nos impactos causados pelos sistemas fotovoltaicos. A necessidade de pensar nesses impactos

ambientais é motivada pelas metas ambiciosas da Agência Internacional de Energia Renovável-IRENA que planeja implantar cerca de 8.519 GW de instalações fotovoltaicas até o ano de 2050 (DANIELA-ABIGAIL et al, 2022).

De acordo com a empresa SSM Solar do Brasil, para que seja garantido a vida útil prevista para as usinas fotovoltaicas, necessita-se de equipamentos de boa qualidade, principalmente nas estruturas de fixação, pois elas garantem a segurança para o projeto afim de que o mesmo não venha a sofrer danos por causa de incidências climáticas, por exemplo. Na figura 1 tem-se um exemplo de um elemento de fixação de uma usina fotovoltaica sofrendo corrosão.

Figura 1 - Exemplo de corrosão em estruturas de usina solar



Fonte: Google Imagens (2022)

Na figura 1, tem-se um elemento de fixação sofrendo corrosão, que é um trilho de uma usina fotovoltaica. Talvez seja interessante, nesse caso, investigar qual a causa dessa corrosão e propor alguma medida anticorrosiva antes que a corrosão venha comprometer a eficiência da usina por alguma falha inesperada.

Devido a crise energética, a crescente necessidade de produção das indústrias, alinhado aos problemas ambientais causados pela busca por fontes de energias, as energias renováveis surgem como uma boa alternativa de geração de energia. Nos últimos anos o uso dessa energia renovável vem aumentando no Brasil. Segundo o site portal solar, o mercado dessa fonte de energia no Brasil cresceu mais de 212%, em 2019, alcançando uma marca de 2,4 GW instalados.

Já em 2020, o Brasil chegou à marca de 7 GW de potência instalada em forma de energia gerada por usinas de módulos fotovoltaicos. Observando como nossa sociedade se comporta, com costumes altamente consumistas, é fácil entender que se precisa cada vez mais de fontes de energias para a grande demanda de produção de produtos, alimentos e transportes. Em vista

disso, esta pesquisa tem o intuito de avaliar os processos corrosivos e sugerir medidas protetivas, visando preservar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

Pensando na promissora implementação desse sistema, torna-se necessário pesquisar sobre sua eficiência máxima que se pode obter, tentando diminuir ao máximo os custos, diante disso, vários estudos são feitos buscando a melhor combinação entre custos e sistemas, abrangendo estudos sobre instalações e equipamentos.

Ge et al. (2022) afirma que dentre as tecnologias disponíveis, a fotovoltaica de concentração é uma das que se mostra mais eficiente, em vista que consegue por volta de 45% de eficiência de conversão e pequenas células receptoras solares. Entretanto o acúmulo de calor nesses sistemas aumenta de forma considerável, como também, a temperatura da célula e,consequentemente, reduz a eficiência dos sistemas fotovoltaicos de concentração. Para solucionar esse problema, propuseram o uso de um gerador termoelétrico, que é um dispositivo semicondutor capaz de converter energia térmica diretamente em energia elétrica.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Entender de que forma a corrosão influencia e afeta os sistemas de fixação de Usinas fotovoltaicas.

2.2 ESPECÍFICO

Estudar e entender os tipos e causas de corrosões que podem vir a ocorrer em estruturas de fixação de módulos fotovoltaicos em Instituições de Ensino Superior (IES) na região de Pau dos Ferros-RN e, também, propor medidas para corrigir os problemas de corrosão encontrado com o intuito de preservar a eficiência e a segurança da usina.

3 REVISÃO TEÓRICA

Para obtenção do calor nos sistemas de energia para gerar eletricidade, é usado células fotovoltaicas. Os sistemas fotovoltaicos tem uma eficiência de obter eletricidade na ordem de 9% a 20%. Já nos casos de sistemas de usinas solares com finalidade térmicas, sua eficiência gira em torno de 40% a 60%. O sistema de células fotovoltaicas com a finalidade de gerar eletricidade, tem a funcionalidade de transformar radiação do sol em eletricidade.

Umas das grandes vantagens desse sistema é que não gera ruídos, nem tão pouco necessidade de combustíveis, além de também, não precisarem de elevada manutenção. Entretanto, os sistemas fotovoltaicos apresentam um rendimento considerado baixo quando comparado ao seu alto custo de aquisição (CRUZ, 2010).

Então as células fotovoltaicas tem a função de captar a energia proveniente dos raios solares e transforma-las em energia elétrica por meio dos materiais que essas células são confeccionadas. É possível observar uma relação com os materiais utilizados nos principais tipos de células e suas respectivas eficiências na tabela 1 (FORTUNADO, 2018).

Tabela 1 - Eficiência de conversão de energia

Material	Eficiência %
Silício monocristalino (m-Si)	12 a 15
Silício policristalino (p-Si)	11 a 14
Silício amorfo hidrogenado (a-Si)	6 a 8
Telureto de Cádmio (CdTe)	7 a 10
Disseleneto de cobre, gálio e índio (CIS e CIGS)	9 a 11

Fonte: Fortunato (2018, p. 28) apud Rebollar (2011, p. 71)

Pode-se citar outra limitação desse sistema, que é o fato de seu funcionamento se limitar apenas ao período diurno. Entretanto, como Fortunato (2018) ressalta, no período diurno pode ser armazenado a energia elétrica produzida, em algum sistema de armazenamento de energia e, portanto, essa energia armazenada pode ser utilizada durante à noite, período onde não há produção de energia elétrica por meio dos módulos fotovoltaicos.

Apesar dessas limitações, a geração de energia em usinas solares se apresenta com um futuro bastante promissor por causa da sua notória eficiência energética e seus benefícios, seja a níveis econômicos ou mesmo a níveis de preservação do meio ambiente, marcada pela ausência de emissão de gás carbônico enquanto está em funcionamento (CRUZ, 2010).

O mercado de fornecimento de energia elétrica para residências, atualmente está em alta, principalmente quando se trata de iluminação e aparelho elétricos isolados da rede elétrica, tanto em países desenvolvidos como também, em países em desenvolvimento. Em lugares remotos habitados por pessoas, essa tecnologia, também, é bastante bem-vinda. Em vista que, podem gerar a sua própria energia para suprir suas necessidades sem tanta necessidade de manutenção (ABELLA, 2001).

A Insole (2022) aponta que, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a capacidade instalada de energia solar, vai dobrar no ano de 2022, comparada com a capacidade instalada de energia solar no ano de 2021. Dentre vários motivos que favorecem esse crescimento, os mais relevantes que pode-se citar são: a elevação do valor das contas de luz, o preço das usinas fotovoltaicas se tornando mais acessíveis, como também, a nova legislação do setor.

Essa alternativa de energia pode ser uma boa escolha também para quem tem uma casa de lazer, ou quem mora em zonas rurais onde a rede de distribuição elétrica não chega. Escolas podem dispor dessa fonte de energia também, além de hospitais e clínicas. É importante salientar que, os sistemas fotovoltaicos são capazes de gerar o mesmo conforto de uma casa que tem energia elétrica fornecida por rede de distribuição elétrica, como por exemplo, acesso a iluminação, alimentação de eletrodomésticos, TV, computadores, etc (ABELLA, 2001).

De acordo com Oliveira e Filho (2021), no Brasil, a tecnologia de energia solar está bastante semeada, com uma grande diversidade de aplicação, onde pode-se citar: aplicação em sistemas de bombeamento de água, diminuição de gastos com energia em escolas estaduais, reservatórios hidrelétricos utilizando painéis flutuantes, aplicação também em fachadas e telhados de edifícios comerciais, e em indústrias com o intuito de diminuir os custos e aumentar a competitividade no mercado. Além disso, os autores citados acreditam que será uma das alternativas de energia limpa mais usada no futuro.

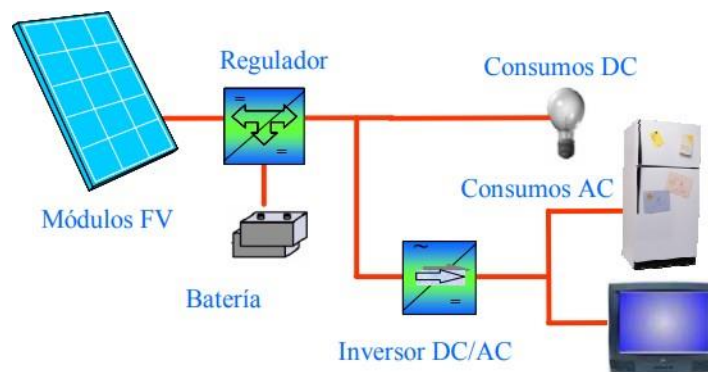
Segundo Tristão, as descargas atmosféricas sobre os sistemas fotovoltaicos, podem causar deterioração, diminuir a vida útil dos equipamentos e até mesmo destruição completa do sistema fotovoltaico, que gera custos de manutenção. Os componentes que fazem a fixação das placas fotovoltaicas precisam ser de material que seja resistente à corrosão, além disso, deve-se se atentar para uma montagem correta (Tristão, 2021).

3.1 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para entender o funcionamento de um sistema fotovoltaico, e estudar sua eficiência,

como também, as suas possíveis possibilidades de falhas, é importante conhecer os elementos que compõem o sistema, e também, seus respectivos funcionamentos. Um sistema solar fotovoltaico pode ser dividido em quatro grupos de elementos, sendo eles o gerador, transformador, armazenador e compensador (DEMARCO, 2019). A seguir, na figura 4, podemos ver uma figura representativa de um sistema de uma usina solar básica.

Figura 2 - Estrutura básica de um sistema fotovoltaico



Autor: Abella (2001)

3.1.1 GERADOR

O gerador é composto pelos painéis fotovoltaicos, que tem a função de converter energia solar em energia elétrica, e a estrutura de suporte juntamente com os cabos, que auxilia os módulos (DEMARCO, 2019). Cerca de 95% de todas as células fotovoltaicas existentes no mundo são formadas por material de silício. Além desse material, também é utilizado materiais como arseneto de gálio (GaAs), telureto de cádmio (CdTe) ou disselto de cobre (Tristão, 2021). Na figura 3 tem-se a imagem de painéis fotovoltaicos instalados com sua estrutura de suporte.

Figura 3 - Painéis em suas estruturas de fixação

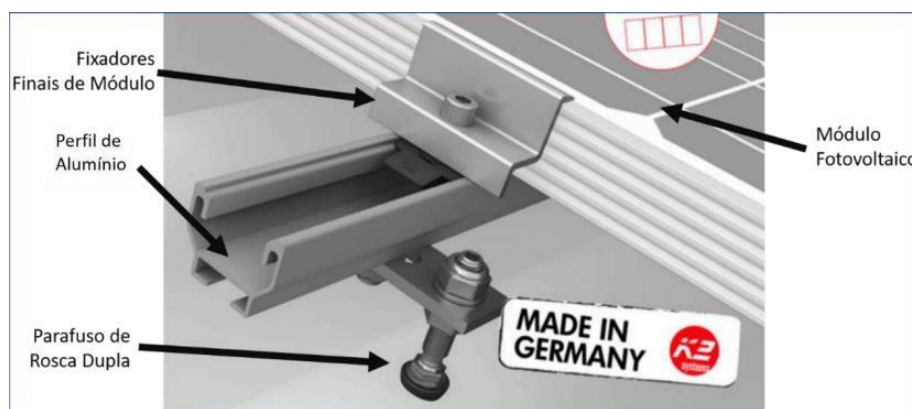


Fonte: MOREIRA et al. (2019), apud ENERGYBRAS (2019)

3.1.2 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

A estrutura de suporte, por sua vez, é formada basicamente por 3 componentes, são eles: Fixadores dos módulos, parafusos e perfil de alumínio. Isso dependendo do tipo de fixação da usina. A figura 4 ilustra tais componentes citados (Pessoa, 2021).

Figura 4 - - Estrutura básica de fixação dos módulos em telhado



Fonte: Pessoa, 2021

Os fixadores de módulo têm a funcionalidade de fixar os módulos nos perfis de alumínio e se dividem em dois tipos, final do módulo e entre módulos. Os perfis de alumínio têm a função de apoiar os módulos. Na sua instalação deve ser colocado em paralelo e alinhado. Os parafusos, por sua vez, têm a função de fixar a estrutura ao telhado (Pessoa, 2021).

Sabe-se que o tipo de estrutura de fixação depende de onde a usina será instalada, que pode ser em locais do tipo: telhado, e para esse caso, é importante ressaltar que existe vários

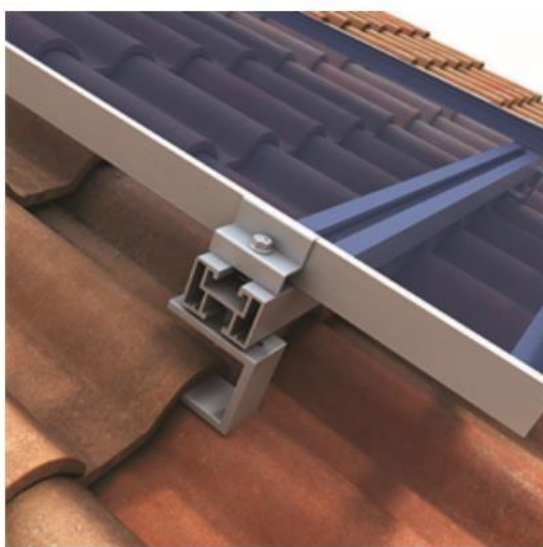
modelos de estruturas afim de atender os variados tipos de telhado; montagem em lajes; montagem no solo e estacionamento solar (LAU, 2017).

3.1.2.1 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO EM TELHADOS

3.1.2.1.1 TELHADOS COLONIAIS

Geralmente é usado um modelo de fixação de gancho, que passa por entre as telhas e é fixada aos caibros. O trilho, por sua vez, é fixado ao gancho para que possa fixar, por fim, os módulos fotovoltaicos. Uma vantagem observada nesse modelo de fixação, é que no mesmo não é necessário furar as telhas (LAU, 2017). Na figura 5 é possível observar uma representação desse tipo de fixação.

Figura 5 - Modelo de fixação em telhados coloniais



Fonte: LAU (2017)

3.1.2.1.2 TELHAS DE FIBROCIMENTO

Nesse tipo de cobertura, é utilizado o parafuso com prisioneiro para a fixação da usina na telha, esse modo de fixação tem uma vasta aplicação em vários tipos de telhados, porém, a mesma traz o impasse de ter que perfurar a telha (LAU, 2017). Na figura 6 é ilustrado esse tipo de fixação.

Figura 6 - Modo de fixação em telhas de fibrocimento

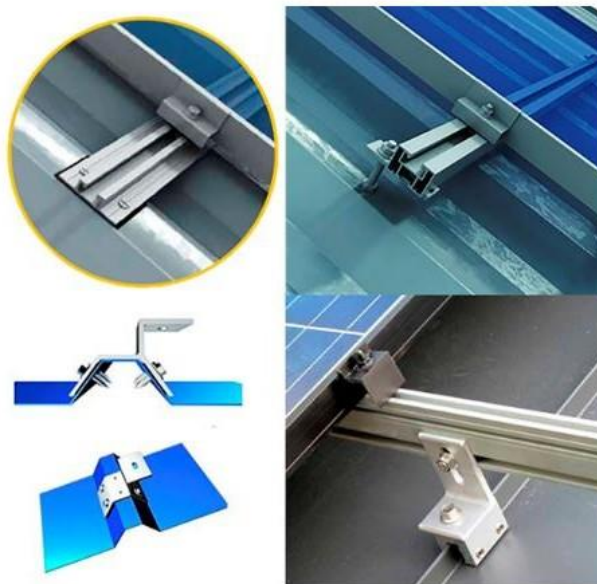


Fonte: LAU (2017)

3.1.2.1.3 COBERTURA METÁLICAS

No caso de coberturas metálicas existem várias formas de fixar a usina solar, variando de acordo com o formato do telhado. Entretanto, uma forma bastante interessante de fixar, seria colar a estrutura diretamente no telhado, mas é importante ressaltar que o profissional que vai fazer esse tipo de serviço, deve ter o conhecimento da especificação do tipo de cola e da estrutura utilizada para esse fim (LAU, 2017). Na figura 7 é ilustrado algumas formas de fixar a estrutura da usina solar em telhas metálicas.

Figura 7 - Formas variadas de fixação em coberturas metálicas

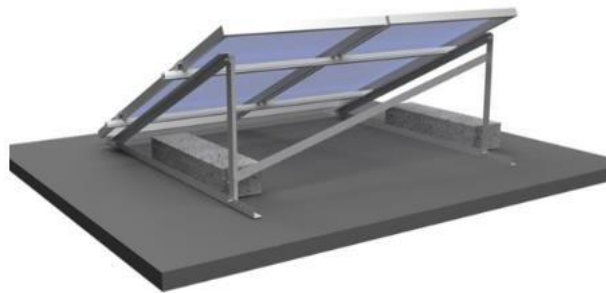


Fonte: LAU (2017)

3.1.2.1.4 FIXAÇÃO EM LAJES

Em lajes, a estrutura é fixada em formato triangular, que pode possuir inclinação fixa ou ajustável. Esse modo de fixação pode ser de dois tipos, pode ser parafusada, concretada na laje, ou até mesmo, fixada por meio de lastros de concreto (LAU, 2017). Na figura 8 pode ser visualizado uma representação desse tipo de fixação.

Figura 8 - Modo de fixação em lajes



Fonte: LAU (2017)

3.1.2.1.5 USINA FIXADA NO SOLO

No solo, a estrutura pode ser fixada de dois modos, ou em bases de concreto ou como estacas. Uma das características que as usinas fixadas no solo podem ter, é a possibilidade de fazer com que os módulos fotovoltaicos mudem de orientação durante o seu funcionamento, acompanhando a movimentação do sol afim de aumentar a sua eficiência de produtividade. Essa movimentação é possível por meio de um dispositivo chamado tracker (LAU, 2017). Na figura 9 é mostrado uma ilustração desse tipo de fixação de usinas solar.

Figura 9 - Fixação de usinas solar no solo



Fonte: LAU (2017)

3.1.2.1.6 ESTACIONAMENTO SOLAR

Uma outra forma de instalar uma usina fotovoltaica é em forma de estacionamento, ou seja, usa-se os módulos como forma de cobertura de estacionamentos. Sabe-se que esse modo de instalação é um pouco mais oneroso, em vista que a estrutura de fixação deve ser mais corpulenta, entretanto, deve-se ter em mente as duas funções que ela traz, que é como cobertura para estacionamento e também, geração de energia elétrica (LAU, 2017). Na figura 10 é possível visualizar um exemplo dessa forma de instalação.

Figura 10 - Forma de instalação de usina solar em estacionamentos



Fonte: LAU (2017)

3.1.3 TRANSFORMADOR

Após os módulos ter convertido a energia captada em energia elétrica, dar-se início à transformação da energia para ser consumida pelas residências, armazenadas em baterias ou até mesmo “comercializada” para a rede elétrica (DEMARCO, 2019). Essa questão da “comercialização” da energia produzida para a rede elétrica era feita de acordo com as diretrizes da resolução normativa 482 (MIRANDA, 2022).

Entretanto, em 6 de janeiro de 2022, o presidente da república sancionou a lei nº 14.300 e, uma das alterações com relação à resolução normativa 482, foi a questão do que se chama de taxa mínima, essa taxa mínima varia de acordo com o tipo de consumidor, se for monofásico, 30 kWatts; bifásico, 50 kWatts e trifásico 100 kWatts. Para dar um exemplo explicativo, toma-se um consumidor trifásico: antes de ser sancionada a lei nº 14.300, o consumidor trifásico que consumia 600 kWh e produzia para a rede 600kWh, ainda tinha que pagar 100 kWh referente à taxa mínima, ou seja, se o consumidor gerasse 600 kWh para rede e só consumisse 500 kWh, teria que pagar a taxa mínima de 100kWh da mesma forma, e então, os 100 kWh que foi

produzido e não consumido, se perderia (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2022).

Com a nova lei 14.300, caso o consumidor produza 600 kWh e só consuma 500 kWh, ele irá pagar a taxa mínima da mesma forma de 100 kWh, porém, esses 100 kWh que ele gerou e não consumiu será convertido em créditos para ser utilizado no próximo mês. Vale ressaltar que, a lei 14.300 está em vigor para quem já tinha sistemas fotovoltaicos antes de ela ser sancionada e para quem vai fazer aquisição de sistema fotovoltaico em até 12 meses da data que a lei foi sancionada, após esses 12 meses terão algumas mudanças nessas diretrizes (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2022).

3.1.3.1 INVERSOR

Para a transformação da corrente contínua em corrente alternada, usa-se um inversor (DEMARCO, 2019). De acordo com a ECOA Energias Renováveis (2020), existe três tipos de inversores, o *on grid*, o *off grid* e o híbrido. O *on grid* é caracterizado, principalmente, por ser utilizado em um sistema fotovoltaico que é diretamente ligado à rede elétrica, além disso, pode-se afirmar também, que é o modelo de inversor mais utilizado no mercado, isso pode ser explicado pelo bom custo-benefício que ele possui. Além disso, outra característica interessante dele, é que ele é programado para se desligar em ocasião de uma queda de energia na rede de distribuição da concessionária de energia elétrica.

Já o *off grid*, são inversores que são utilizados em sistemas fotovoltaicos que contam com sistemas de armazenamento da energia e são, geralmente, utilizados em áreas remotas onde não chega rede de distribuição de energia elétrica. E por último, o inversor híbrido, basicamente, pode-se definir ele como sendo um inversor capaz de ser utilizado tanto no sistema *on grid*, como também, *off grid*. Entretanto, é conhecido que, o custo de aquisição desse último modelo citado, o híbrido, é maior quando comparado aos tipos que foram citados anterior à ele. Na figura 11, é possível visualizar um inversor.

Figura 11 - Inversor



Fonte: Oca Solar Energia, 2020

3.1.3.2 CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga, é responsável por fazer a proteção do sistema de armazenamento contra desligamentos da rede (DEMARCO, 2019). Na figura 12 é possível visualizar um controlador de carga.

Figura 12 - Controlador de carga



Fonte: Oca Solar Energia, 2020

3.1.4 ARMAZENADOR

Após a energia elétrica ser gerada pelos módulos, transformada pelos inversores, a

próxima etapa é armazená-las, e o equipamento usado para esse fim são as baterias. Assim, a energia elétrica fica armazenada para ser utilizada quando for necessário (DEMARCO, 2019).

3.1.4.1 BATERIA

Esses equipamentos têm a função de armazenar energia elétrica e fornecer a energia nos momentos em que os geradores, ou seja, as placas fotovoltaicas, não estejam gerando energias suficientes para a sua aplicabilidade (FORTUNATO, 2018). As baterias são componentes indispensáveis em sistemas fotovoltaicos *off grid*, pois nesses sistemas é necessário armazenar a energia elétrica. Como a radiação solar é um fator variante, então a energia que os módulos fotovoltaicos produzem, também, varia. Pois, sabe-se que, a energia produzida depende da intensidade da radiação solar, e esta, é variável durante o dia, como também, à noite não há produção de energia em vista que não há radiação solar. Na figura 13 é possível ver a imagem de uma bateria.

Figura 13 - Bateria



Fonte: Oca Solar Energia, 2020

3.1.5 COMPENSADOR

Após gerada, convertida e armazenada, faz-se necessário quantificar quanto dessa energia foi consumida e quanto dessa energia foi colocada novamente à rede. Para isso, usa-se um equipamento chamado de relógio bidirecional (DEMARCO, 2019). Esse dispositivo é

usado em sistemas *on grid*, pois nesses tipos de sistemas, sabe-se que o excedente produzido pela usina não é armazenado em baterias, e sim injetada à rede elétrica da concessionária de energia elétrica da região que a usina está instalada. Esse excedente transforma-se em créditos para ser utilizado pelo consumidor que o gerou, aumentando a viabilidade econômica do uso de energias fotovoltaicas (ARAÚJO; FERREIRA, 2018). Na figura 14 pode-se visualizar um relógio bidirecional.

Figura 14 - Relógio bidirecional



Fonte: Solis Energia, 2019

3.2 FALHAS NAS ESTRUTURAS

É bastante importante estudar quais são as falhas mais frequentes nas estruturas dos sistemas fotovoltaicos para que seja evitado ao máximo paradas inesperadas para manutenções corretivas, e também, evitar custos de manutenção e diminuição da vida útil do sistema.

É possível citar como falhas mais frequentes os desapertos dos parafusos, que podem fazer com que a estrutura de fixação perca a sua funcionalidade de estrutura mecânica; degradação de componentes por falta de inspeções e manutenções preventivas, degradação essa, que pode ser motivada pelo meio ambiente e fatores climáticos no ambiente em que a usina está inserida; oxidação nos componentes de fixação, que pode ser ocasionado, também, por fatores climáticos, e essa oxidação vir a causar má fixação das placas fotovoltaicas e desalinhamentos que, com as rajadas de ventos pode acontecer arrancamento de componentes da usina fotovoltaica; e também, má fixação e desalinhamento no momento da montagem, causando vibrações excessivas por causa das rajadas de vento (Tristão, 2021).

3.2.1 FATORES CLIMÁTICOS CAUSADORES DE FALHAS NAS ESTRUTURAS

Alguns fatores climáticos que podem causar falhas nas estruturas, são: chuvas ácidas, que pode contribuir para a degradação dos componentes da usina fotovoltaica; poeira, que pode impedir a captação da energia solar de forma eficiente; chuva de granizo, que pode danificar os módulos fotovoltaicos; e o vento. Esse último, pode causar vibrações excessivas caso as estruturas não estejam bem fixadas e alinhadas, podem ocasionar, também, torção na estrutura e consequentemente arrancamento dos elementos de fixação da estrutura, dependendo da intensidade das rajadas de ventos da região (Tristão, 2021).

A grande exigência de eficiência e produtividade sob os equipamentos dos sistemas fotovoltaicos na atualidade, geram grande esforços elétricos, mecânicos e térmicos. Esses esforços culminam em desgastes, e esses desgastes, por consequência, afetam o funcionamento correto do sistema e diminuem a sua vida útil.

Vale salientar que, o desgaste nem sempre vai acontecer de forma gradual, ele pode ocorrer, também, de forma aleatória e inesperada (Tristão, 2021). Por isso, vê-se a importância do processo de inspecionar os sistemas fotovoltaicos e estudar medidas preventivas que evitem ao máximo esses desgastes e comprometimento da vida útil dos equipamentos dos sistemas fotovoltaicos, para assim, garantir sua alta eficiência.

3.3 CORROSÃO

É importante se preocupar com a corrosão porque percebe-se que desde que o homem decidiu trabalhar com metais, a corrosão vem causando problemas bastante desconfortáveis e perigosos nos materiais metálicos usados (FRAUCHES-SANTOS Et al., 2013).

A corrosão pode ser entendida como sendo uma deterioração de um material, que geralmente é metálico, e que essa corrosão pode ser ocasionada por uma ação física, química ou eletroquímica do meio em que o material está inserido. A corrosão pode ocorrer com influência de esforço mecânico ou não (GENTIL, 1996). Gentil (1996), ressalta ainda que, para alguns autores, existe também corrosão de materiais não-metálicos, que é quando o material não-metálico sofre degradação por influência do meio ambiente. É importante entender que a corrosão é um processo natural e que está frequentemente transformando os materiais metálicos de modo que prejudica sua longevidade e seus desempenhos de funcionalidades (GENTIL, 1996).

É possível presenciar a corrosão facilmente no nosso dia-a-dia em geladeiras,

automóveis, fogões, e em elementos metálicos em geral que esteja em constante contato com agentes corrosivos como atmosfera, água ou produtos corrosivos, que não recebam tratamentos anticorrosivos (FRAUCHES-SANTOS Et al., 2013).

A corrosão pode causar fraturas em partes comprometedoras dos equipamentos, que podem ocasionar má funcionamentos dos equipamentos e até mesmo acidentes que podem custar a vida das pessoas (FRAUCHES-SANTOS Et al., 2013).

3.3.1 PROCESSOS CORROSIVOS

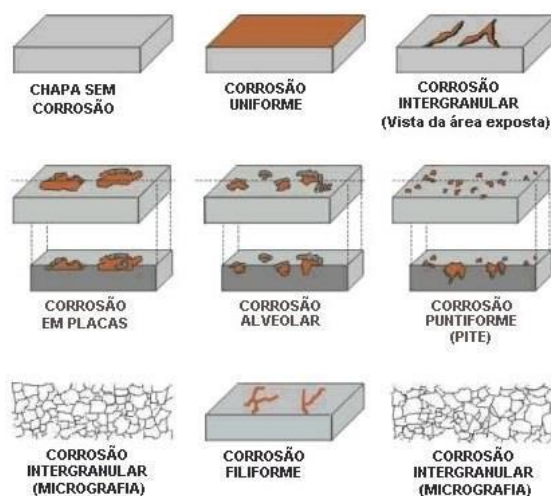
Os processos corrosivos dependem do tipo de ação que o meio exerce sobre o material, podendo ser classificados em dois grandes grupos, que são corrosão eletroquímica e corrosão química. O primeiro é o mais frequente, e pode ser caracterizado por acontecer necessariamente na presença de água no seu estado líquido. Acontecem na grande maioria das vezes em temperaturas ambientes, forma-se uma pilha com a circulação de elétrons na superfície metálica.

Já nos processos de corrosão química são mais comuns em ambientes industriais, onde se encontram condições bastante distintas, por conta disso, muitas das vezes, é chamada também de corrosão ou oxidação em altas temperaturas. Este processo corrosivo pode ser caracterizado por acontecer em ausências de água líquidas, em temperaturas, na maioria dos casos, elevadas, e com uma interação direta entre o meio corrosivo e o material (FRAUCHES-SANTOS Et al., 2013).

3.3.2 FORMAS DE CORROSÃO

As Formas de corrosão são definidas de acordo como elas se apresentam nas superfícies dos materiais que foram atingidos. Podemos citá-las da seguinte forma: Uniforme, galvânica, por frestas e por pite (FRAUCHES-SANTOS Et al., 2013). É possível ver representações dos tipos de corrosão na figura 15.

Figura 15 - Tipos de corrosão



Fonte: Google Imagens (2022)

3.3.3 CORROSÃO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo Vinturini, a corrosão nas estruturas de suporte dos sistemas fotovoltaicos acontece, principalmente pelos seguintes fatores:

- Incompatibilidade de materiais entre os metais que formam a estrutura, módulos e telhados, em caso de sistema instalados sobre a cobertura;
- Escolha inadequada de parafusos com relação ao material utilizado. Por exemplo, parafuso confeccionado de material de aço zincado acoplado em estrutura de aço inox;
- Danos causados à camada de anodização do alumínio, em estruturas de alumínio anodizados; ou danos causados à camada do aço galvanizado, quando a estrutura é feita por aço galvanizado;
- Metais impróprios utilizados em locais onde há maresia com potencial a causar corrosão aos mesmos.

Ainda sobre os tipos de corrosão que podem ocorrer em sistemas fotovoltaicos, a SSM Solar do Brasil, afirma que a corrosão eletroquímica, que é o processo que acontece quando o material, passível de corrosão, passa muito tempo em contato com a água que, trazendo para o caso estudado, geralmente acontece nos períodos chuvosos, é também um fator capaz de causar corrosão nos materiais dos sistemas fotovoltaicos.

A SSM Solar do Brasil afirma ainda que, a estrutura que não dispuser de tratamentos que evitem o processo de corrosão eletroquímica, pode colocar em xeque a durabilidade, pois a degradação acaba ocorrendo de forma acelerada. Ressalta ainda que, os parafusos, porcas e

arruelas estão entre os materiais mais afetados, e parafusos comprometidos por corrosão podem causar falhas graves ao sistema fotovoltaico.

3.4 CORROSÃO GALVÂNICA

Caracteriza-se por corrosão galvânica o processo eletroquímico entre dois metais diferentes que posto em contato dá início a um processo corrosivo causado por transferência de elétrons na presença de um eletrólito. As ligas metálicas estão associadas por uma característica elétrica em comum que caracteriza a facilidade que um metal tem em ceder elétrons para o meio que está contido (GENTIL, 1996).

Chama-se de eletropositividade a tendência que um metal tem de perder um elétron, ao passo que, chama-se de eletronegatividade a tendência que um metal tem de ganhar um elétron. Sendo assim, de acordo com o meio acadêmico da química, temos que o material que apresenta maior eletronegatividade, tem a maior tendência de sofrer redução e não oxidar (VINTURINI, 2019)

Sabe-se que a corrosão galvânica é aproveitada em alguns casos na forma de proteção galvânica. De acordo com Sperandio (2020), pode-se citar como principais aplicações da proteção galvânica, as proteções dos tanques de lastros das embarcações, cascos, tanques de armazenamentos, permutadores de calor, proteção de dutos, adutoras e outras tubulações e, também, em instalações portuárias e plataforma marítimas para produção de petróleo (Apud DUTRA; NUDES, 2006).

Para saber se um material é mais eletronegativo do que outro, existem tabelas de comparações de potenciais de redução e oxidação. Na figura 12 temos um exemplo de uma tabela desse tipo. A corrosão galvânica acontece de forma mais significativa quando a diferença de eletronegatividade de dois materiais que estejam em contato e, na presença de um eletrólito, seja maior que 0,5V (VINTURINI, 2019).

Tabela 2 - Tabela comparativa de materiais e seus potenciais de redução/oxidação

Potencial de Oxidação E° (V)	Reação do Eletrodo	Potencial de Redução E° (V)
	Solução aquosa ácida	
3,09	$3/2 \text{ N}_2 + e \leftrightarrow \text{Na}^-$	-3,09
3,045	$\text{Li}^+ + e \leftrightarrow \text{Li}$	-3,045
2,925	$\text{K}^+ + e \leftrightarrow \text{K}$	-2,925

2,925	$\text{Rb}^+ + \leftrightarrow \text{Rb}$	-2,925
2,89	$\text{Sr}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Ca}$	-2,89
2,87	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Ca}$	-2,87
2,714	$\text{Na}^+ + \text{e} \leftrightarrow \text{Na}$	-2,714
2,52	$\text{La}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{La}$	-2,52
2,48	$\text{Ce}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Ce}$	-2,48
2,37	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Mg}$	-2,37
2,37	$\text{Y}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Y}$	-2,37
2,25	$1/2 \text{H}_2 + \text{e}^- \leftrightarrow \text{H}^-$	-2,25
2,08	$\text{Sc}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Sc}$	-2,08
2,07	$\text{Pu}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Pu}$	-2,07
1,85	$\text{Be}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Be}$	-1,85
1,8	$\text{U}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{U}$	-1,8
1,66	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Al}$	-1,66
1,63	$\text{Ti}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Ti}$	-1,63
1,53	$\text{Zr}^{4+} + 4\text{e} \leftrightarrow \text{Zr}$	-1,53
1,18	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Mn}$	-1,18
1,1	$\text{Nb}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Nb}$	-1,1
0,89	$\text{TiO}^{2+} + 2\text{H}^+ + 4\text{e} \leftrightarrow \text{Ti} + \text{H}_2\text{O}$	-0,89
0,81	$\text{Ta}_2\text{O}_5 + 10\text{H}^+ + 10\text{e} \leftrightarrow 2\text{Ta} + 5\text{H}_2\text{O}$	-0,81
0,763	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Zn}$	-0,763
0,74	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Cr}$	-0,74
0,65	$\text{Nb}_2\text{O}_5 + 10\text{H}^+ + 10\text{e} \leftrightarrow 2\text{Nb} + 5\text{H}_2\text{O}$	-0,65
0,53	$\text{Ga}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Ga}$	-0,53
0,44	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Fe}$	-0,44
0,41	$\text{Cr}^{3+} + \text{e} \leftrightarrow \text{Cr}^{2+}$	-0,41
0,403	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Cd}$	-0,403
0,37	$\text{Ti}^{3+} + \text{e} \leftrightarrow \text{Ti}^{2+}$	-0,37
0,342	$\text{In}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{In}$	-0,342
0,3363	$\text{Tl}^+ + \text{e} \leftrightarrow \text{Tl}$	-0,3363
0,277	$\text{Co}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Co}$	-0,277
0,255	$\text{V}^{3+} + \text{e} \leftrightarrow \text{V}^{2+}$	-0,255
0,25	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Ni}$	-0,25
0,2	$\text{Mo}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Mo}$	-0,2
0,136	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Sn}$	-0,136
0,13	$\text{O}_2 + \text{H}^+ + \text{e} \leftrightarrow \text{HO}_2$	-0,13
0,126	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Pb}$	-0,126
0,09	$\text{WO}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \leftrightarrow \text{W} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,09
0	$2\text{H}^+ + 2\text{e} \leftrightarrow \text{H}_2$	0
-0,1	$\text{TiO}^{2+} + 2\text{H}^+ + \text{e} \leftrightarrow \text{Ti}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	0,1
-0,102	$\text{Si} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \leftrightarrow \text{SiH}_4$	0,102
-0,13	$\text{C} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \leftrightarrow \text{CH}_4$	0,13
-0,141	$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \leftrightarrow \text{H}_2\text{S}$	0,141
-0,15	$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Sn}^{2+}$	0,15
-0,152	$\text{Sb}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \leftrightarrow 2\text{Sb} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,152
-0,153	$\text{Cu}^{2+} + \text{e} \leftrightarrow \text{Cu}^+$	0,153

-0,16	$\text{BiOCl} + 2\text{H}^+ + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Bi} + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}^-$	0,16
-0,222	$\text{AgCl} + \text{e} \leftrightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,222
-0,32	$\text{BiO}^+ + 2\text{H} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Bi} + \text{H}_2\text{O}$	0,32
-0,337	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Cu}$	0,337
-0,45	$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \leftrightarrow \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,45
-0,521	$\text{Cu}^+ + \text{e} \leftrightarrow \text{Cu}$	0,521
-0,536	$\text{I}_2 + 2\text{e} \leftrightarrow 2\text{I}^-$	0,536

Fonte: Gentil (1996)

É conhecido que por meio do isolamento entre os metais, é possível evitar a corrosão galvânica, pois a pilha galvânica não é formada, e assim, interrompe-se a troca de elétrons e a geração de íons. Além disso, uma película superficial nos materiais impede o contato dos mesmos com o ar evitando oxidação e, no caso de metais ferrosos, a ferrugem (VILLALVA, 2019).

Sabe-se que a vida útil dos sistemas fotovoltaicos gira em torno de 25 anos, e além disso, os mesmos não devem ser onerosos, então quanto menos reparos e trocas de peças forem feitos, menos oneroso será o sistema. Além do fator econômico, deve-se pensar também na segurança. Uma estrutura de painéis solar com elementos de fixações em estados inadequados para o uso, pode causar perigos à segurança durante rajadas de ventos, vindo a sofrer arrancamento ou queda dos painéis fotovoltaicos (VILLALVA, 2019).

Adiante, tem-se uma abordagem sobre os principais tipos de tratamentos superficiais anticorrosivos que podem ser adotados para as estruturas de painéis fotovoltaicos afim de evitar o processo de corrosão.

3.5 ANODIZAÇÃO

Esta é uma técnica exclusiva para o alumínio, que consiste em adicionar uma película superficial de óxido metálico por meio de um processo eletroquímico. Essa película faz com que o alumínio fique isolado com o meio externo e assim, evita contato direto com outros materiais (VILLALVA, 2019).

O alumínio, cria uma camada de óxido de forma natural quando é exposto ao ambiente. No processo de anodização, essa camada tem sua espessura aumentada, produzindo, dessa forma, uma camada protetora altamente impermeável em sua superfície. Os parâmetros da camada anodizada, como: espessura, diâmetro dos poros (em caso de camada porosa) e barreira, dependem da voltagem usada durante o processo de anodização (ARAÚJO et al., 2021).

3.6 GALVANIZAÇÃO

Em estruturas metálicas, quando se deseja durabilidade e baixo custo, lembra-se logo da galvanização. Afirmar-se que a galvanização é a técnica empregada com mais frequência em estruturas metálicas e também, a mais conhecida (VILLALVA, 2019). O processo de galvanização consiste em aplicar uma camada superficial de zinco sobre um material ferroso. Características como grande disponibilidade e custo relativamente baixo, quando comparado ao alumínio, alinhadas às suas boas características mecânicas, faz com que o aço seja a liga metálica mais utilizada na indústria (VILLALVA, 2019).

O aço, em sua essência, seria um material perfeito para ser escolhido para uma vasta aplicabilidade, considerando suas características descritas, entretanto, o aço em contato com a água ou com o ar é extremamente favorável à oxidação. Além disso, deve-se atentar para o processo de corrosão galvânica, já que o aço também é bastante favorável para tal processo, consciente disso, emprega-se a galvanização com o intuito de evitar essas inconveniências (VILLALVA, 2019).

Pannoni (2008) descreveu algumas vantagens e limitações do processo de galvanização, a seguir será abordado esses aspectos.

➤ Vantagens:

- Custo inicial inferior, quando se compara com outras formas de proteção do aço;
- Pequena manutenção ou custo reduzido a longo prazo;
- Vida longa. Vale ressaltar que a vida útil do revestimento depende também do ambiente em que o material vai estar exposto;
- Preparo superficial, em vista que, deve-se fazer uma imersão no ácido como pré-tratamento, e esse pré-tratamento garante a limpeza da superfície do aço, de forma uniforme;
- Boa adesão da película superficial ao aço;
- Contaminação ambiental. Sabendo que o material que servirá de revestimento não é tóxico;
- Boa velocidade de aplicação do revestimento, quando comparado ao sistema de pintura tradicional;
- Proteção uniforme, já que na galvanização o processo consegue acessar locais que seriam inacessíveis no caso de outros processos;
- Revestimento mais espesso em cantos vivos, quando comparado com o sistema tradicional de pintura;

- Proteção de sacrifício em áreas danificadas. O revestimento, que é geralmente de zinco, serve como material de sacrifício;
- Limitações da galvanização:
 - A galvanização a fogo não pode ser feita em qualquer local, apenas na indústria, na galvanizadora;
 - Somente com a pintura é que se pode alterar a coloração do zinco (material utilizado no revestimento);
 - As dimensões das peças que passaram pelo processo de galvanização são limitadas pelas dimensões da cuba de zinco líquido;
 - A alta temperatura no processo de galvanização pode causar distorções nas dimensões dos elementos posto a ser galvanizado;
 - A soldagem de aços que foram galvanizados a fogo pode solicitar procedimentos diferentes dos aços que não passaram pelo processo de galvanização.

3.7 FOSFATIZAÇÃO

Esse processo consiste em adicionar uma película superficial formada por fosfato de zinco ou compostos de zinco, no aço. Nesse processo tem-se algumas variações, uma delas é a fosfatização tricatiônica que emprega fosfato de zinco, níquel e manganês ou cálcio. No setor automobilístico há uma grande aplicabilidade desse processo de tratamento, motivada pelo fato de que esse tratamento promove grande resistência a corrosão e boa aderência para o processo de pintura (VILLALVA, 2019).

Esse processo é usado geralmente como um tratamento de superfície preparatório, do aço, para receber outro tratamento superficial, que pode ser pintura, por exemplo. Muitas funções podem ser relacionadas com a fosfatização, dentre elas, pode ser mencionado: O fato de os cristais de fosfato não ser condutores garante ao substrato metálico uma boa proteção à corrosão; Os vazios entre os cristais favorecem uma boa ancoragem para as camadas de pinturas, melhorando a adesão da tinta.

No caso da indústria automobilística, que usa deposição catódica de primers, o tratamento citado é muito bem-vindo, pois os micro poros entre os cristais da camada de fosfato deixa exposto o metal, e isso é de grande valia para que se tenha uma superfície condutora para ser feito a deposição catódica do primer (OLIVEIRA et al., 2013).

3.8 PINTURA ELETROFORÉTICA CATÓDICA (KTL)

O KTL é um tratamento conhecido como E-coat, sendo uma nomenclatura usada para caracterizar um processo de pintura por eletrodeposição. Esse processo de tratamento é bastante aplicado nas indústrias aeronáutica e automobilística, vale ressaltar que esse processo favorece um bom grau de proteção contra a corrosão. Essa técnica, consiste em depositar uma película protetora por meio de um meio aquoso e um campo elétrico. Vale salientar que, antes de ser aplicado o processo KTL, deve-se aplicar primeiro o processo de fosfatização como um processo preparatório (VILLALVA, 2019).

Uma grande vantagem desse processo no setor de sistemas fotovoltaicos, é a substituição do alumínio pelo aço em determinadas partes da estrutura de sustentação, e isso é interessante quando olhado pelo viés econômico, pois essa troca favorece uma redução de custos e, também, um considerável aumento na resistência mecânica das fixações, já que o aço tem uma maior resistência mecânica do que o alumínio (VILLALVA, 2019).

Como a fosfatização precede ao processo de KTL, e a própria fosfatização já é um bom tratamento contra a corrosão, com a aplicação do processo E-coat, o aço fica muito bem protegido do meio externo, evitando oxidação causada pelos fatores climáticos e, também, evita a corrosão galvânica. Neste processo o aço recebe uma camada extra de pigmentação orgânica e essa pigmentação orgânica é isolante elétrica, e dessa forma, possibilita combinações do aço com outros materiais como o alumínio, por exemplo, sem a preocupação da ocorrência de formar um par galvânico (VILLALVA, 2019).

O processo E-coat, é o processo de pintura mais utilizado atualmente no mundo. No Brasil, é amplamente conhecido como KTL, esse termo tem origem alemã (Kathodische Tauchlackierung). Como já foi falado, a pintura E-coat tem um bom desempenho quando se refere a proteção contra corrosão. Ele evita agentes corrosivos do tipo como o oxigênio, raios UV, umidade relativa, temperatura e atmosfera agressivas. E tem-se a ciência de que todos esses agentes estão atuando sobre o sistema estrutural do sistema fotovoltaico.

Além dessas características positivas, vale frisar o seu fator ambiental, pois é um processo ecologicamente favorável, sabendo que não descarta fluído e é totalmente a base d'água, sendo isento de metais pesados (VITOR et al., 2018).

3.9 GEOMET

Esse processo também se encaixa como um tipo de tratamento E-coat, define-se como

um tratamento anticorrosivo organometálico e usa substâncias à base de zinco e alumínio. Sua aplicação se dar por meio da imersão da peça que vai receber o tratamento em uma solução, e a partir disso, acontece o processo de tratamento através da técnica de eletrodeposição; além disso, a aplicação desse tratamento de superfície pode acontecer por centrifugação, ou também, por meio de spray. O resultado final é um revestimento de coloração acinzentado, bastante aderente e resistente. O geomet pode ser aplicado em materiais como o ferro, alumínio ou o aço, observada os produtos específicos para cada material posto na solução aquosa (VILLALVA, 2019).

Uma peça que passa pelo processo geomet apresenta características como, por exemplo, elevado grau de proteção, contendo uma película superficial de espessura muito pequena que não altera quase nada as dimensões das peças que recebeu o processo. Esse é um benefício interessante quando se considera elementos que precisa preservar dimensões precisas, como é o caso de parafusos, arruelas, e porcas, que precisam conservar suas dimensões de roscas (VILLALVA, 2019).

Comparado com os outros processos até aqui citados, se tratando de proteção à corrosão, afirma-se que é o mais eficiente, juntamente com o processo KLT, que também apresenta um alto desempenho anticorrosivo. A película formada pelo processo geomet é condutora, entretanto, não é reativa e dessa forma, não causa corrosão galvânica em contato com o alumínio ou o aço (VILLALVA, 2019).

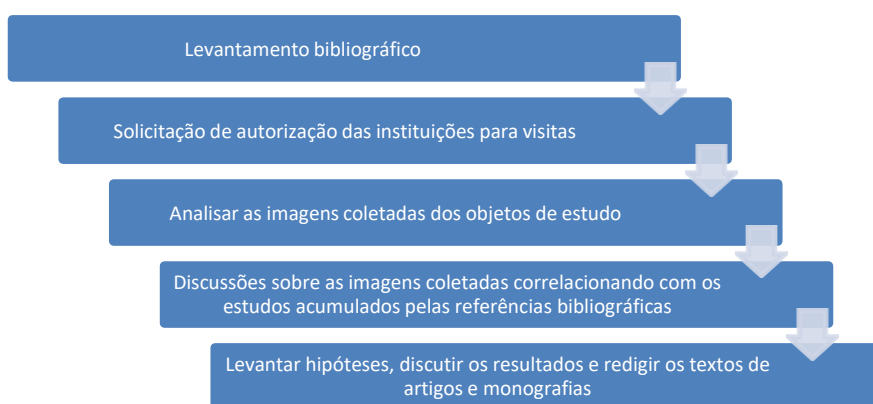
Trazendo para o setor fotovoltaicos, é notável a relevante aplicação desse processo nos elementos de fixação, como os parafusos, porcas e arruelas, já que não altera quase nada suas dimensões e preserva sua rosca e lhes confere uma grande proteção contra corrosão (VILLALVA, 2019).

4 METODOLOGIA DE ESTUDO

O presente estudo acadêmico se caracteriza como um estudo de multicasos, que tem como finalidade estudar os possíveis problemas em estruturas de fixação dos sistemas fotovoltaicos causados pela corrosão e assim, propor medidas com o intuito de diminuir as causas negativas da corrosão e preservar a segurança da usina fotovoltaica estudada.

A pesquisa baseia-se em estudo de bibliografias da área e estudos/visitas em campos para colher o máximo de informação possível. O referido estudo traz uma análise qualitativa, pois teve como objetivo analisar casos específicos em sistemas fotovoltaicos em instituições de ensino superior (IES) na cidade de Pau dos ferros/RN. A figura 16 mostra um fluxograma que ilustra o caminho que o estudo percorreu para obtenção dos objetivos.

Figura 16 - Fluxograma das atividades de estudo



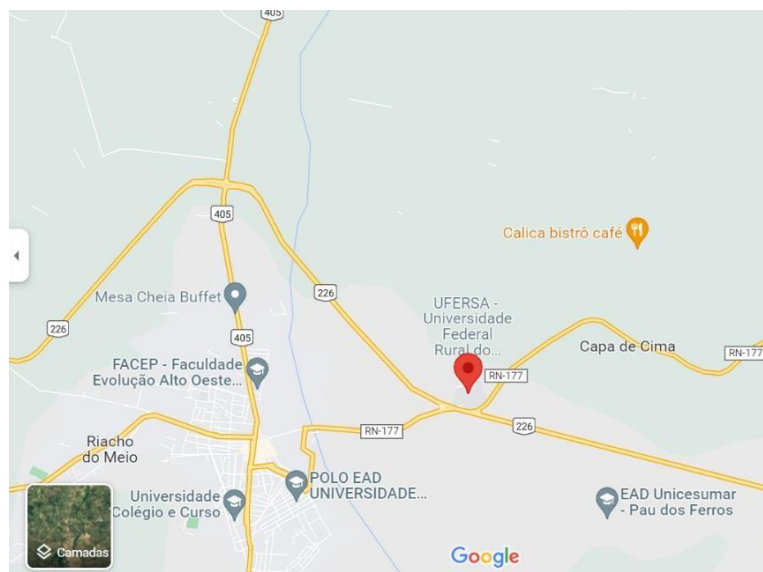
Fonte: Autor (2022)

Alguns autores como Mayring (2002), Flick e cols. (2000) defendem que o estudo de caso é o ponto de partida ou o elemento imprescindível para a pesquisa qualitativa. Os dois autores, defendem, ainda, o fato de que o método deve se adequar ao objeto de estudo (GUNTHER, 2006). De acordo com Mayring, “nem estruturas teóricas e hipóteses, nem procedimentos metodológicos devem impedir a visão de aspectos essenciais do objeto (de pesquisa)”.

Ao passo que, ressalta que, “apesar da abertura exigida, os métodos são sujeitos a um controle contínuo (...) Os passos da pesquisa precisam ser explicados, ser documentados e seguir regras fundamentais”. E o segundo autor citado, Flick e cols. (2000), enfatiza que o princípio da abertura, no caso da pesquisa qualitativa, é caracterizado por um espectro de métodos e técnicas, modificados para o caso específico da pesquisa, no lugar de ser um método padronizado único.

Um dos objetos de estudo analisado nesse trabalho, foi a usina solar da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Pau dos Ferros, que está localizada próxima à BR-226, KM 405, no bairro São Geraldo, latitude de $06^{\circ}06'21''$ S, e Longitude de $035^{\circ}36'56''$ W. A figura 17 mostra sua localização através do google maps.

Figura 17 - Localização da UFERSA, campus Pau dos Ferros, RN



Fonte: google maps (2022)

Além da figura 17, é interessante a visualização mais próxima da instituição para poder visualizar a localização da usina, essa visualização pode ser obtida através da figura 18.

Figura 18 - Visualização aérea da UFERSA, campus Pau dos Ferros

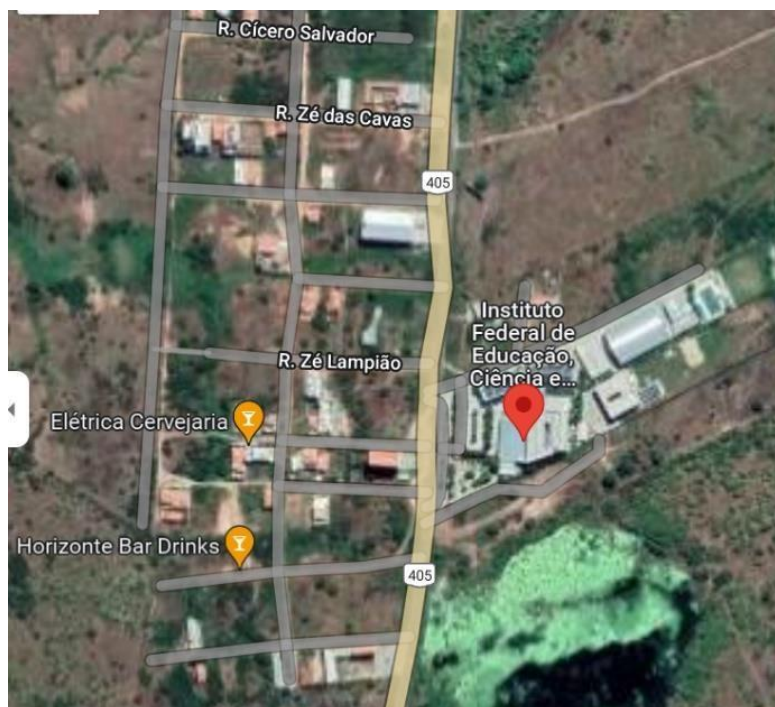


Fonte: Google maps (2022)

A usina da UFERSA, campus Pau dos Ferros, é uma usina relativamente nova e, portanto, esperava-se que não tivesse indícios de corrosões

O outro objeto de estudo foi a usina do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Pau dos ferros. A referida instituição se localiza próxima à BR-405, S/N, com latitude de $06^{\circ}08'46.045''$ e longitude de $038^{\circ}12'15.718''$. Na figura 19 é mostrado a localização do IFRN, campus Pau dos Ferros através do google maps.

Figura 19 - Localização do IFRN, campus Pau dos Ferros, RN

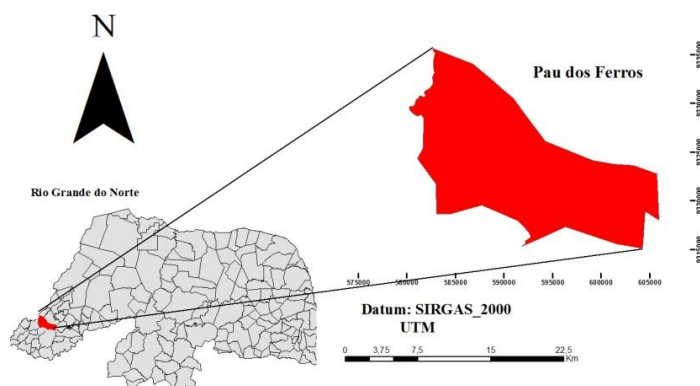


Fonte: google maps (2022)

A usina do IFRN, campus Pau dos Ferros, é uma usina relativamente nova e, portanto, esperava-se que não tivesse indícios de corrosões. As fotos coletadas para análise, foram coletadas por meio de visitas às usinas e com o auxílio de um dispositivo móvel (celular). A partir das análises dos objetos de estudos, identificando pontos específicos ou alterações inesperadas nas estruturas, buscou-se por meio de pesquisas em referências bibliográficas explicações para as tais modificações, bem como possíveis medidas a serem adotadas para solucionar os possíveis problemas identificados.

Pau dos Ferros é uma cidade de interior, caracterizada por um clima semiárido, situada a 392 quilômetros a oeste de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte. Regionalmente a cidade está localizada na mesorregião do Oeste Potiguar (SANTOS et al., 2021). Na figura 20 é possível ver sua localização dentro do estado do Rio grande do Norte-RN.

Figura 20 - Localização da cidade de Pau dos Ferros dentro do RN



Fonte: Santos et al. (2021)

De acordo com Santos et al. (2021), a região onde Pau dos Ferros está inserida recebe poucas influências de massas de ar úmidas e frias proveniente do Sul. Com temperatura média de 26,7 °C e com precipitação média de 827 mm por ano, sendo essa precipitação concentrada entre fevereiro e maio, a cidade possui um território que compreende cerca de 260 km², segundo o IBGE (2010). Vale salientar ainda que, de acordo com o estudo de Santos et al. (2021) sobre a precipitação pluviométrica no município de Pau dos Ferros, é notório que há uma predominância de anos com precipitações baixas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com Silva (2018), achar que a estrutura que fixa os painéis é a parte que menos deve-se se preocupar num sistema fotovoltaico, pode gerar problemas para todo um projeto de sistema de energia solar fotovoltaica. O referido autor, ressalta que, um erro comum no processo de especificação e aquisição dos equipamentos de fixação dos painéis, é decidir considerando apenas o custo das partes da estrutura sem levar em conta o custo total a médio e longo prazo.

Silva (2018) ainda ressalta que, os parafusos, porcas e anilhas dispostos na instalação, devem ser feitos de materiais compatíveis com o restante do material da estrutura, levando em conta a resistência contra a corrosão e a formação de um par galvânico.

Na usina do IFRN, não foi possível fazer uma boa análise, pois a instalação dela é na cobertura do prédio e não facilita uma boa observação. Na figura 21 é mostrada a referida usina.

Figura 21 - Usina fotovoltaica do IFRN, campus Pau dos Ferros



Fonte: Autor, 2022

Como já foi dito, a observação da usina do IFRN ficou comprometida, mas observando os elementos de fixação (parafusos, porcas e arruelas, que são os elementos mais passíveis de sofrer corrosão nesses sistemas, de acordo com as pesquisas realizadas), não foi possível verificar corrosões nos mesmos, provavelmente por ter passado por procedimento de manutenção. A figura 22 mostra os elementos de fixação da referida usina com mais detalhe.

Figura 22 - Elementos de fixação da usina do IFRN, campus Pau dos Ferros



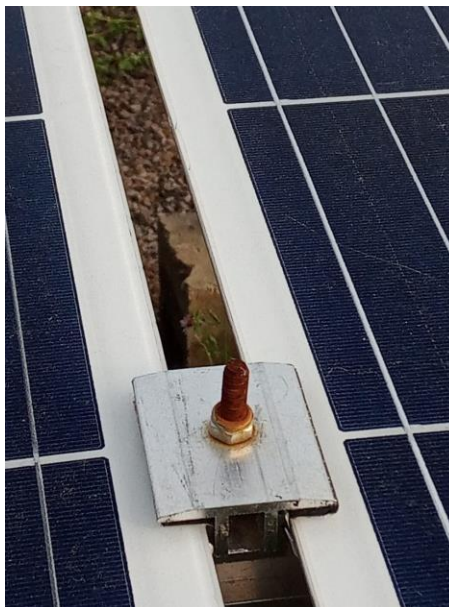
Fonte: Autor, 2022

Já na usina da UFERSA, foi possível uma melhor observação, já que é instalada no solo. Na usina da UFERSA foi observado que os parafusos estão sofrendo corrosão, e pelas pesquisas feitas, essa corrosão pode estar associada com o processo de corrosão galvânica, que foi ocasionado pela incompatibilidade do material da estrutura com os parafusos.

Esta incompatibilidade, fez com que houvesse uma transferência de elétrons de um material para o outro ocasionando uma corrosão no material mais eletropositivo, que nesse caso foi o parafuso. Salienta-se ainda que, o parafuso pode ter tido um processo de corrosão de forma acelerado, motivado pela diferença da área do ânodo e do cátodo. Pois de acordo com Vinturini (2019), a corrosão se torna mais severa se a área do ânodo (material que cede os elétrons e sofre oxidação) for muito menor do que a área do cátodo (material que recebe elétrons e sofre redução).

Observando a estrutura, é provável que o parafuso tenha uma área bem menor do que a área dos outros materiais que ele foi posto em contato e, como esses materiais estão formando um par galvânico, é provável que realmente o parafuso tenha se degradado de forma acelerada. Na figura 23, que foi coletada em campo, é possível observar um dos parafusos da estrutura oxidado.

Figura 23 - Parafuso oxidado por corrosão galvânica, na usina da UFERSA, campus Pau dos Ferros



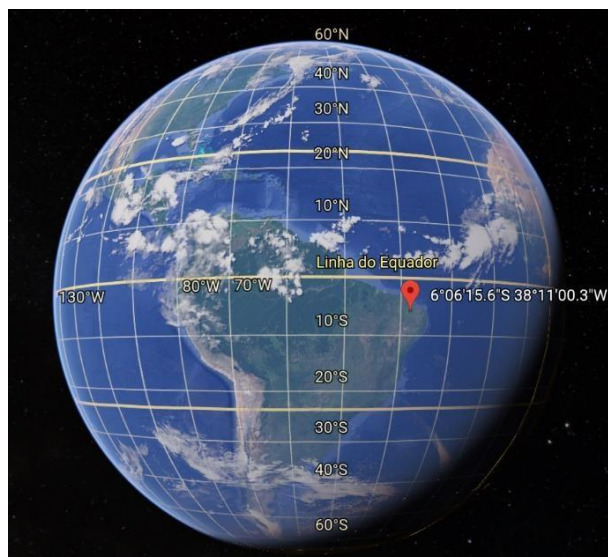
Fonte: Autor, 2022

Vinturini (2019) afirma que a corrosão em parafusos é preocupante, pode causar falhas graves na estrutura. Além do risco da quebra do parafuso e a estrutura vir a ter ruína e trazer danos onerosos, a corrosão em parafusos pode causar afrouxamento, que pode alterar a angulação mais propícia ao maior rendimento das células fotovoltaicas.

No caso estudado, de posse das coordenadas da usina, latitude e longitude, que foram adquiridas por meio da ficha técnica da usina fotovoltaica da UFERSA, disponibilizada pelo fabricante das placas fotovoltaicas, é possível observar que a usina está localizada muito próxima da linha do equador e, portanto, essa pequena variação da angulação por causa do afrouxamento dos parafusos, provavelmente não influencia tanto na eficiência das placas fotovoltaicas.

Ainda é possível afirmar, que esse afrouxamento no aperto dos parafusos, causado pelo processo corrosivo, pode ocasionar falha mecânica na estrutura de sustentação, devido vibrações causadas pela presença de vento, naquela região do Campus. Na figura 24 é possível visualizar a localização da usina com relação à linha do equador.

Figura 24 - Localização da Usina da UFERSA com relação à linha do equador



Fonte: Google Earth (2022)

Portanto, deve-se atentar para os níveis de vibrações na usina causada pelas rajadas de ventos na região, em vista que, essas vibrações excessivas podem contribuir para um maior desgaste dos componentes de fixação. De acordo com a NBR 6123, na região de Pau dos Ferros, a velocidade básica do vento é na ordem de 30 m/s, essa medida é considerando uma rajada de 3 segundos, que acontece, em média, uma vez em 50 anos, a uma distância de 10 metros acima do terreno, considerando campo aberto e plano. Alguns dados relevantes sobre o vento podem ser obtidos a partir da estação meteorológica instalada na UFERSA, campus Pau dos Ferros.

De posse desses dados, adquiridos no site da UFERSA, por meio de uma planilha excel disponibilizado no referido site, tem-se que a velocidade máxima dos ventos chegam à ordem de 8,50 m/s, os dados coletados foram dos anos de 2018 e 2019, a uma distância de 2 metros do solo. Segundo Silva (2020), o estado do Rio grande do Norte é bastante conveniente para a produção de energia eólica, em vista disso, deve-se atentar para a influência da intensidade dos ventos nos desgastes dos elementos de fixação da usina, causado pelo excesso de vibração caso os elementos não estejam bem fixados.

Outra observação importante que foi possível ser obtido na usina da UFERSA, campus Pau dos Ferros que, alguns parafusos da usina não sofreram corrosão. Observando os parafusos que não sofreram corrosão, chegou-se à conclusão que estes, são de tipos diferentes dos parafusos corroídos, o que corrobora com a afirmação de que a corrosão que está acontecendo em alguns parafusos, é causada pela formação de uma pilha galvânica provocada pela incompatibilidade de material do parafuso com os outros materiais que está em contato com ele.

O que fez os outros parafusos não corroerem, foi o tipo de material desses parafusos que são de tal forma que não propiciou a formação de um par galvânico, pois, os parafusos que estão corroídos e os que não estão, foram utilizados com a mesma finalidade e consequentemente estão em contato com o mesmo tipo de material, inseridos no mesmo ambiente atmosférico. De maneira que a única variável que mudou foi o tipo de parafuso utilizado, que pode ser visto com facilidade na figura 25.

Figura 25 - Comparativo de um parafuso corroído e outro não (Usina da UFERSA)



Fonte: Autor, 2022

Comparando o elemento de fixação ilustrado na figura 25 (parafuso corroído) com o elemento de fixação ilustrado na figura 26 (parafuso não corroído), é notório que são de tipos diferentes. Portanto, de acordo com as pesquisas realizadas, a não padronização de matérias utilizados proporcionou um processo de corrosão galvânica. Na figura 26 é possível visualizar o parafuso não corroído com mais detalhe.

Figura 26 - - Parafuso não corroído (UFERSA, campus Pau dos Ferros)



Fonte: Autor, 2022

6 CONCLUSÃO

Diante das análises feitas dos objetos de estudos, alinhado às pesquisas realizadas sobre possíveis causas de corrosão em estruturas de aço e alumínio, que são os materiais usados nas estruturas de fixação dos sistemas fotovoltaicos, pode-se concluir que os parafusos da estrutura da usina da UFERSA, Campus Pau dos Ferros, sofreram corrosão galvânica por incompatibilidade dos materiais utilizados e postos em contato.

Uma medida que poderia ser adotada para sanar tal inconveniência encontrada nos parafusos, seria adotar o processo anticorrosivo GEOMET, pois assim, os parafusos estariam protegidos da corrosão já que o processo GEOMET evita a corrosão galvânica e ainda manteria as dimensões das roscas dos parafusos, mantendo assim, sua funcionalidade.

Além disso, poderia ser adotado processo KTL nas guias de alumínios e nas partes de aço que estejam em contato com os parafusos, tendo em vista que esse processo também serve como um isolante e é um ótimo método anticorrosivo. Este, por sua vez, atuaria reforçando mais ainda a prevenção da corrosão galvânica nos parafusos.

Uma outra sugestão para resolver os problemas de corrosão dos parafusos, mais viável e conveniente quando comparada com as outras soluções citadas, seria fazer a troca dos elementos de fixação da usina por elementos padronizados e compatíveis, afim de evitar a formação de um par galvânico entre os materiais.

Por fim, pôde-se concluir que o trabalho tem uma proposta inovadora no aspecto da manutenção da eficiência dos sistemas fotovoltaicos, por ter observado processos corrosivos nos parafusos que sustentam a estruturas dos módulos fotovoltaicos. Podendo avaliar medidas corretivas e preventivas para as situações encontradas.

O grande desafio para o presente trabalho foi o fato de as usinas fotovoltaicas serem instalações novas no mercado e, por isso, não se ter ainda muitos estudos sobre o assunto de corrosões nas estruturas de usinas solar, estudos esses que poderiam ter servido de mais embasamento teórico para o presente trabalho acadêmico.

Uma sugestão para futuros trabalhos seria o pesquisador tentar acompanhar como se comporta os elementos de fixação durante cada estação do ano nos respectivos ambientes que estão inseridas as usinas, afim de investigar se tem alguma época do ano que seja mais propícia para causar dano aos equipamentos, descobrindo isso, pode-se procurar soluções, talvez temporárias que tenham um menor custo, viando obter cada vez mais um melhor custo-benefício.

REFERÊNCIAS

ABELLA, Miguel. **Sistemas fotovoltaicos**. Madrid, outubro, 2001.

ARAUJO, J. V. S. et al. **O processo de anodização do alumínio e suas ligas: Uma abordagem histórica e eletroquímica**. Quim. Nova, São Paulo, v. 44, n. 8, p. 999-1011, abr. 2021.

ARAÚJO, José Rafael Benigno de; FERREIRA, Rafael da Costa. Potencial para instalação de sistemas fotovoltaicos residenciais na região nordeste. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos-RN, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 66 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de Estrutura de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 237 p.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. [S. l.], 2022.

CORROSÃO D EQUIPAMENTOS E AS ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO FOTOVOLTAICAS. **SSM Solar do Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://www.ssmsolardobrasil.com.br/ssm/blog-pg/32/>>. Acesso em: 05 de jun. de 2022.

CRUZ, Helder. **Estudo da resistência à corrosão de absorsores em sistemas solares térmicos**. Setembro, 2010.

DANIELA-ABIGAIL, H.L. et al. **Does recycling solar panels make this renewable resource sustainable? Evidence supported by environmental, economic, and social dimensions**. Sustainable Cities and Society. Elsevier, 2022.

ECOIA ENERGIAS RENOVÁVEIS (Brasil, Paraná, Curitiba). Inversor Solar Fotovoltaico: Modelo e Suas Diferenças. [S. l.], 1 dez. 2020. Disponível em: <https://www.ecoiaenergias.com.br/inversor-solar-fotovoltaico-modelos-diferencas/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

FORTUNATO, Mario Eduardo. Fontes de Energia Alternativas nas Operações das Companhias de Comunicações: Emprego de Repetidora GTR8000 Pelo CCOM/AMAN em 2018. Orientador: Cap Com Victor de Souza Filgueiras. 2018. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Militares) - Academia Militar das Agulhas Negras, Resende, 2018.

FRAUCHES-SANTOS, C et al. **A corrosão e os agentes anticorrosivos**. Revista virtual de química, Rio de Janeiro, p. 293-309, Dezembro, 2013.

GE, M. et al. **Structural optimization of thermoelectric modules in a concentration photovoltaic-thermoelectric hybrid system**. Energy. Elsevier, 2022.

GENTIL, Vicente. Corrosão. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1996. 345 p.

GUNTHER, Hartmut. **Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: Esta é a questão?**. Psicologia: Teoria e pesquisa, Brasília, v. 22, n. 2, p. 201-209, mai./ago. 2006.

INOLE ENERGIA SOLAR S.A. (Brasil, Pernambuco, Recife). O que Esperar do Mercado de Energia Solar em 2022. [S. l.], 7 mar. 2022. Disponível em: <https://inole.com.br/tendencias-mercado-energia-solar/>. Acesso em: 16 jun. 2022.

LAU, Lucas. Estruturas para Sistemas Fotovoltaicos: Tipos e Características Importantes. [S. l.]: Sharenergy, 26 nov. 2017. Disponível em: <https://sharenergy.com.br/estruturas-para-sistemas-fotovoltaicos-tipos-e-caracteristicas-importantes/>. Acesso em: 16 jun. 2022.

MICHA, Renan. **Tabela de potenciais-padrão de redução**. Educação.globo. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/quimica/assunto/eletroquimica/pilhas.html>>. Acesso em 24 de maio de 2022.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (Brasil, Rio Grande do Norte, Pau dos Ferros). UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO. Usinas solares da UFERSA: As usinas solares. [S. l.], 10 jun. 2022. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (Brasil, Rio Grande do Norte, Pau dos Ferros). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Estação Meteorológica da UFERSA Campus Pau dos Ferros. [S. l.], 3 jul. 2019. Disponível em: <https://engcivilpauferros.ufersa.edu.br/estacao-meteorologica-cmpf/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

MIRANDA, Stella. Energia Solar no Brasil: O que Diz a Legislação e Qual a Sua Importância?. [S. l.]: Canal Solar, 22 abr. 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil-o-que-diz-a-legislacao-e-qual-a-sua-importancia/>. Acesso em: 16 jun. 2022.

OLIVEIRA, Esdras Alex Freire de; FILHO, José Gonçalves de Araújo. Perspectivas da geração e aplicação da energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão da literatura (2015-2019). Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais: Ibero-American Journal of Environmental Sciences, [s. l.], ano 2021, v. 12, n. 5, p. 435-450, 18 maio 2021.

OLIVEIRA, M.F et al. **Estudo comparativo da fosfatização inorgânica e orgânica do aço carbono 1008 quanto à resistência a corrosão**. Revista matéria, Paraná, v. 18, n. 03, p. 1395-1409, set. 2013.

PANNONI, Fabio. **Princípios da galvanização a fogo**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266345339_Principios_da_Galvanizacao_a_Fogo>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

SANTOS, W et al. **Precipitação pluviométrica no município de Pau dos Ferros de 1964 a 2015**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, V. 7, n. 01, p. 5672-5684, jan. 2021.

SILNA, R. **A evolução do setor de energia eólica nos municípios da costa branca potiguar**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em ciências econômicas) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, p. 61. 2020

SILVA, Igor. **Galvanização de estruturas de painéis fotovoltaicos**. Intercorr, São Paulo, p. 1-9, Mai. 2018.

SOLAR, Portal. **Dados do mercado de energia solar no Brasil**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar>. Acesso em: 05 Ago. 2021.

SPERANDIO, Gabriela. **Influência da adição do silício na eficiência de anodos de alumínio para proteção catódica**. Orientador: André Gustavo de Sousa Galdino. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Tecnologias sustentáveis, programa de pós graduação, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

VILLALVA, Marcelo. **Prevenção da corrosão nas estruturas metálicas fotovoltaicas**. Canal solar, 2019. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/prevencao-corrosao-estruturas-fv/>>. Acesso em: 26 de maio de 2022.

VINTURINI, Mateus. **Corrosão galvânica em estruturas metálicas de sistemas fotovoltaicos**. Canal solar, 2019. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/corrosao-galvanica-em-estruturas-metalicas/>>. Acesso em: 26 de maio de 2022.

VITOR, A. S. et al. **Processo de pintura e revestimento superficial E-coat**. Pesquisa e ação, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 101-105, maio. 2018.