

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**JOARLEY LUCIANO TRISTÃO**

**INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DE**  
**MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

**Varginha**  
**2021**

**JOARLEY LUCIANO TRISTÃO**

**INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DE  
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Mecânica do Centro Universitário do Sul  
de Minas como pré-requisito para  
obtenção do grau de bacharel, sob  
orientação do Prof. Adilson Amaro da  
Silva.

**Varginha**  
**2021**

**JOARLEY LUCIANO TRISTÃO**

**INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DE  
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia Mecânica  
do Centro Universitário do Sul de Minas como  
pré-requisito para obtenção do grau de  
bacharel pela Banca Examinadora composta  
pelos membros:

Aprovado em:     /     /

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus, pela minha vida, e por me ajudar a superar todos os obstáculos ao longo deste curso.

Aos meus pais e irmãos, que me incentivaram nos momentos difíceis e que sempre estiveram comigo durante toda essa trajetória.

Aos meus amigos (as) e colegas de trabalho, que sempre me apoiaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos mestres, pelas repreensões e ensinamentos que me permitiram desenvolver um melhor desempenho no meu processo de formação acadêmica e profissional.

A linguagem é uma ciência e uma arte, muito parecida com a arquitetura, à matemática ou a engenharia: existem boas e más construções, e as boas construções valem mais, legam funções melhores e se mantêm de por mais tempo.

Ícaro de Carvalho

## RESUMO

O presente trabalho visa acompanhar o processo de implantação de inspeção e manutenção em usinas fotovoltaicas, visando à eliminação do problema que se tornou recorrente devido às falhas e problemas de montagem na estrutura. O objetivo é explorado através da elaboração de um referencial teórico onde descreve e conceitua os principais tipos de manutenção e componentes do sistema fotovoltaico, descrevendo suas características e a grande importância para o funcionamento adequado do equipamento. A garantia da manutenção e inspeção das estruturas de fixação dos módulos tem necessidade de buscar reduzir o retrabalho e perda de tempo. Para a implantação, também foram levadas em consideração as falhas operacionais causadas, visto que elas sobrecarregam mecanicamente o equipamento, ocasionando manutenções não programadas e prejuízos para a empresa. Do ponto de vista financeiro, o retrabalho esta aumentando a mão de obra repetitiva entre outros gastos foi realizada uma comparação entre os gastos relacionados com as inspeções e manutenções não programadas do equipamento no ano anterior, e os gastos gerados com a implantação do sistema de manutenção preventiva esta bem recente, os resultados estão no processo de análises e possivelmente serão satisfatórios. Após a instalação do tipo de manutenção correta começaram a aparecer menos falhas e retrabalho, foram perceptíveis as melhorias, elevando seus índices de confiabilidade e disponibilidade.

**Palavras-chave:** Sistema Fotovoltaico. Estruturas de fixação de Módulos. Inspeção e Manutenção.

## **ABSTRACT**

The present work aims to accompany the process of implantation of inspection and maintenance in photovoltaic plants, aiming at the elimination of the problem that has become recurrent due to faults and problems of assembly in the structure. The objective is explored through the elaboration of a theoretical reference where it describes and conceptualizes the main types of maintenance and components of the photovoltaic system, describing its characteristics and the great importance for the proper functioning of the equipment. The guarantee of maintenance and inspection of the module's fixing structures needs to seek to reduce rework and waste time. For the implementation, the operational failures caused were also taken into account, since they mechanically overload the equipment, causing unscheduled maintenance and losses for the company. From a financial point of view, rework is increasing repetitive labor among other expenses; a comparison was made between the expenses related to the inspections and unscheduled maintenance of the equipment in the previous year, and the expenses generated with the implementation of the maintenance system. Preventive is very recent, the results are in the process of analysis and possibly will be satisfactory. After installing the correct type of maintenance, fewer failures and rework began to appear, improvements were noticeable, raising their reliability and availability rates.

**Keywords:** Photovoltaic system. Modules fixing structures. Inspection and Maintenance.



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	1
_2.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	1
_2.1.2 ESTRUTURA DE SUPORTE PARA FIXAÇÃO DE PLACA FOTOVOLTAICA.....	2
_2.1.3 Tipos de estrutura de fixação de Placas fotovoltaicas .....	2
_2.2 FALHAS NA ESTRUTURA .....	5
_2.2.1 FATORES CLIMATICOS QUE CAUSAM FALHAS NA ESTRUTURA.....	5
_2.3 A FUNÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	5
_2.3.1 OS TIPOS DE MANUTENÇÃO .....	8
_3.1 AVALIAÇÕES ESTRUTURAIS .....	9
_3.1.2 PROJETO ESTRUTURAL .....	10
_3.1.3 PROJETO ESTRUTURAL DE SOLO .....	10
4 GALVANIZAÇÃO A FOGO .....	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS .....	38

## **1 INTRODUÇÃO**

Com o presente trabalho vamos demonstrar a importância da realização de inspeções e manutenções, para o caso de estruturas de solo em estrutura metálica para fixação dos módulos fotovoltaicos, tendo em vista a identificação dos principais mecanismos de degradação, podemos evidenciar as várias anomalias que usualmente são identificadas neste tipo de estruturas. A importância da inspeção e manutenção no setor de energia fotovoltaico, e no setor de estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos vem tendo uma crescente necessidade. Pois o setor de energia fotovoltaica esta em crescente no mercado, e com isso as falhas nas estruturas começam aparecer.

A realização de inspeções e manutenções permite um conhecimento aprofundado da condição estrutural do sistema fotovoltaico, permitindo uma priorização das necessidades de intervenção e conseqüentemente, a correta aplicação das inspeções e manutenções a realizar. Podendo-se assim, repor os padrões aceitáveis de desempenho e garantir a sua integridade estrutural.

Nos sistemas fotovoltaicos, a incidência de descargas atmosféricas pode ocasionar desde a deterioração dos componentes até a destruição completa do sistema ou uma drástica redução da vida útil dos equipamentos, resultando num custo de manutenção que impacta diretamente no comportamento mecânico da estrutura.

As estruturas de fixação e as placas fotovoltaicas devem ser instaladas, de maneira que um Engenheiro Mecânico ou outro profissional, que tenha conhecimento sobre a manutenção correta, para realizar as verificações e manutenções necessárias de uma maneira fácil. A instalação depende do tipo de edificações, tipo de telhado. Muitos telhados exigem uma estrutura de fixação, pois cada um tem uma necessidade de parafuso diferente, apertos diferentes.

Segundo Lorenzo e Zilles (1994), a estrutura que fixa a placa fotovoltaica precisa ser de material resistente à corrosão e de montagem correta, obedecendo às normas vigentes.

Este trabalho tem como objetivo geral a apresentação de problemas relacionados a analisar as formas de como aumentar a confiabilidade da estrutura, facilitar a inspeção e manutenção os módulos fotovoltaicos. Analisar as melhores posições para instalação das estruturas de fixação.

Os objetivos específicos propostos neste trabalho são:

- Levantar uma análise dos tipos de manutenções, para aplicar a manutenção adequada de acordo com a necessidade de cada ambiente;
- Analisar as formas de melhoria de manutenção das estruturas de fixação dos módulos de captação de energia solar;
- Conceituar os materiais mais resistentes para cada tipo de estrutura e local de montagem;
- Elaborar um projeto de planejamento para realizar inspeções e manutenções necessárias;
- Verificar as possíveis deformações mecânicas que ocorrem na estrutura de fixação dos módulos de captação de energia solar.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células fotovoltaicas são as responsáveis pelo funcionamento de um sistema fotovoltaico, é através delas que os efeitos fotovoltaicos se dão através disso, a radiação é convertida diretamente em energia elétrica. Nas células fotovoltaicas são utilizados materiais de silício, arseneto de gálio, telureto de cádmio ou disselto de cobre, esses materiais são excelentes semicondutores de eletricidade, e são adicionados dopantes com o objetivo principal criar um meio conveniente ao estabelecimento do efeito fotovoltaico. (IST; DGS; EU, 2004).

Esses semicondutores citados acima são sólidos e tem uma excelência estrutura atômica e cristalina, com condutividade intermediária, esses materiais são os mais adequados para o uso nas células fotovoltaicas. A maioria das células é composta por material de silício, isso equivale a 95% de todas as células fotovoltaicas espalhadas pelo mundo todo.

O material utilizado nas células fotovoltaicas precisa ser o mais puro possível, e necessário à separação do oxigênio não desejado do dióxido do silício, após esse processo a areia sílica é aquecida juntamente com o pó de carvão, dando se origem ao silício metalúrgico, que tem em sua composição 98% de pureza e os 2% são de impurezas no silício para serem utilizadas em equipamentos eletrônicos. Logo após é necessário fazer a purificação do silício em estado bruto através de alguns processos químicos. Assim que efetuamos esse processo temos o silício de ótima qualidade, que pode ser processado de vários modos para produzir células monocristais e policristais. (IST; DGS; UE, 2004).

Uma das características dos materiais semicondutores é uma banda de Valencia preenchida totalmente por elétrons e uma banda de condução completamente vazia. Os quatro elétrons de ligação dos átomos silício se unem com seus vizinhos é formada uma rede cristalina. E são adicionados átomos de cinco elétrons de ligação, tal como o fósforo, nessa ligação haverá um elétron em excesso que não poderá ser ligada, conseqüentemente a baixa energia térmica, o elétron em excesso vai para a banda de condução. E esse fenômeno ocorrido, o fósforo é um dopante de elétrons, ele é conhecido por *dopante n* ou *impureza n* (CRESESB, 2004).

### 2.1.2 ESTRUTURA DE SUPORTE PARA FIXAÇÃO DE PLACA FOTOVOLTAICA

A estrutura de fixação de placas fotovoltaicas tanto para telhados como para montagem sobre o chão, é uma parte fundamental do sistema fotovoltaico e impacta diretamente no processo de instalação.

### 2.1.3 TIPOS DE ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS

Existem diversos de estrutura de fixação das placas fotovoltaicas, veja abaixo os mais utilizados:

Figura 1: Estrutura de fixação de Placas Fotovoltaicas para telhas de barro “Parafuso Prisioneiro” como interface entre o trilho e a cobertura



Fonte: Sistema instalado pela empresa E-Sol de Uberlândia

Figura 1.2: Fixação de placas fotovoltaicas em telhas de barro usando “gancho” como interface entre o trilho e a cobertura.



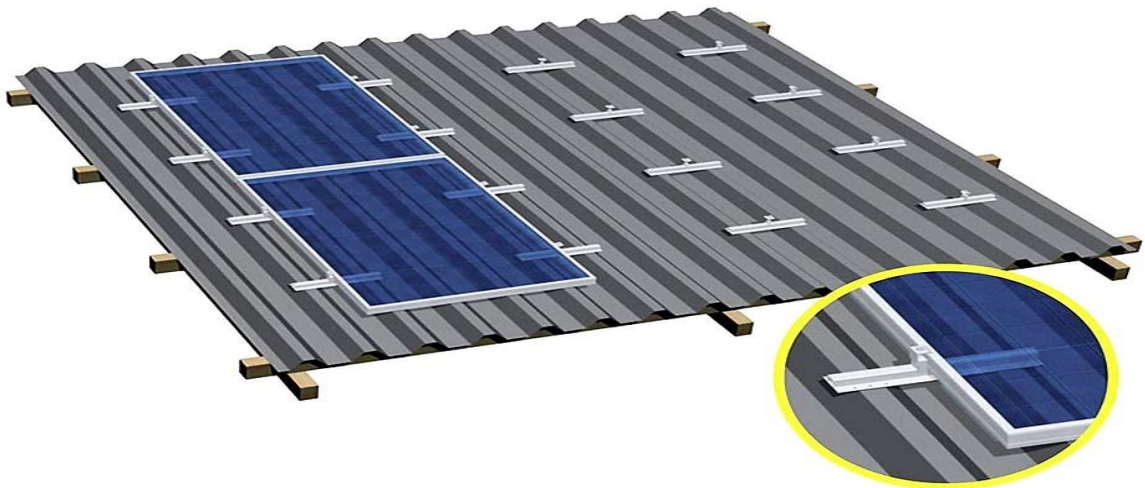
Fonte: Portal Solar

Figura 2: Estrutura de fixação de painel solar fotovoltaico para coberturas com telha de fibrocimento (eternit)



Fonte: Portal Solar

Figura 3: Estrutura de fixação de placas fotovoltaicas para telhas metálicas trapezoidais:



Fonte: Portal Solar

Figura 3.1: Estrutura de fixação de placas fotovoltaicas para telhas metálicas trapezoidais:



Fonte: Portal Solar

Figura 4: Estrutura de fixação de placas fotovoltaicas para telhas metálicas



Fonte: Portal Solar

Fonte: Figuras 5 e 5.1: Estrutura de fixação de painel solar fotovoltaico para laje de concreto



Fonte: Portal Solar

Figura 6: Estrutura de fixação de placas fotovoltaicas para o solo



Fonte: Portal Solar

## **2.2 FALHAS NA ESTRUTURA**

Algumas das falhas mais frequentes na estrutura das placas fotovoltaicas são os desapertos dos parafusos, causado pela deformação do telhado. E com essa ocorrência, o suporte da estrutura da placa fotovoltaica perde a sua estrutura mecânica. Com o tempo, a degradação da borracha que faz a vedação no telhado resseca, e começa a se desfazer. Causando também uma falha no equipamento, que pode ocorrer à oxidação da telha e do parafuso fixado no suporte. As placas fotovoltaicas podem não se encaixar perfeitamente na estrutura do suporte, ocasionando uma má fixação e o desalinhamento das placas fotovoltaicas, resultando a vibrações mecânicas por conta de fortes ventos.

Outro fator que dificulta a instalação da estrutura é a inclinação do telhado, o que impede a locomoção no telhado.

A expectativa de vida útil e durabilidade dos painéis solares dependem da garantia de cada fabricante, entretanto, é calculado, em média, um período de 25 anos.

Atualmente, com os avanços tecnológicos, os painéis fotovoltaicos fabricados são mais robusto, e maior durabilidade. A perda de eficiência deles é muito pequena: os fabricantes garantem 90% da potência até o décimo segundo ano e 80% em 25 anos.

### **2.2.1 FATORES CLIMATICOS QUE CAUSAM FALHAS NA ESTRUTURA**

O que pode causar falhas na estrutura das placas são as chuvas ácidas, dependendo da localização em que a usina fotovoltaica foi instalada. A poeira impede que a captação de energia seja eficiente, a chuva de granizo danifica as placas fotovoltaicas, gerando trincas na superfície e diminuindo a produtividade do sistema. O vento também é um fator climático que causa os maiores números de falhas na estrutura das placas fotovoltaicas, pois ele atinge a estrutura mecânica do material, atinge a carga de ruptura e de elasticidade, se a força do vento for forte, faz a torção da estrutura, causando o arrancamento da fixação da estrutura fixada no telhado, e causando danos no telhado.

## **2.3 A FUNÇÃO DA MANUTENÇÃO**

No início do século passado, passamos ter a existência e viver uma mutação nos processos produtivos e, com consequência, a velocidade e o desenvolvimento de novas máquinas cresceu. A revolução microeletrônica, que é baseada na produtividade extensiva, e



em grande escala, e padronização de produtos, a ancoragem na existência de energia e materiais baratos, qualidades bem inferiores, transformou as relações sócio produtivas, criando uma ruptura nos padrões tecnológicos das sociedades industriais.

A complexidade dos equipamentos atuais e a necessidade que exige os equipamentos estejam aptos a desempenhar as suas designadas funções durante o maior tempo possível gerem grandes esforços elétricos, mecânicos e térmicos, e esses esforços geram desgastes, que afetam o funcionamento correto e diminuindo sua vida útil. O desgaste não será sempre gradual, ele pode acontecer de maneira aleatória e inesperada. E para reduzir esses desgastes e falhas no equipamento, temos a manutenção, que é um conjunto de ações tanto técnicas como administrativas que permite manter ou ter um restabelecimento um bem dentro de um estado específico.

O objetivo da manutenção é fazer que as estruturas e seus componentes não tivessem perdas de suas características mecânicas, elétricas sempre buscando aumentar a disponibilidade. Alguns países possuem suas normas técnicas de manutenção e a do Brasil é a Associação Brasileira de Normas técnicas (1994).

A manutenção é um dos fatores importantes e estratégicos dentro das empresas, e seu desempenho afeta o desempenho da empresa.

Hoje as empresas precisam de um setor específico para realizar suas manutenções, e ela passou a participar efetivamente dos resultados da empresa. E o setor de manutenção passou a buscar objetivos bem específicos a respeito que a empresa mantivesse um alto grau de produção e com menores custos possíveis, como:

- a. Garantir que as normas de segurança como a NR 10 e NR 35 não sejam quebradas e não causar danos ao meio ambiente;
- b. Manter o estoque organizado, com o histórico em dia e baixo volume de materiais.
- c. Buscar sempre a evolução dos equipamentos (Placas Fotovoltaicas) e baixar custos;
- d. Ter conhecimento dos custos envolvidos quando parada a produção.

Para que todos os objetivos sejam afetados de forma positiva, é necessário que todas as áreas envolvidas na manutenção de equipamentos, estruturas do suporte das placas fotovoltaicas e etc. Haja com toda eficiência e eficácia possível, a eficiência está diretamente ligada ao "fazer corretamente" por meio:

- a. De solução de problemas;
- b. De economia de recursos;
- c. De Cumprimento das obrigações;
- d. De diminuição dos custos;
- e. De caracterização como "ganhador".

E a eficácia está ligada a fazer as coisas corretamente, que significa ter uma postura gerencial moderna voltada para:

- a. Antecipação aos problemas;
- b. Aperfeiçoar a utilização dos recursos;
- c. Obtenção de resultados

Feita essa comparação, podemos afirmar que a eficácia pode ser aprendida, que podemos nos aperfeiçoar e prepara para conseguir fazer as coisas certas.

A estrutura que fixa a placa fotovoltaica precisa ser de material resistente à corrosão e de montagem correta, obedecendo às normas vigentes.

As estruturas de fixação e as placas fotovoltaicas devem ser instaladas, de maneira que um Engenheiro Mecânico ou outro profissional, que tenha conhecimento sobre a manutenção correta, para realizar as verificações e manutenções necessárias de uma maneira fácil. A instalação depende do tipo de edificações, tipo de telhado. Muitos telhados exigem uma estrutura de fixação, pois cada um tem uma necessidade de parafuso diferente, apertos diferentes.

A maioria dessas instalações de usinas fotovoltaicas é em estruturas metálicas, esse tipo de edificação tem tido um crescimento considerável na construção civil, devido o menor tempo de construção e mais resistência à edificação. Um dos fatores que podem causar danos na estrutura e no telhado são os fortes ventos, por isso as estruturas das placas fotovoltaicas precisam estar bem fixadas e resistentes. As instalações precisam ser realizadas de acordo com a harmonia do telhado, as placas fotovoltaicas são colocadas em modo retrato para acompanhar o caimento do telhado. Caso não tenha espaço suficiente para serem instaladas em modo retrato, utiliza-se o modo paisagem, mas fica fora da harmonia do telhado.

Nos últimos anos a humanidade tornou-se dependendo da energia elétrica, tal dependência cresce em função do avanço tecnológico. Em contrapartida, a base de nossa matriz energética é constituída por fontes que não são limpas e insustentáveis, que por sua vez causa impactos significativos ao meio ambiente. Dessa forma surge a necessidade de buscar por fontes alternativas, onde cada vez mais a produção em pequena escala vem tomando espaço dentro da matriz, como é o caso da energia solar, cada vez mais presente nas residências (TORRES, 2012). Na realização desse trabalho, serão necessárias algumas inspeções, dividindo em etapas.

A princípio, verificou as instalações das usinas de energia solar; comparou e inspecionou outras usinas que já estão instaladas há algum tempo, para ver qual a necessidade de manutenção, e criando um planejamento a fim de analisar qual tipo de correção aplicar.

Os critérios necessários com o objetivo de realização desse planejamento parte da verificação do plano de ação da equipe de operação, realizando juntamente com o responsável no período planejado.

Logo após, verificar com a equipe de planejamento onde houve mais repetições de falhas, tanto de operação, quanto manutenção que ocorreu fora do prazo, onde ocasionou uma demanda maior de tempo perdido, e realizar a manutenção corretiva não planejada, analisar a análise de falhas, melhor forma para melhorar, e seguindo também, um plano para diminuir o retrabalho de operação.

Na realização desse trabalho, serão necessárias algumas inspeções, dividindo em etapas.

A princípio, verificar as instalações das usinas de energia solar; comparar e inspecionar outras usinas que já estão instaladas há algum tempo, para ver qual a necessidade de manutenção, e criando um planejamento a fim de analisar qual tipo de correção aplicar.

Os critérios necessários com o objetivo de realização desse planejamento parte da verificação do plano de ação da equipe de operação, realizando juntamente com o responsável no período planejado.

Logo após, verificar com a equipe de planejamento onde houve mais repetições de falhas, tanto de operação, quanto manutenção que ocorreu fora do prazo, onde ocasionou uma demanda maior de tempo perdido, e realizar a prevenção corretiva não planejada, verificar a análise de falhas e melhor forma para a inspeção e manutenção, e seguindo também, um plano para diminuir o retrabalho de operação.

### **2.3.1 OS TIPOS DE MANUTENÇÃO**

**Manutenção preventiva:** São realizadas de acordo com critérios estabelecidos para reduzir a quantidade de falhas de algum bem ou serviço efetuado. Segundo Mirshawka e Omeldo (1990), a manutenção preventiva pode se subdividir em duas, que são elas:

**1- Manutenção sistemática ou programada:** É efetuada de acordo com o tempo que um equipamento já trabalhou, e com o tempo que a estrutura de fixação da placa foi instalada. São realizadas em intervalos fixos, deve ser utilizada para criar uma oportunidade de redução de falhas que não podem ser detectadas antecipadamente.

**2- Manutenção condicional:** É executada de acordo com o estado do equipamento e da estrutura de placas fotovoltaicas. São realizadas apenas quando os equipamentos e estruturas realmente precisam. Com o auxílio da inspeção, não só por instrumentos, mas também com os sentidos humanos. Esse tipo de manutenção deve ser orientado pelas seguintes regras:

- a. Inspecionar e monitorar os componentes em situações críticas.
- b. Abordar a segurança como objetivo prioritário.
- c. Reparar os defeitos apresentados.
- d. Se estiver funcionando perfeitamente, não tente consertá-lo.

A manutenção preditiva é um tipo de manutenção condicional, tem como baseamento na evolução do tempo dos sintomas apresentados, para determinar o instante certo de intervenção. E ela sugere os tipos de ações preventivas que devem ser efetuadas para evitar falhas futuras.

**Manutenção corretiva:** Deveria ser a menos utilizada, pois ela só acontece quando o equipamento e as estruturas das placas Fotovoltaicas falham ou cai sua condição de operação. Segundo o Subcomitê de Manutenção do Grupo Eletrobrás (2010), é a manutenção que corrige as falhas e as causas constatadas. E buscar a melhor maneira do desempenho dos equipamentos e seus acessórios através da manutenção de melhoramento.

**Manutenção de melhoramento:** São um conjunto de ações corretivas para melhorar os equipamentos, estruturas metálicas para não haver ruptura, oxidação, e diminuir a quantidade de manutenção do mesmo.

### 3.1 AVALIAÇÕES ESTRUTURAIS

Frequentemente vimos pelas redes sociais, jornais, noticiários e vídeos e imagens de telhados que caem na ocorrência de chuvas e ventos. Tudo seria “normal” se não existissem sistemas fotovoltaicos instalados nesses telhados e se eles fossem preparados estruturalmente. E quando um telhado cai e nele contem um sistema fotovoltaico surgem algumas perguntas, aqui será duas com mais importância os painéis solares favorecem a queda dos telhados? Deveríamos nos preocupar tanto com a segurança dos telhados, como também antes da instalação dos sistemas? Sim a segurança vem em primeiro lugar esses erros acontecem por falta de inspeção do local ou a falta de um profissional no quadro da empresa com conhecimento para realizar a avaliação estrutural.

Como citado acima Sempre que cai um telhado com um sistema fotovoltaico, os primeiros culpados são o vento, a chuva antes de colocar a culpa nos fenômenos naturais cabe

uma pergunta: foi realizada a análise estrutural do prédio, casa, galpão e da cobertura na fase de projetos e antes da instalação do sistema fotovoltaico? Dependendo do tamanho do sistema instalado calculando placas e estruturas de fixação, tem-se um aumento de aproximadamente de 15 kgf/m<sup>2</sup> no telhado. Não é pouca coisa para uma estrutura mal estruturada.

A inspeção ou análise estrutural é necessária em qualquer instalação fotovoltaica, antes da sua instalação. Naturalmente, em pequenas instalações, com poucos módulos em telhados residenciais, a inspeção ou análise estrutural é de pouca importância e acaba sendo dispensado. Mesmo assim, a pouca importância juntamente com o bom senso às vezes falha, pois já houve relatos de telhados residenciais que não tiveram essa inspeção, com isso ruíram durante a instalação do sistema fotovoltaico.

O vento e a chuva podem e devem ser previstos na fase de projetos. Não podemos simplesmente instalar sistemas fotovoltaicos sem qualquer inspeção, e preocupar com a segurança do telhado. O telhado caiu após de dois fenômenos naturais que é chuva com vendaval? Não podemos colocar a culpa somente no vento, pois não foram realizados os procedimentos necessários.

Instalar sistemas fotovoltaicos em telhados sem realizar a análise estrutural do telhado e da estrutura é um crime de responsabilidade social. A queda de um telhado e rompimento de uma estrutura pode ocasionar danos materiais, perdas de vidas humanas e etc. Esse assunto é sério e precisa ser e deve ser tratado com todo o rigor necessário que a engenharia possibilita.

### **3.1.2 PROJETO ESTRUTURAL**

Um projeto estrutural para receber o sistema fotovoltaico, é realizado por engenheiros civis ou mecânicos, que possuem a atribuição profissional para o cálculo de estruturas. Esses projetos podem ser feitos para galpões, telhados de estrutura metálica e estrutura de solo.

O projeto estrutural não tem impacto significativo diretamente, mas na maioria dos projetos os telhados precisam receber reforços ou serem reformados. É um serviço que deve ser considerado desde o início da concepção do projeto fotovoltaico. Muitos telhados precisarão romper para ter conscientização e realizar os procedimentos correto.

### **3.1.3 PROJETO ESTRUTURAL DE SOLO**

A estrutura de fixação de solo deve atender as normas da ABNT, os projetos devem ser realizados por auxílio de Softwares especializados em cálculo estrutural. Através desses Softwares é possível fazer simulações estruturais, onde é possível aplicar os ensaios de diversas formas.

E muitos fabricantes estão se atualizando com esses softwares para passar a confiabilidade do seu produto e facilitando a instalação da estrutura.

São necessárias ferramentas adequadas, utilização de EPI'S, também são necessários profissionais capacitados e ter conhecimento em estruturas metálicas para entender o projeto estrutural.

#### **4 GALVANIZAÇÃO A FOGO**

De acordo com as pesquisas realizadas, que a corrosão é responsável pela grande perda do ferro no mundo inteiro. Dentre todos os processos de proteção já desenvolvidos o que mais teve sucesso em resultados é a zincagem por imersão a quente ou galvanização a fogo.

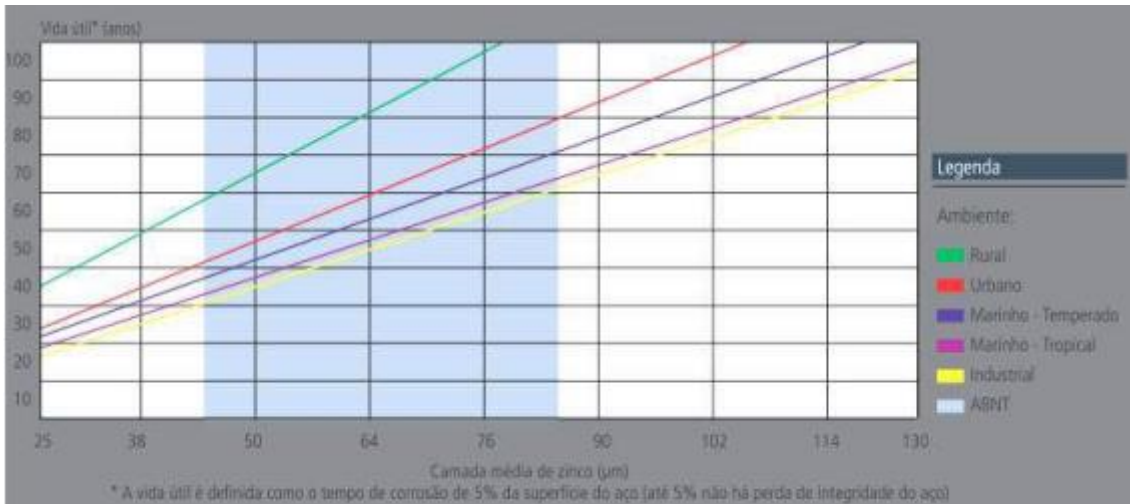
O químico francês Melouin descobriu que realizando uma cobertura de zinco no aço, protegeria o mesmo da corrosão. (Já em 1837, o Engenheiro Sorel patentou a galvanização a fogo, e foi iniciada a utilização do termo galvanização do nome de Luigi Galvani, 1737-1798, ele foi um dos primeiros cientistas a se interessar na eletricidade), pois a corrente galvânica que protege o aço.

É denominada desta maneira, pois quando o aço e o zinco entram em contato na umidade é criada a diferença de potencial elétrico entre os metais.

Na composição química o zinco é mais anódico que o elemento ferro na série galvânica, assim o que corrói é o zinco originando a proteção catódica, o zinco sacrifica a sua composição para proteger o aço.

Processo da Galvanização a fogo: Ela tem o seu processo perfeitamente definido, e basicamente é utilizado o mesmo processo em qualquer produto, podendo variar apenas a camada aplicada, geometria da peça ou a composição do aço.

Figura 7 mostra a vida útil esperado da galvanização de acordo com a espessura.



Fonte: ASTM NBR 6323:16

Figura 8- Estrutura de Solo Bi apoiada em aço Galvanizado

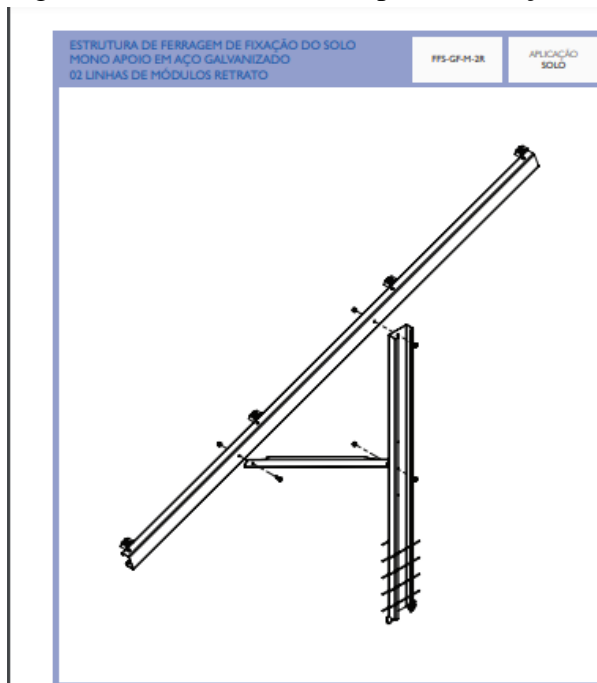


MATERIAL: Aço Carbono\*\*

- Perfil pilar frontal e perfil pilar traseiro de 100mm e perfil longitudinal de 75mm galvanização a fogo.
  - Completo com parafusos sextavados M10, porcas e arruelas lisas em aço inoxidável e clip de fixação para TFV-GF-U em aço carbono galvanizado a fogo.
  - Disponível nas versões com pilares para concretar ou para parafusar.
- Disponível com regulagem de inclinação e regulagem para instalação em solo desnívelado.
  - Estrutura para 02 linhas de módulos posicionadas em retrato.

Fonte: Gf2 soluções integradas

Figura 9- Estrutura utilizada para instalação do Sistema fotovoltaico



Fonte: gf2 soluções integradas




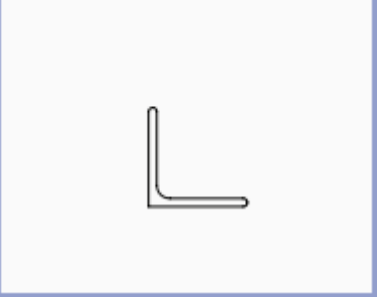
Figura 10- Trilho e junções



<b>ESTRUTURA DE FERRAGEM DE FIXAÇÃO DO SOLO MONO APOIO EM AÇO GALVANIZADO 02 LINHAS DE MÓDULOS RETRATO</b>	<b>FFS-GF-M-2R</b>	<b>APLICAÇÃO SOLO</b>
<b>TRILHO FOTOVOLTAICO DE AÇO CARBONO COM GALVANIZAÇÃO A FOGO UNIVERSAL</b>		
<p>MATERIAL: Aço Carbono**          ALTURA: 50mm   LARGURA: 25mm   PESO: 1,69 kg/m          MATERIAL DE FIXAÇÃO: no encaixe inferior clip de fixação para Trilho fotovoltaico, em aço galvanizado.</p>		
		
<b>JUNÇÃO TFV-GF-U EM AÇO GALVANIZADO A FOGO</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Junção interna para união do Trilho fotovoltaico de aço carbono com galvanização a fogo universal.</li> </ul> <p>MATERIAL: Aço Carbono**</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Completo com parafusos M8 em aço carbono galvanizado a fogo, arruelas lisas e porcas sextavadas M8.</li> </ul>		
		

Fonte: gf2 soluções integradas

Figura 11- Mostra os perfis e mão francesa

<b>ESTRUTURA DE FERRAGEM DE FIXAÇÃO DO SOLO</b> MONO APOIO EM AÇO GALVANIZADO 02 LINHAS DE MÓDULOS RETRATO		FFS-GF-M-2R	APLICAÇÃO SOLO
<b>PERFIL LONGITUDINAL</b>			
MATERIAL: Aço Carbono** ALTURA: 100mm   LARGURA: 50mm			
			
<b>MÃO FRANCESA</b>			
MATERIAL: Aço Carbono** LARGURA: 1.1/2"			
			

Fonte: gf2 soluções integradas

Figura 12- Mostra os pilares

<b>ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DE SOLO</b>		FFS-GF-M-2R	APLICAÇÃO SOLO
<b>ESTRUTURA DE FERRAGEM DE FIXAÇÃO DO SOLO</b> MONO APOIO EM AÇO GALVANIZADO 02 LINHAS DE MÓDULOS RETRATO			
<b>PERFIL PILAR PARA CHUMBAR</b>			
MATERIAL: Aço Carbono** ALTURA: 127mm   LARGURA: 50mm			
			

Fonte:gf2 soluções integradas

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas fotovoltaicos estão em crescente no Brasil, e o estudo realizado foi em diversas usinas fotovoltaicas que precisava de inspeções e manutenções específicas.

A empresa que trabalho e fiz a pesquisa do tema deste trabalho, está implantando um plano de inspeção e manutenção em estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos. E com isso a importância da engenharia mecânica até mesmo no ramo da engenharia elétrica, pois uma engenharia completa a outra.

Algumas usinas foram instaladas no solo, e com isso tem a necessidade de uma inspeção e manutenção mais severa, principalmente na parte de inspeção, pois foi observada na inspeção a colocação de parafusos de diâmetros diferentes na mesma estrutura, com isso a estrutura não ficou bem fixada, o parafuso utilizado na estrutura metálica instalada para fixação dos módulos não era o correto para a estrutura e sim para a fixação dos módulos na estrutura.

Foram realizadas inspeções diárias com registro fotográfico da montagem das estruturas, aplicando o torque indicado pelo fabricante da estrutura.

A inspeção também é importante, pois nela você consegue acompanhar de perto a execução das atividades realizadas, e a falta de inspeção pode causar falhas que só serão consertadas no retrabalho, com isso tem perda de tempo, trabalho repetitivo, causando prejuízo financeiro para empresa. Também vale ressaltar que essa falha dos parafusos aconteceu por conta da falta do setor de engenharia, que estava realizando uma operação em outra usina.

As inspeções realizadas nas estruturas foram na fixação e montagem da estrutura da fixação dos módulos fotovoltaicos. A inspeção e a manutenção são importantes, pois tendo esse planejamento de manutenções em dia, a empresa evita perda de tempo com o sistema desligado por conta da manutenção não programada. Pois as falhas na estrutura são imprevisíveis, as estruturas ficam expostas ao tempo e tem contato com materiais diferentes.

Foram apresentados com o projeto todos os tipos de manutenções, foi estudada a melhor para ser aplicado, ver qual a disponibilidade da equipe para situá-los da maneira como vai ser implantado o projeto, os requisitos que a manutenção solicita para ser bem executada e manter o sistema bem fixado, e não ocorra nenhum risco de acidentes.

A usina que teve a inspecionada foi uma usina instalada na cidade de Alfenas, onde foram feitas varias adaptações técnicas para conseguir colocar as junções em cima dos braços

longitudinais, os profissionais contratados precisaram soltar os parafusos da estrutura para movimentar as junções até o local correto no braço longitudinal.

A empresa fornecedora da estrutura solicitou algumas formas para garantir a resistência mecânica da estrutura. Uma das exigências é que a estrutura não pode ultrapassar 50m, e sendo assim a necessidade de dividir a estrutura para não ocorrer incidentes.

Foi elaborado um relatório que informou todo o acompanhamento deste processo, o proprietário ficou a parte e solicitou a presença de um especialista hábil para resolver o seu problema.

O planejamento das manutenções chegou a um acordo de realizar as manutenções preventivas semestralmente, aplicando todos os requisitos solicitados, e as usinas de solo as manutenções serão observadas num período trimestral. A instalação da Usina está localizada na cidade de Alfenas onde dificulta a logística para realizar a inspeção, essa usina tem duas bandejas uma com 60 módulos, à outra com 24 e a outra 18 bandejas e cada bandeja tem 78 módulos instalados em cada bandeja, e quando foi observado o erro das junções já tinha sido concluída a montagem dos módulos e conseqüentemente a estabilidade mecânica é um pouco afetada, mas isso é um fator a ser acompanhado ao longo das manutenções e verificar o comportamento mecânico da estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos.

As imagens abaixo mostra uma das bandejas que estão com as junções fora do braço longitudinal, parafusos sem apertos e os torques corretos designados pelo fabricante, para correção desse erro, seria necessária a desmontagem de todos os módulos das bandejas, onde teria o trabalho repetitivo e a manutenção não programada antes mesmo do fim da instalação do sistema fotovoltaico. A melhor solução foi trocar a maior quantidade de parafusos para não comprometer tanto a estabilidade mecânica das estruturas de fixação e nas manutenções verificarem todos os apertos.

Nessa inspeção realizada nessa usina, foi constatado o aparecimento de ferrugem na estrutura que é galvanizada, isto também é um ponto a ser verificado na manutenção, pois a corrosão é um fator de grande risco por conta da expansão dessa corrosão ao longo da estrutura devido o tempo.

Figura 13 – Falhas por conta da galvanização



Fonte: O autor

Figura 14 – Falhas por conta da galvanização



Fonte: O autor

Figura 15 – Falhas por conta da galvanização



Fonte: O autor

Figura 16 – Estrutura montada com os módulos



Fonte: O autor

Figura 17 – Estrutura não finalizadas por contas das mãos francesas com falhas



Fonte: O autor

Figura 18 – Junção fora do braço longitudinal



Fonte: O autor



Figura 19 – Grampo de fixação em apenas um lado do trilho



Fonte: O autor

Figura 20 – Estrutura aguardando as novas mãos francesas



Fonte: O autor

Figura 21 – Grampo de fixação no lugar indevido



Fonte: O autor

Figura 22 – Junção fora do longitudinal e com sinais de corrosão



Fonte: O autor

Figura 23 – Junção fora do longitudinal e os trilhos com espaçamento maior que o correto



Fonte: O autor

Figura 24 – Espaçamento entre os trilhos



Fonte: O autor

Figura 25 – Parafuso da junção sem o torque correto



Fonte: O autor

Figura 26 – Distanciamento indevido comprometendo a resistência mecânica



Fonte: O autor

Figura 27 – Distanciamento indevido comprometendo a resistência mecânica e sem o grampo de fixação



Fonte: O autor



Figura 28 – Parafuso do grampo sem o torque



Fonte: O autor

Figura 29 – Montagem da estrutura



Fonte: O autor

Figura 30 – Parafuso do braço longitudinal sem torque



Fonte: O autor

Figura 31 – Conferência do torque aplicado



Fonte: O autor

Figura 32 – Aplicação do torque no pilar, juntamente com a mão francesa



Fonte: O autor

Figura 33 – Conferência do torque



Fonte: O autor

Figura 34 – Aplicação e conferência do torque no pilar



Fonte: O autor

Figura 35 – Amostragem do torque que foi aplicado



Fonte: O autor

## CONCLUSÃO

A presente pesquisa científica abordou a questão da inspeção e manutenção de fixação de módulos fotovoltaicos que apresentava falhas recorrentes que eram consideradas inapropriadas para o sistema fotovoltaico, principalmente por acontecerem em um longo período de tempo.

A pesquisa foi abordada no setor de inspeção e manutenção, onde o setor de manutenção estava requerendo uma atenção maior, pois as estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos estavam apresentando falhas como, perda de fixação da estrutura, perdendo sua resistência mecânica.

Através deste trabalho o autor, buscou apresentar os tipos de manutenção, como deve ser o procedimento do projeto estrutural para implantação do sistema fotovoltaico. E a implementação da manutenção preventiva e inspeções na fase do projeto para evitar problemas após a instalação do sistema fotovoltaico.

Concluo este trabalho com os resultados iniciais satisfatórios, pois a implementação do projeto apresentado esta recente, mas apresentou resultados positivos e podemos também ver pontos positivos na imagem da empresa, onde mostra a competência, responsabilidade da empresa em acreditar no projeto apresentado, e se disponibilizar a implantar para as melhorias.



## REFERÊNCIAS

- BARROS, A. G., **Análise da viabilidade econômica de instalações de placas fotovoltaicas.** Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes – Campos/RJ (Universidade Cândido Mendes – UCAM / Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção curso de mestrado em Engenharia de Produção), p. 170, Campos dos Goytacazes/RJ out. 2018 Disponível em: <https://pep.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2018/03/Andr%C3%A9-Gomes-Barros.pdf> Acesso em: 03 set. 2021
- CHAVES, A. P. V., et al. **Estudo da Viabilidade de implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em terminais e estações-tubo na cidade de Curitiba.** Trabalho de conclusão de curso (Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Departamento Acadêmico de Eletrotécnica Engenharia Elétrica), p102, abr. 2017 Disponível em:[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9257/1/CT\\_COELE\\_2017\\_1\\_11.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9257/1/CT_COELE_2017_1_11.pdf) Acesso em: 08 set. 2021
- FRANÇA, M. C.; CAVALCANTI, L. A. P., **Avaliação de grandezas elétricas na geração fotovoltaica para melhoria da eficiência por sistema de arrefecimento convectivo. In: Anais do CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE Vol. 5: Congestas 2017** ISSN 2318-7603 Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2017/trabalhos/pdf/congestas2017-et-06-004.pdf> Acesso em: 08 set. 2021
- GARCIA, J. A. M., **Estudo de vidros de telureto dopados com íons de terras raras e nanopartículas de prata aplicados como cobertura em células solares. Versão Revisada -** Dissertação apresentada no programa de Pós em Graduação em Engenharia Elétrica - (Universidade de São Paulo Escola Politécnica). P. 118 - São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-30012019-110753/publico/JoseAugustoMartinsGarciaCorr19.pdf> Acesso em: 04 out. 2021
- GENELHU, R. N., **Uso do grafeno em placas fotovoltaicas orgânicas para melhoria de eficiência energética.** 2019. 49 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/2177> Acesso em: 09 set. 2021
- JIMÉNEZ, J.; CARDONA J. E.; CARVAJAL, S. X., **Localização e dimensionamento ideal de fontes fotovoltaicas em uma mini-rede isolada.** TecnoL. vol.22 no.44 Medellín Jan./Apr. 2019 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22430/22565337.1182> Acesso em: 09 set. 2021
- LEÓN, E. Z; BARRAZA, C. C. **Adaptabilidade de painéis solares fotovoltaicos monocristalinos policristalinos e telhas fotovoltaicas em telhados residenciais de empreendimentos imobiliários: Adaptabilidade de painéis solares fotovoltaicos mono e policristalinos em tecnologias de vivendas de empreendimentos familiares.** Revista da Construção vol.18 no.1 Santiago abr. 2019 Disponível em: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-915X2019000100042&lang=pt](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2019000100042&lang=pt) Acesso em: 02 set. 2021 artigo

MIRSHAWK A, V.; OLMEDO, N. P. **Manutenção: combate aos custos da não-eficácia.** São Paulo: Makron Books, 1990.

PLANO Anual de Energia Elétrica. Rio de Janeiro: ONS, 2011.

REHTOM. Transformador de potencial. Mogi Guaçu: Rehtom,[20--?]. Disponível em: <<http://www.rehtom.com.br/pro-dutos.php>>.

Acesso em: 07 set. 2021.

RAMOS, T. F. de B. et al. **Utilização da energia solar fotovoltaica para obtenção de melhorias econômicas e socioambientais: Uma análise de viabilidade.** In: III SIMPÓSIO NACIONAL DE EMPREENDEDORISMO SOCIAL ENACTUS BRASIL, Fortaleza/Ceará, Jul. 2012,p.9.

Disponível em:

<http://brazil.enactusglobal.org/wpcontent/uploads/sites/2/2018/11/UTILIZA%C3%87%C3%83O-DA-ENERGIA-SOLAR-FOTOVOLTAICA-PARA-OBTEN%C3%87%C3%83O-DE-MELHORIAS-ECON%C3%94MICAS-E-SOCIOAMBIENTAIS-UMA-AN%C3%81LISE-DE-VIABILIDADE-94429.pdf>

Acesso em: 03 set. 2021

SANTOS, E. dos. **Análise de problemas relacionados a construção civil decorrentes das instalações fotovoltaicas.** TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Unisul (Universidade do Sul de Santa Catarina), p.51. Palhoça, 2017 Disponível

em:[https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/8706/TCC2\\_Erick%2028-11-2019%20RIUNI-assinaturas.pdf?sequence=1](https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/8706/TCC2_Erick%2028-11-2019%20RIUNI-assinaturas.pdf?sequence=1) Acesso em: 03 out. 2020

SUBCOMITÊ DE MANUTENÇÃO DO GRUPO ELE TROBRAS. [Site]. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2010. Disponível em: <<http://www.eletobras.com/elb/admin/main.asp?View={20FF2F94-24F7-4D04-A68A-B5BECA-87C20D}>>>. Acesso em: 08 out. 2021

TORRES, Regina Célia. Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado) em Térmica e Fluidos - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

LORENZO, E.; ZILLES, R. **El generador fotovoltaico.** In: LORENZO, Eduardo Org.

Electricidad solar: ingenieria de los sistemas fotovoltaicos. Sevilla: Progensa, 1994.

Kit de Energia Solar: Qual a vida útil dos equipamentos? Belo Horizonte [s.d.]  
<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>.

Portal Solar Guia Rápido: Estrutura de Suporte para Fixação de Paine Solar Fotovoltaico  
Cidade de São Paulo, estado São Paulo 24 de Fev. 2011 <https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html#:~:text=Estrutura%20de%20fixa>

Soluções integradas sistema de estrutura fotovoltaica: Disponível em: <https://www.gf2.ind.br>