



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MARIA VITÓRIA MEDEIROS DE ARAÚJO

**APLICAÇÃO DO FMEA COMO SUPORTE PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO
DE PLACAS FOTOVOLTAICAS**

SUMÉ – PB

2018

MARIA VITÓRIA MEDEIROS DE ARAÚJO

**APLICAÇÃO DO FMEA COMO SUPORTE PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO
DE PLACAS FOTOVOLTAICAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para a obtenção de título de Bacharela em Engenharia de Produção.

Orientadora: Professora Dr.^a Maria Creuza Borges de Araújo.

**SUMÉ – PB
2018**

A659a Araújo, Maria Vitória Medeiros de.

Aplicação do FMEA como suporte à gestão da manutenção de placas fotovoltaicas. / Maria Vitória Medeiros de Araújo. - Sumé - PB: [s.n], 2018.

65 f.

Orientador: Professora Dr^a Maria Creuza Borges de Araújo.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Gestão da manutenção. 2. Método FMEA. 3. Placas fotovoltaicas - manutenção. I. Título.

CDU: 62-7(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

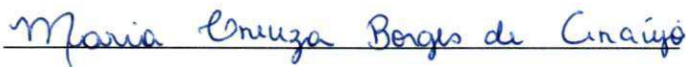
MARIA VITÓRIA MEDEIROS DE ARAÚJO

APLICAÇÃO DO FMEA COMO SUPORTE PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO
DE PLACAS FOTOVOLTAICAS.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção do
Centro de Desenvolvimento Sustentável do
Semiárido da Universidade Federal de
Campina Grande, como parte das exigências
para a obtenção de título de Bacharel em
Engenheira de Produção.

Trabalho aprovado. Sumé, PB, 11 de 12 de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo
Orientadora - UAEP/CDSA/UFCG



Professora Dra. Vanessa Batista Schramm
Examinador 01 - UAEP/CDSA/UFCG



Professor Me. Daniel Oliveira de Farias
Examinador 02 - UAEP/CDSA/UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais e minha irmã, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões e nos momentos de dificuldade, a minha família inteira que de alguma forma contribuíram para meu sucesso, aos meus amigos que adquiri ao longo do curso e aos que sempre estiveram do meu lado nos momentos bons ruins que considero como irmãos, a todos os professores presentes em toda minha trajetória acadêmica, e principalmente a minha querida orientadora Maria Creuza pela paciência, atenção, comprometimento e conhecimentos adquiridos, obrigada a todos!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por sempre está presente em minha vida, foi ele que me ajudou a erguer a cabeça e impulsionador do meu percurso, a meus pais pelo incentivo e apoio.

A minha irmã por sempre acreditar em mim e vibrar por todas as conquistas mesmo estando distante. Aos meus amigos que construí ao longo destes anos de UFCG, e a pessoas maravilhosas que conheci e me acolheram tão bem em Sumé - PB.

A minha orientadora, Maria Creuza Borges de Araújo, pela paciência e compromisso comigo. A todo corpo docente da UFCG por todo conhecimento adquirido. E a todas as pessoas que de alguma forma estiveram presentes e me ajudaram na conclusão deste trabalho, o meu muito obrigada!

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Com a evolução da tecnologia e crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, considerando também a adição de consumo de energia e desenvolvimento industrial, observa-se um aumento da demanda por fontes alternativas renováveis de geração de energia elétrica no mundo todo, tais como aquela originada pelo sol, ou seja, a energia fotovoltaica. Entre seus benefícios estão a redução do uso de combustíveis fósseis, diminuição dos impactos ambientais causados por outras fontes de energia e a relativa facilidade de manutenção dos equipamentos. O Brasil possui grandes índices de radiação solar o ano todo e vem ganhando espaço devido à localização tropical do país, que garante a insolação necessária para o bom funcionamento deste tipo de sistema. Contudo, estes painéis, depois de produzidos e comercializados, podem apresentar falhas no decorrer da sua utilização, o que pode prejudicar sua utilização. Neste sentido, este Trabalho de Conclusão propõe a aplicação da Análise de Modo de Efeito e Falha – FMEA como base para a Gestão da Manutenção de Placas Fotovoltaicas, a fim de otimizar o uso destas placas.

Palavras chaves: Gestão da Manutenção. FMEA. Energia Fotovoltaica. Análise de Falha.

ABSTRACT

With the evolution of technology and growing concern with environmental preservation, also considering the addition of energy consumption and industrial development, there is an increased demand for alternative renewable sources power generation in the world, such as that from the Sun, i.e. photovoltaics. Among its benefits are the reduction of the use of fossil fuels, reduction of environmental impacts caused by other energy sources and the relative ease of maintenance of the equipment. The Brazil has great solar radiation indices all year and has been gaining space due to the tropical location of the country, which ensures heat stroke required for the proper functioning of this type of system. However, these panels, once produced and marketed, can fail in the course of your use, which can harm your use. In this sense, this Work proposes the completion analysis application Effect and failure mode-FMEA as the basis for the management of maintenance of Photovoltaic Plates in order to optimize the use of these boards.

Keywords: Maintenance management.FMEA.Photovoltaics.Failureanalysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas das Seções do Trabalho	20
Figura 2 - Caracterização da Pesquisa	22
Figura 3 - Fluxograma de Etapas.....	24
Figura 4 - Modelo de Formulário FMEA	36
Figura 5 - Ranking dos 10 Principais Países para Instalação e Capacidade no Ano de 2017 ..	37
Figura 6 - Diagrama de Funcionamento de Placas Fotovoltaicas	38
Figura 7 - Painel Fotovoltaico de Monocristalino	40
Figura 8 - Painel Fotovoltaico Policristalino	41
Figura 9 - Painel Fotovoltaico de Filmes Fino	41
Figura 10 - Painel fotovoltaico orgânico	42
Figura 11 - Modelo de Placa Fotovoltaica Híbrida	43
Figura 12 - Decomposição do Painel Fotovoltaico	45
Figura 13 - Modelo do Painel Fotovoltaico Híbrido e seus Subsistemas.....	45
Figura 14 - Fluxograma das Etapas do Plano de Manutenção	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modo de Falha com Modelo de Abordagem Funcional e Estrutural	32
Quadro 2 - Critério de Análise Para a Ocorrência da Falha	34
Quadro 3 - Critério de Análise Para a Detecção da Causa da Falha	34
Quadro 4 - Critério de Análise Para a Severidade (gravidade) dos Efeitos da Falha.....	35
Quadro 5 – Formulário FMEA Para o Módulo Fotovoltaico Híbrido.....	47
Quadro 6 – Relação dos Itens e seus Modos de Falha.....	54
Quadro 7 – Plano de Periodicidade dos Modos de Falha	55
Quadro 8 – Plano de Manutenção de Rotina e Procedimentos.....	56
Quadro 9 - Formulário de Controle da Manutenção nos Módulos.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

EPE – Empresa de Energia Energética

EPIA – Associação Europeia das Indústrias Fotovoltaicas

FMEA - Análise de Modo de Falha e Efeito

FV – Célula Fotovoltaica

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEEE – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MME – Ministério de Minas e Energia

NBR – Norma Brasileira

NASA – Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	IX
LISTA DE QUADROS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
1 INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS	17
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	17
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.....	18
2 METODOLOGIA	21
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	21
2.2 ETAPAS DA PESQUISA	23
3 REFERENCIAL TEÓRICO	25
3.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO	25
3.1.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO	27
3.1.1.1MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	27
3.1.1. MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	28
3.1.1.3MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	29
3.1.1.4MANUTENÇÃO DETECTIVA	29
3.1.1.5ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	30
3.2 FMEA – ANÁLISE DE MODO DE FALHA E EFEITO.....	30
3.2.1 APLICAÇÃO DO FMEA	31

3.3	PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO MUNDO	36
3.4	PLACAS FOTOVOLTAICAS.....	37
4	RESULTADOS	45
4.1	PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
5.1	TRABALHOS FUTUROS	59
	REFERÊNCIAS	61

1INTRODUÇÃO

De acordo com Dunham e Iverson (2014) o crescimento da população mundial, associado ao desenvolvimento tecnológico e industrial, conduz a um aumento substancial de demanda energética, que normalmente utiliza fontes de energia provenientes de recursos naturais limitados, que poderão se esgotar em algumas décadas. Uma alternativa para a solução deste problema é a transformação direta da energia solar em energia elétrica, intermediada por placas solares, que são constituídas por células fotovoltaicas.

Segundo Imhoff (2007), a energia solar fotovoltaica é definida como aquela gerada através da conversão direta da luz solar em eletricidade. Isto é, o dispositivo base para a conversão da luz em energia elétrica é a célula fotovoltaica que, através do efeito fotovoltaico, converte diretamente energia solar em elétrica.

Colaferro (2018) afirma que, desde o final de 2012, a energia solar no Brasil se tornou uma opção para os consumidores que desejam gerar a sua própria energia, através da instalação e utilização dos chamados sistemas fotovoltaicos, já que o país tem grande potencial no uso desta energia, pois possui elevada concentração de radiação solar, principalmente na região Nordeste, conhecida por seus longos períodos de sol.

Com base nos dados do portal MME , no Brasil o investimento em energia solar atingiu no ano de 2017 a marca de 438, 3 MW de potência instalada em sistemas de microgeração e minigeração. O avanço neste setor é resultado tanto da inauguração de grandes usinas fotovoltaicas, quanto da adesão de consumidores individuais ao novo sistema. Foi o consumidor residencial quem alavancou o número de sistemas fotovoltaicos em operação no país — a chamada "geração distribuída". Já, em relação à potência, os consumidores dos setores de comércio e serviços lideram o uso da energia solar fotovoltaica, no país (TERRA, 2018).

De acordo com Pereira et al. (2017), o Nordeste é a região do Brasil que possui os melhores parâmetros, apresentando o maior nível de irradiação no plano inclinado (média anual de 5,52 kWh/m² .dia) e menor variabilidade interanual. Júnior (2018) ainda relata que não é apenas porque a região Nordeste é favorável pelo índice de radiação solar, também pela existência de cílio no solo local. Ademais, o autor Júnior (2018) afirma ainda que a energia solar no Nordeste tem crescido como um grande negócio, o que possibilita a existência de linhas de financiamento para a implantação de placas destinadas a empresas, indústrias,

produtores rurais, contribuindo também na isenção de pagamento do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e de grandes investimentos de usinas de energia solar.

Freitas e Miranda (2016) asseguram que uma das vantagens da utilização de energia solar é que a mesma não causa danos ao meio ambiente, por ser renovável e limpa, devido a inesgotável capacidade de gerar energia através do sol, além de possuir um custo de manutenção relativamente baixo se comparado com outros tipos de geração de energia, o que resulta em economia monetária e contribui para a redução de gastos tanto em residências, empresas e indústrias, que ao longo dos anos obtiveram um aumento nas tarifas de energia. Além disso, conforme o blog Oca Energia (2017), o custo com a manutenção dos equipamentos do sistema são baixos.

Além do baixo custo, a manutenção tem grande relevância para este tipo de sistema, contribuindo, de modo eficaz e rápido, para o bom funcionamento do mesmo, procurando minimizar falhas, e aumentar a sua confiabilidade. Sua relevância é reafirmada por Moro e Auras (2007), que asseveram que “com a globalização da economia, a busca da qualidade total em serviços, produtos e gerenciamento ambiental passaram a ser a meta para muitos; isto dá uma ideia da importância de se estabelecer um programa de manutenção, uma vez que máquinas e equipamentos com defeitos e/ou paradas resultam em prejuízos inevitáveis”.

Dentre as ferramentas para apoio à manutenção está o FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Análise de Modo de Falha e Efeitos), que visa identificar todos os possíveis modos potenciais de falhas e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do processo (LAFRAIA, 2001; PALADY, 2004). A utilização desta ferramenta contribui principalmente no desempenho da função, sendo possível conhecer todos os componentes e suas possíveis causas de falhas, recorrentes tanto em equipamentos como maquinários, prevenindo e revertendo a situação. A partir disto, identifica a causa e sugere uma ação recomendada evitando avarias e paralisação.

Tendo em vista o contexto abordado, é concretizada a necessidade de se observar a importância de realizar estudos sobre manutenção adequada das placas solares, que podem ser integradas como fonte de energia eficiente para a região Nordeste. Assim, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo utilizar o FMEA como suporte para o planejamento

da manutenção de células fotovoltaicas, a fim de prevenir falhas, a partir da sua identificação e da proposição de possíveis soluções mais eficazes.

1.1. OBJETIVOS

De modo a solucionar o problema em pauta, definiu-se os seguintes objetivos:

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um plano de gestão da manutenção, com base na Análise de Modo de Falha e Efeitos, relacionadas à detecção de falhas em painéis fotovoltaicos híbridos.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Definir os itens constituintes da célula fotovoltaica híbrida.
- b) Propor o FMEA para células fotovoltaicas.
- c) Propor um plano de manutenção adequada.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Matavelli (2013), o aumento da concentração de gases despertou na comunidade científica a necessidade de procurar formas de se gerar energia sem agredir o meio ambiente, principalmente no agravamento do efeito estufa, devido ao estágio em que esse fenômeno se encontra. Neste sentido, as células fotovoltaicas estão sendo cada vez mais utilizadas por indústrias, empresas, residências, entre outras. Com o crescimento no mercado, este produto tornou-se alvo de estudos. Caires (2014) afirma que vários autores abordam a necessidade de otimizar o funcionamento dos painéis fotovoltaicos, a fim de captar melhor as incidências solares.

O território brasileiro recebe um elevado índice de irradiação solar, se comparado a países como a Alemanha, China e Estados Unidos, onde a tecnologia fotovoltaica tem maior expressão e já é bastante difundida na produção de energia elétrica (ASSUNÇÃO, 2014). Isto ocorre porque o país encontra-se em uma região tropical bastante favorável para um bom funcionamento destas placas fotovoltaicas.

A partir de meados da década de 2000 começou o interesse do país pelas aplicações conectadas a rede, através de pesquisas nos centros de pesquisas e universidades, usando dos fundos de pesquisa e desenvolvimento das concessionárias de energia, mas também das

fundações de apoio à pesquisa e de fundos setoriais do governo. Dezenas de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de pequeno porte, a grande maioria menor que 10 kWp, foram instalados em várias regiões do país (PINHO e GALDINO, 2014).

Segundo Assunção (2014) de acordo com dados do Atlas brasileiro de energia solar (2006) o país recebe mais de 2200 horas de insolação por ano, equivalente a um potencial de 15 trilhões de MWh que corresponde a cerca de 27 mil vezes o consumo nacional de 552498 GWh em 2012, segundo o Anuário estatístico de energia elétrica, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2013.

Pierro (2017) relata ainda que a Aneel projeta para 2024 mais de 800 mil residências no Brasil para produzir a própria energia elétrica por meio de fonte solar e em sua maioria estes sistemas concentra-se nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná. Um dos motivos do crescimento são as mudanças na legislação e a regulamentação do setor, que permitiram que o excedente de captação de energia solar gerado, por exemplo, em residências, possa ser distribuído para a rede de eletricidade, gerando um desconto na fatura de energia dos produtores domésticos.

Além disso, observa-se um maior foco na confiabilidade de seus sistemas, pois é a partir delas que medidas especificadas devem ser aplicadas, como seu tempo mínimo de operação, retorno de seus investimentos, segurança, qualidade do produto, riscos de defeitos minimizados com a utilização de mão de obra especializada no projeto, instalação, entre outros. Entretanto, a ausência de informações e métodos eficazes torna difícil avaliar possíveis falhas nas placas fotovoltaicas. De acordo com Tovar (2013) a disponibilidade deve ser mantida com o emprego das políticas de manutenção, que tenham por objetivo se antecipar à ocorrência da falha, empregando-se preferencialmente práticas preventivas e/ou preditivas.

Diante isto, o trabalho terá foco no setor de manutenção, no levantamento das melhores análises e classificação das informações, proporcionando uma consistência na gestão de manutenção que seja cabível as placas fotovoltaicas híbridas. O resultado do trabalho pode ser utilizada pelos usuários desta tecnologia, que buscam a excelência do produto, contribuindo na detecção destas falhas, a fim de garantir a segurança e uma operação ideal do equipamento.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

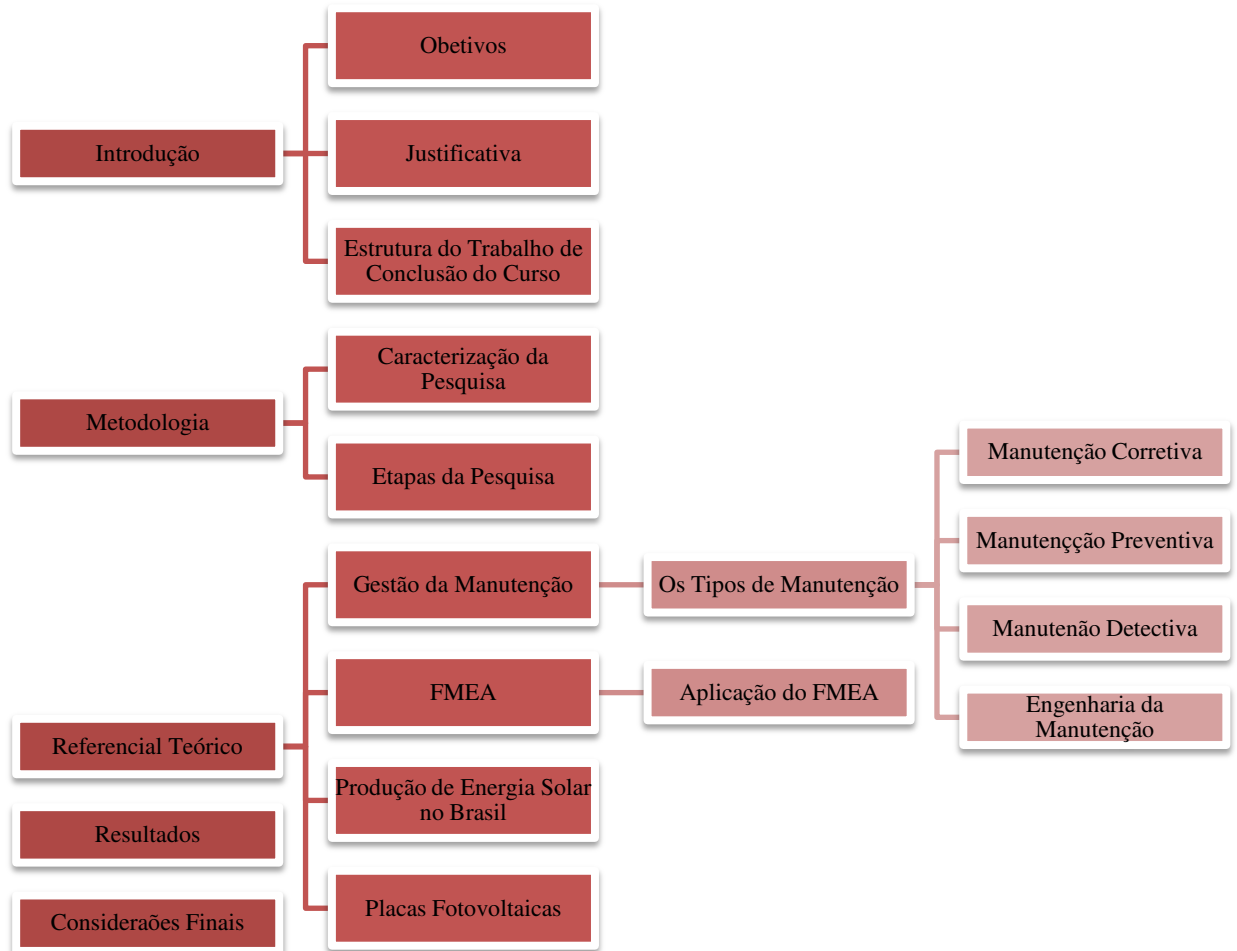
O presente trabalho está estruturado em cinco partes. No capítulo 1 é contextualizado o tema a ser estudado, ou seja, mostrar como o FMEA irá contribuir como suporte da manutenção de placas fotovoltaicas, o objetivo geral e os objetivos específicos, assim como as possíveis contribuições da pesquisa para a comunidade e academia.

O capítulo 2 exibe uma revisão metodológica, expondo a caracterização da pesquisa quanto a sua abordagem, natureza, objetivos e procedimento e em seguida, mencionado as etapas da pesquisa. No capítulo 3 o trabalho será delineado a partir da apresentação do referencial teórico, que abrange os principais conceitos acerca da gestão da manutenção, do FMEA, da produção de energia solar no Brasil e as placas fotovoltaicas.

No capítulo 4 serão apresentados os resultados da pesquisa, com aplicação do modelo FMEA para placas fotovoltaicas do tipo híbrido, e, em seguida, estruturação de um plano de manutenção para as mesmas. Por fim, no capítulo 5 será apresentada a conclusão do estudo, mostrando os resultados gerais alcançados com relação à análise de falhas em painéis fotovoltaicos híbridos.

A Figura 1 ilustra as etapas das seções abordadas no trabalho:

Figura 1 - Etapas das Seções do Trabalho



Fonte: Autoria própria (2018)

2 METODOLOGIA

Esta seção apresenta a caracterização da pesquisa quanto à sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos. Em seguida, descreve as etapas empregadas para o desenvolvimento do estudo.

Em seguida foi elaborado o formulário, considerando: Identificação das falhas, identificação das causas e efeitos de cada falha, priorização das falhas identificadas com o RPN, sugestão de ações recomendadas e, por fim, montar um plano de manutenção adequado para os itens selecionados.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa pode ser caracterizada segundo a sua abordagem, natureza, objetivo e seus procedimentos, conforme ilustrado na Figura 2.

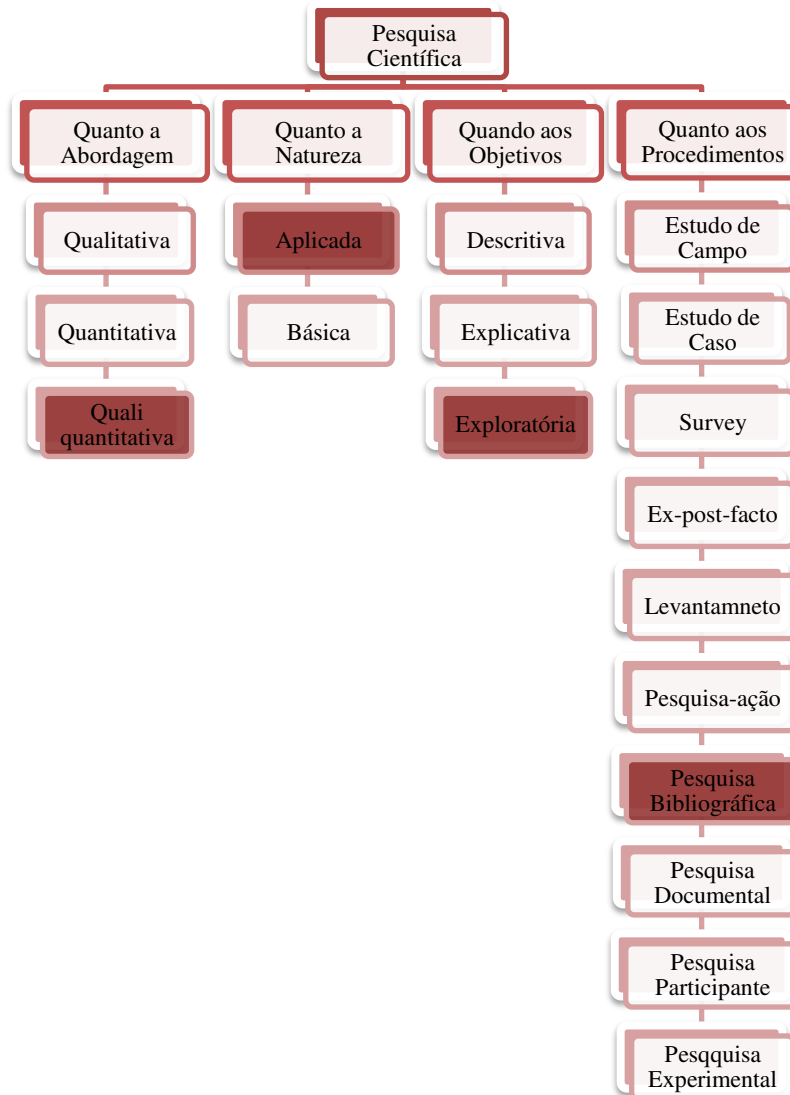
A respeito de sua abordagem, a pesquisa pode ser classificada como quantitativa, qualitativa e quali-quantitativa. Como descreve Deslaureeis (1991), a pesquisa qualitativa tem como objetivo produzir informações aprofundadas e ilustrativas, capazes de produzir novas informações.

Fonseca (2002, p. 20) afirma que:

A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.

Logo, esta pesquisa é considerada quali-quantitativa, pois usa o cálculo do (RPN) como forma de ter embasamento matemático para as decisões, além de possuir uma preocupação com os aspectos da realidade que não serão quantificados, centrando-se na sua compreensão e explicação.

Figura 2 - Caracterização da Pesquisa



Fonte: Autoria própria (2018)

Quanto à natureza, a pesquisa pode ser classificada como aplicada ou básica. Segundo Gerhardt e Silveira (2009) o método da natureza aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolvendo verdades e interesses locais. Desse modo, este estudo possui natureza aplicada, dado que será construída uma tabela, com base no FMEA, para identificar falhas potenciais em placas fotovoltaicas e propor soluções para as mesmas, a fim de realizar uma gestão da manutenção adequada para estas células.

Com relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como descritiva, explicativa e exploratória. Esta pesquisa tem como caráter exploratório, que, segundo Gil (2008) visa familiarizar-se com um assunto ainda pouco conhecido, pouco explorado. O autor afirma

ainda que ao final de um estudo exploratório, a pesquisa possui um conhecimento maior sobre o assunto, estando apto a construir hipóteses. Por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso ou bibliográfico. Esta pesquisa é considerada exploratória, pois foi realizado o levantamento bibliográfico acerca de informações relacionadas às placas fotovoltaicas, para, em seguida, propor um plano de gestão da manutenção para estas células;

Por fim, quanto aos procedimentos, à pesquisa pode ser caracterizada como estudo de campo, survey, ex-post-facto, levantamento, pesquisa-ação, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa participante e pesquisa experimental.

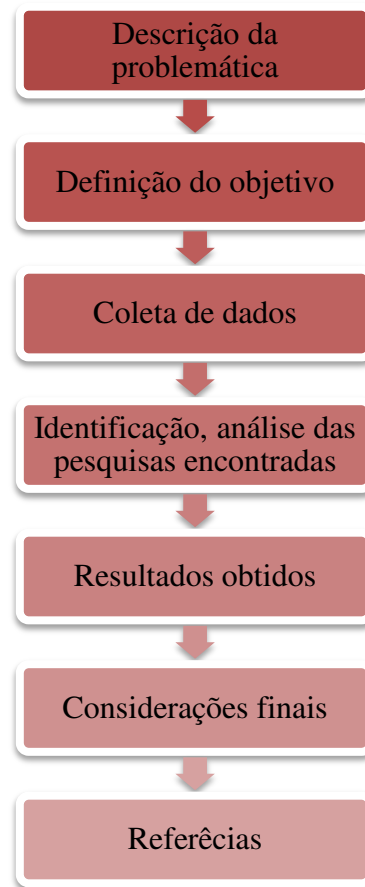
De acordo com Fonseca (2002, p. 32):

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta.

Desta forma, para a efetuação da pesquisa, foram realizados levantamentos bibliográficos, que contribuiriam para se obter maiores informações e gerar soluções para o presente estudo.

2.2 ETAPAS DA PESQUISA

A Figura 3 mostra o fluxograma das etapas do método de pesquisa. Neste contexto, para o progresso do presente estudo, efetuou-se a exploração do conteúdo por meio de pesquisas bibliográficas para um embasamento teórico sobre a gestão da manutenção em placas fotovoltaicas e o método FMEA. Feito isto, estabeleceu-se o objetivo principal do estudo: desenvolvimento de um plano de gestão da manutenção, com base na Análise de Modo de Falha e Efeitos, relacionadas à detecção de falhas em painéis fotovoltaicos híbridos.

Figura 3 - Fluxograma de Etapas

Fonte: Autoria própria (2018)

Como forma de alcançar dados para a execução do objetivo, foi realizada a coleta de dados a respeito dos componentes presentes no módulo fotovoltaico híbrido, de modo a encontrar informações relevantes por meio de fontes científicas (artigos, livros, teses, dissertações) e em fontes com exposição de ideias (vídeos, sites, entre outros).

Em seguida, aplicou-se o método FMEA para diagnóstico de falhas potenciais para cada componente presente no módulo fotovoltaico híbrido. Diante disso, foram abordados os resultados obtidos com a utilização do FMEA propondo um método apropriado de manutenção para minimizar as falhas. Seguindo da última etapa do trabalho, as considerações finais expõem os comentários analisados obtidos pelo resultado explorando a efetividade do método implantado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção irá apresentar o levantamento bibliográfico da literatura para o embasamento teórico da pesquisa. Será apresentado o conceito de Gestão da Manutenção, os tipos de manutenção, FMEA – Análise de Modo e Efeito de Falhas, produção de energia no Brasil e as placas fotovoltaicas.

3.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Formas simples de manutenção, como conservação de objetos e ferramentas de trabalho, estendendo-se até pequenas atividades de reparo, podem ser observadas desde os primórdios das civilizações, no entanto, foi apenas com a Revolução Industrial do século XVIII, aliada a um grande avanço tecnológico, que a função manutenção emergiu na indústria, como forma de garantir a continuidade do trabalho (COSTA, 2013). Neste caso, o próprio operador da máquina era responsável pela sua manutenção, sendo treinado para realizar reparos (WIREBSKI, 1997).

Conforme Monchy (1989) a Associação Francesa de Normatização conceitua manutenção como “o conjunto de ações que permitam manter ou estabelecer um bem, dentro de um estado específico ou na medida para assegurar um serviço determinado”. Kardec & Nascif (2009) estabelecem que o ato de manter, ou manutenção industrial, é como “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados”.

Em 1975, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, pela norma TB-116, definiu o termo manutenção como sendo o conjunto de todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição desejada (ABNT, 1994). Anos mais tarde, em 1994, a NBR-5462 trazia uma revisão do termo como sendo a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinada a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994).

Neste contexto, Viana (2002) aborda que a manutenção, palavra derivada do latim *manus tenere*, que significa manter o que se tem, está presente na história humana a eras, desde o

momento em que começamos a manusear instrumentos de produção. No século XX as revoluções foram várias, sendo peculiares as ocorridas no campo da tecnologia, cada vez mais rápidas e impactantes no *modus vivendi* do homem. Assim, observa-se que o conceito de manutenção evoluiu durante o tempo. Esta afirmação é confirmada por Kardec e Nascif (2012) que, aponta que, a partir de 1930, a evolução da Manutenção pôde ser dividida em cinco gerações:

- Primeira Geração: abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria, superdimensionados. A visão em relação às falhas dos equipamentos era a de “todos os equipamentos se desgastam com o passar dos anos, vindo a sofrer falhas ou quebras”.
- Segunda Geração: as pressões do período da guerra aumentaram a demanda por todo tipo de produtos, ao mesmo tempo em que o contingente de mão de obra industrial diminuiu sensivelmente. Como consequência, naquele período houve forte aumento da mecanização, bem como início da complexidade das instalações mecânicas.
- Terceira Geração: A partir da década de 70 acelerou-se o processo de mudanças nas indústrias. O crescimento da automação e da mecanização passou a indicar que confiabilidade e disponibilidade se tornaram pontos chave em setores tão distintos quanto saúde, processamento de dados, telecomunicações e gerenciamento de edificações.
- Quarta Geração: a sistemática adotada pelas empresas classe mundial privilegiava a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação. Como fator de garantia dessas metas, o resultado de um bom está associado a produtos com a qualidade desejada.
- Quinta Geração: o enfoque nos resultados empresariais, razão principal para obtenção da competitividade, necessária à sobrevivência da empresa, é obtida através do esforço conjunto em todas as áreas coordenadas pela sistemática da Gestão de Aditivos.

Tavares (2005) recomenda que os gestores da manutenção devam ter uma ampla visão e atuação sistemática dentro de suas organizações, de tal forma que a diversidade de modelos e fundamentações do planejamento e controle da manutenção, já plenamente desenvolvidos e consolidados, seja útil a maximização dos equipamentos, bem como os lucros da organização.

Atualmente, o gerenciamento da manutenção, como é designado, é o gerenciamento de todos os equipamentos e bens de uma empresa, baseando todas as atividades no retorno do investimento (TONDATO, 2004). Neste sentido, a missão atual da Manutenção é: “Garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado” (KARDEC E NASCIF, 2012).

3.1.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Muitos autores abordam vários tipos de manutenção possíveis, que nada mais são do que as formas como são encaminhadas as intervenções nos instrumentos de produção (VIANA, 2002). Segundo Kardec e Nascif (2012) “atualmente são definidos seis tipos básicos de manutenção”: corretiva não planejada; corretiva planejada; preventiva; preditiva; detectiva e; engenharia da manutenção, como exposto a seguir:

3.1.1.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

De acordo com a ABNT (NBR 5462-1994), Manutenção Corretiva é a “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. A dita Manutenção Corretiva é a intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, segurança do trabalhador ou ao meio ambiente (VIANA, 2002).

Os métodos de manutenção expressam a maneira pela qual é realizada a intervenção nos equipamentos, sistemas ou nas instalações. Existem diversas maneiras de classificar os métodos de manutenção, e uma das mais usuais é enfocando a manutenção planejada e a não planejada (TOVAR, 2017).

– Manutenção Corretiva Planejada:

A manutenção planejada pode ser entendida como aquela cujo conjunto de ações leva a uma diminuição ou eliminação da perda de produção, minimização do custo e tempo de reparo (TOVAR, 2017). Neste caso, tem-se uma falha ou condição anormal de operação de um equipamento e a correção depende de decisão gerencial, em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra.

De acordo com Souza, Gomes e Fernandes (2012) a decisão de adotar a política de manutenção corretiva planejada pode ser originada com base em vários fatores, tais como: negociação de parada do processo produtivo com a equipe de operação, aspectos ligados à segurança, melhor planejamento dos serviços, garantia de ferramental e peças sobressalentes, necessidade de recursos humanos, tais como serviços contratados.

Esse tipo de manutenção possibilita o planejamento dos recursos necessários para a intervenção de manutenção, uma vez que a falha é esperada (PINTO e XAVIER 2001).

– Manutenção Corretiva Não Planejada:

A manutenção não planejada consiste na correção da falha, após a sua ocorrência. Nesse tipo de política de manutenção, a perda inesperada do desempenho do equipamento pode acarretar perdas de produção, perdas da qualidade do produto e elevados custos indiretos da manutenção. Geralmente, a manutenção não planejada é estritamente corretiva (TOVAR, 2017). Esse tipo de manutenção é caracterizado pela atuação das equipes de manutenção em fatos que já ocorreram, sejam estes fatos desempenhos inferiores ao almejado ou uma falha(SOUZA; GOMES; FERNANDES, 2012). Contudo não há elaboração e organização do serviço, ou seja, a manutenção corretiva não planejada corresponde a correção de falhas de modo casual, disposto a escapar de outros efeitos.

3.1.1.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Consiste na manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item (ABNT NBR 5462, 1994; KARDEC e NASCIF, 2012). Já Viana (2002) classifica a manutenção preventiva como “todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não esteja em falha, estando com isto em condições operacionais ou em estado de zero defeito”. Ou seja, de acordo com Monteiro (2013) orientada no sentido de evitar a ocorrência de avarias e garantir o funcionamento seguro e eficiente do equipamento.

Ohta (2013) comenta que, neste caso, a revisão dos itens passou a ser baseada em estatísticas de histórico de falhas e experiência dos mantenedores, realizada em intervalos fixos de tempo ou ciclos executados pelo sistema ou item.

3.1.1.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

De acordo com Otani e Machado (2008) é a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo.

Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível, na realidade, o termo associado à Manutenção Preditiva é o de prever as condições dos equipamentos, ou seja, a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medidas e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo (KARDEC E NASCIF, 2012, p. 62).

Segundo Holanda (2016) esta redução na severidade dos danos aumenta o tempo de operação do equipamento e conseqüentemente melhora seus índices de confiabilidade, disponibilidade e custos, que são os pilares de uma gestão eficaz da manutenção.

Assim, a finalidade da Manutenção Preditiva é fazer a manutenção somente quando e se houver necessidade. Ela permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois consente prever quando a peça ou componente estão próximos do seu limite de vida (ZAIIONS, 2003).

3.1.1.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA

É uma política de manutenção que visa atender a toda uma gama de equipamentos e modos de falhas que não se enquadram em qualquer uma das políticas tradicionais (LUCATELLI, 2002).

O objetivo da prática desta política é aumentar a confiabilidade dos equipamentos, já que é caracterizada pela intervenção em sistemas de proteção para detectar falhas ocultas e não perceptíveis ao pessoal da operação (SOUZA, 2008). Ferreira (2009, p, 23) cita um exemplo de aplicação da manutenção detectiva, de maneira a aumentar a confiabilidade do processo:

Um exemplo clássico é o circuito que comanda a entrada de um gerador em um hospital. Se houver falta de energia e o circuito tiver uma falha, o gerador não entra. Por isso, este circuito é testado/acionado de tempos em tempos, para verificar sua funcionalidade.

A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal da área de manutenção, com

treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação (KARDEC e NASCIF, 2012).

3.1.1.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

De acordo com Kardec & Nascif (2009) a Engenharia de Manutenção significa “perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo”. Neste sentido, tem como filosofia deixar de fazer os consertos continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações de constante mau desempenho, resolver problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, trabalhar conjuntamente com o projeto, desenvolver a manutenibilidade, e interferir tecnicamente nas compras ligadas á função manutenção (PINTO e XAVIER, 1999). Assim, Fernandes (2003) relata que a engenharia de manutenção une um grupo de ações para se corrigir defeitos anteriores, que se constituem em importante banco de informações, para se conseguir atingir o obtivo principal da manutenção.

3.2 FMEA – ANÁLISE DE MODO DE FALHA E EFEITO

O método FMEA surgiu em 1949 na Indústria Militar Americana, e nos anos 60 a NASA, através do Apollo Space Program. Segismundo (2009) argumenta que foi à pioneira no seu desenvolvimento e evolução. Esta é uma técnica de análise que foi desenvolvida para ser aplicada principalmente a componentes (hardware), cujo objetivo primordial é “radiografar” cada um dos componentes de um sistema a fim de levantar todas as maneiras pelas quais este possa vir a falhar e avaliar quais os efeitos que estas falhas acarretam sobre os demais componentes e sobre o sistema (CARBONE; TIPPET, 2004; SIMÕES, 2004).

Segundo Chrysler et al. (2001), o FMEA é um grupo de atividades que visam reconhecer e avaliar falhas potenciais de um produto ou processo e efeitos dessas falhas, identificar as melhores ações para reduzir a probabilidade das mesmas ocorrerem e documentar o processo. Ademais, segundo Viana (2002) este é um método para análise de falhas em processos e produtos, com o objetivo de prever efeitos indesejados, possibilitando a tomada de decisão de forma antecipada, identificando e priorizando ações que impeçam a existência efetiva destes efeitos.

Como enfatiza Couto e Carvalho (2015), o FMEA é uma das técnicas consideradas de baixo risco mais eficientes para a prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes em termos de custos, a fim de prevenir esses problemas A referir-se a este assunto,

Palady (2004) afirma que o FMEA oferece como procedimento uma abordagem estruturada para avaliação, condução e atualização do desenvolvimento de projetos e processos em todas as disciplinas da organização.

Fogliatto E Ribeiro (2009) sustenta que é uma técnica de confiabilidade tendo como objetivos:

- Reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo.
- Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas.
- Documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

A despeito disto Lafraia (2001) relata alguns dos benefícios da aplicação do FMEA como sugestão de: Redução do tempo de ciclo de um produto; redução do custo global de projetos; melhorado programa de testes de produtos; redução das falhas potenciais em serviço; redução dos riscos do produto para o consumidor; desenvolvimento de uma metodologia para a prevenção de defeitos ao invés de detecção e correção.

3.2.1 APLICAÇÃO DO FMEA

A metodologia FMEA é desenvolvida por uma equipe multidisciplinar e multi-hierárquica, de forma a ser o mais abrangente possível. De acordo com Carvalho (2006), a análise é direcionada através de perguntas como:

- De que maneiras um componente pode falhar?
- Que tipos de falhas são observados?
- Que partes do sistema são afetadas?
- Quais são os efeitos da falha sobre o sistema?
- Qual a importância da falha?
- Como prever a ocorrência das falhas?

Assim, como aborda Cavenaghi (2014, p. 27):

a condução de uma análise pelo método FMEA consiste em, primeiramente, identificar as partes do produto ou processo e, na sequência, as causas e efeitos das falhas em cada uma das partes. Deste modo, as falhas são

detectadas e classificadas de acordo com o risco que cada falha representa ao produto em conformidade com índices pré-definidos. Assim, torna-se possível estabelecer a prioridade do risco.

Na elaboração do FMEA, cada componente é examinado de forma a identificar seus possíveis modos de falha (MADDOX, 2005). De acordo com Florence e Calil (2005) O modo de falha é o efeito pelo qual uma determinada falha é observada em um componente de sistema. Assim, existem duas abordagens para levantar os modos de falha: Funcional e Estrutural.

De acordo a Sakurada (2001) os modos de falhas são compostos por duas abordagens: Funcional e Estrutural.

A abordagem funcional é genérica, não necessita de especificações de projeto ou de engenharia. Pode ser tratada como uma não-função. Já a abordagem estrutural necessita de informações de engenharia as quais muitas vezes não estão facilmente disponíveis. Tanto na abordagem funcional como na abordagem estrutural é muito importante que se tenha, bem definida, a função do componente, pois é a referência para se verificar quando o item está em falha ou não (SAKURADA, 2001, p. 4).

No Quadro 1 apresenta exemplo dos modos de falha para um eixo adotando a abordagem funcional e estrutural.

Quadro 1 - Modo de Falha com Modelo de Abordagem Funcional e Estrutural

ABORDAGEM FUNCIONAL		
Componente	Função	Modo de falha
Eixo	Transmitir movimento, torque.	Não transmite movimento, não transmite torque.
ABORDAGEM ESTRUTURAL		
Componente	Função	Modo de falha
Eixo	Transmitir movimento, torque.	Ruptura, empenamento, desgaste...

Fonte: Adaptado de SAKURADA(2001).

Há três fatores utilizados no FMEA que auxiliam na definição de prioridades de falhas. São eles: ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D). Segundo Leal, Pinho e Alemida (2006), ocorrência define a frequência da falha, enquanto a severidade corresponde à gravidade do efeito da falha, enquanto a detecção é a habilidade para detectar a falha antes que ela atinja o cliente.

De acordo com Lafraia (2001) estes fatores podem ser definidos:

- Severidade: É o índice que deve refletir a gravidade do efeito da falha sobre o cliente, assumindo que o tipo de falha ocorra. A atribuição do índice de gravidade desse ser feita observando o efeito da falha e avaliando o “quanto” ele pode incomodar o cliente.
- Ocorrência: É uma estimativa das probabilidades combinadas de ocorrência de uma causa de falha, e dela resulta o tipo de falha no produto/processo.
- Detecção: É o índice que avalia a probabilidade de a falha ser detectada antes que o produto chegue ao cliente ou as falhas afetem o sistema externamente. O índice de detecção deve ser atribuído observando-se o conjunto “modo de falha-efeito” e para os controles atuais exercícios.

Neste sentido, o RPN que de acordo com Oliveira, Paiva e Almeida (2007) indica o grau de risco e prioriza as contra medidas a serem adotadas contra as falhas, sendo calculado a partir da multiplicação entre as variáveis de acordo com a Equação (1).

$$RPN = O \times S \times D \quad (1)$$

Onde,

O - Probabilidade de Ocorrência

S – Severidade

D - Detecção

Os quadros a seguir (Quadros 2, 3 e 4) apresentam um sistema de pontuação utilizado na determinação dos fatores ocorrência, severidade e detecção. Para a realização do trabalho será utilizado estes valores.

Quadro 2 - Critério de Análise Para a Ocorrência da Falha

PROBABILIDADE DE FALHA	POSSÍVEIS TAXAS DE FALHAS	GRAU
Extremamente alta: quase inevitáveis	≥ 1 em 2	10
Muito alta	1 em 3	9
Repetidas falhas	1 em 8	8
Alta	1 em 20	7
Moderadamente alta	1 em 80	6
Moderada	1 em 400	5
Relativamente baixa	1 em 2000	4
Baixa	1 em 15000	3
Remota	1 em 150000	2
Quase impossível	1 em 1500000	1

Fonte: Adaptado de Leal, Pinho e Almeida(2006).

Quadro 3 - Critério de Análise Para a Detecção da Causa da Falha

DETECÇÃO	PROBABILIDADE DE DETECÇÃO DA CAUSA DA FALHA	GRAU
Absolutamente incerta	A manutenção não detecta a causa da falha potencial, ou não existe manutenção	10
Muito remota	Chance muito remota de se detectar a causa da falha	9
Remota	Chance remota de se detectar a causa da falha	8
Muito baixa	Chance muito baixa de se detectar a causa da falha	7
Baixa	Chance baixa de se detectar a causa da falha	6
Moderada	Moderada chance de se detectar a causa da falha	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta a chance de se detectar a causa da falha	4
Alta	Chance alta de se detectar a causa da falha	3
Muito alta	Chance muito alta de se detectar a causa da falha	2
Quase certa	A manutenção quase certamente detectará a causa da falha	1

Fonte: Adaptado de Leal, Pinho e Almeida (2006).

Quadro 4 - Critério de Análise Para a Severidade (gravidade) dos Efeitos da Falha

EFEITO	SEVERIDADE DO EFEITO	GRAU
Perigoso	Falha é perigosa, e ocorre sem aviso. Capaz de suspender a operação dos sistemas e/ou envolve aspectos não complacentes	10
Sério	Os efeitos podem ser perigosos e/ou envolvem aspectos não complacentes	9
Importante	Produto inoperável, com perda da função básica. Sistema inoperante	8
Impactante	Desempenho do produto sofre impacto. Sistema pode não operar	7
Significativo	Desempenho do produto é degradado. Funções atreladas ao conforto podem não operar	6
Moderado	Moderado efeito no desempenho do produto. Produto requer reparos	5
Baixo	Pequeno efeito no desempenho do produto. O produto não requer reparos	4
Desprezível	Efeito desprezível no desempenho do produto ou sistema	3
Muito desprezível	Efeito muito desprezível no desempenho do produto ou sistema	2
Nenhum	Nenhum efeito	1

Fonte: adaptado de Leal, Pinho e Almeida(2006).

Neste contexto, Palady (1997) elaborou um modelo com onze elementos presentes na maioria das tabelas resultantes do FMEA:

- 1) Cabeçalho: possui informações para identificação do documento.
- 2) Funções: é aquilo que o usuário espera que o produto faça.
- 3) Modos de falha: são os modos que uma função pode falhar.
- 4) Efeitos: é o que acontece ao usuário quando a falha ocorre.
- 5) Severidade: é a gravidade dos efeitos do modo de falha.
- 6) Causas: é o que provoca a ocorrência do modo de falha.
- 7) Ocorrência: é a frequência que se espera que o modo de falha ocorra.
- 8) Controles: são os mecanismos para verificar a qualidade do item analisado.
- 9) Detecção: é a probabilidade do modo de falha ser detectado pelo usuário antes da falha ocorrer.

10) Ações recomendadas: aquilo que pode ser feito para prevenir as falhas potenciais, reduzir a severidade e/ou aumentar a chance de detecção.

11) Status: é o estado das ações recomendadas.

Um exemplo deste modelo é exposto na Figura 4:

Figura 4 - Modelo de Formulário FMEA

Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – PAINEL FOTOVOLTAICO																
Cabeçalho	Projeto/ Processo: Organizado por: Responsável pelo Projeto/Processo:							FMEA Nº: Componente:								
	Item	Função	Modo de Falha	Efeito de Falha	Severidade	Causa da Falha	Ocorrência	Controles atuais p/ prevenção	Deteção	Risco (RPN)	Ações recomendadas	Responsáveis	Severidade	Ocorrência	Deteção	Risco (RPN)
Desenvolvimento																

Fonte: Autoria própria (2018).

3.3 PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO MUNDO

A produção de geração de energia que atualmente mais cresce no mundo é o sistema solar fotovoltaico. Segundo a Agência Internacional de Energia, a mesma expande-se mais rapidamente do que qualquer outra fonte de energia (Portal Absolar, 2018).

A Associação Europeia das Indústrias Fotovoltaicas (EPIA), em seu panorama do mercado global para energia solar de 2015, mostrou que o mercado fotovoltaico atingiu a marca de 40GW de potência instalada no mundo em 2014. A China, os Estados Unidos e Alemanha são alguns dos países que mais contribuem com estes números, comprovando a viabilidade e eficiência da energia solar fotovoltaica, mesmo em países em que a radiação solar não é tão alta quanto em países tropicais, como o Brasil (EPIA, 2015).

Outro aspecto levantado pelo portal Absolar (2018), é que é bastante admirável a evolução desta fonte, tendo um crescimento de até 10 vezes mais em poucos anos, e desde então

continua crescendo de forma acelerada e são muitos os fatores que contribuem pra essa expansão como: mudanças climáticas, independência energética, políticas públicas, queda no preço dos módulos fotovoltaicos, entre outros. EPIA(2015) mostram que, apesar de ainda ser uma tecnologia cara, os preços estão em constante redução nos últimos anos.

Em relação ao ranking mundial, a Figura 5 mostra os 10 principais países para instalações por potência e capacidade instalada total em 2017. Observa-se que o Brasil se destaca ingressando no ranking mundial de potência instalada.

Figura 5 - Ranking dos 10 Principais Países para Instalação e Capacidade no Ano de 2017

1		China	53 GW	1		China	131 GW
2		USA	10,6 GW	2		USA	51 GW
3		India	9,1 GW	3		Japan	49 GW
4		Japan	7 GW	4		Germany	42 GW
5		Turkey	2,6 GW	5		Italy	19,7 GW
6		Germany	1,8 GW	6		India	18,3 GW
7		Australia	1,25 GW	7		UK	12,7 GW
8		Korea	1,2 GW	8		France	8 GW
9		UK	0,9 GW	9		Australia	7,2 GW
10		Brazil	0,9 GW	10		Spain	5,6 GW

↓
A capacidade instalada total no Brasil foi de 1,1 GW em 2017

Fonte: Snapshot of Global PV Markets, IEA (2018).

Neste contexto, Colaferro (2018) assegura que o Brasil atualmente se encontra entre os 30 países do mundo com maior produção de energia solar fotovoltaica referente à capacidade instalada, podendo estar entre os 5 primeiros em 2030.

3.4 PLACAS FOTOVOLTAICAS

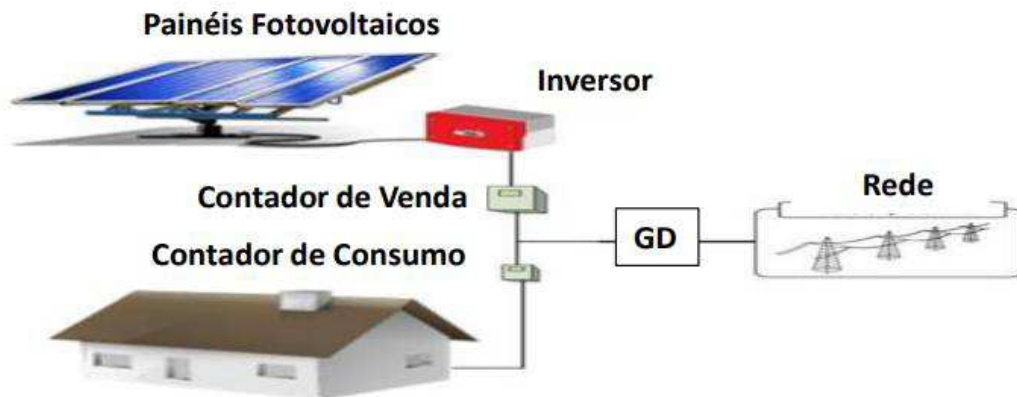
A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, unidade fundamental desse processo de conversão. (PINHO E GALDINO, 2014).

Segundo Severino e Oliveira (2010), o efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Complementando esta informação, Nascimento (2014) afirma que uma célula fotovoltaica não

armazena energia elétrica, mas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado Efeito Fotovoltaico.

A Figura 6 expõe um exemplo do funcionamento de placas fotovoltaicas:

Figura 6 - Diagrama de Funcionamento de Placas Fotovoltaicas



Fonte: Energia Solar no Brasil e no Mundo (2016).

De acordo com informações relevantes do portal Solar (2018), o sistema de energia fotovoltaica ou gerador de energia solar, funciona da seguinte maneira: os painéis solares captam a luz solar por meio de placas fotovoltaicas e a transformam em energia elétrica de corrente contínua. O inversor tem função de transformar essa energia em corrente alternada pronta para ser utilizada em residências ou empresas. Depois de transformada é conduzida ao quadro de distribuição de luz e tudo o que estiver conectado à rede irá automaticamente utilizar desta energia. Caso seja produzida mais energia do que consumido a mesma é jogada na rede pública, contabilizando como saldo positivo, sendo deduzida automaticamente quando se precisar usar novamente, ou seja, é possível a troca com a rede elétrica, reduzindo gastos com a conta de luz, segundo dados do portal Solar.

A tecnologia fotovoltaica é vista por muitos como um caminho ideal para a geração de energia, através de uma fonte inesgotável e não poluente. Segundo Marinoski, Salomonie Ruter (2004), este é um método de produção de energia sustentável e amigável ao meio ambiente, que traz benefícios tanto ambientais quanto energéticos. Neste sentido, tem-se explorado novos materiais e realizado pesquisas para o avanço da tecnologia fotovoltaica (CEMIG, 2012). Por exemplo, o silício (Si), que é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas (FV), e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante

na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2012).

Existem diversas tecnologias de células fotovoltaicas em desenvolvimento, classificadas de acordo com o material e suas características.

- Primeira geração: A primeira geração é composta por silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidação e confiança (CEPEL & CRESESB, 2014).
- Segunda geração: A segunda geração, também chamada de filmes finos, é dividida em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe).
- Terceira geração: A terceira geração, é que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap eletrônico. Esta geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade (IEEE, 2014).

Por fim, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, têm-se as células orgânicas ou poliméricas (CEPEL & CRESESB, 2014). Assim, os materiais mais utilizados para a construção de células fotovoltaicas são:

Silício monocristalino (m-Si): de acordo com Miranda (2015), a maioria dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino, também denominados de células, são obtidos a partir de fatias de um único grande cristal, mergulhados em silício fundido. Neste processo, o cristal recebe pequenas quantidades de boro formando um semiconductor dopado do tipo “p”⁸. A esse semiconductor, após seu corte, é introduzido impurezas do tipo “n”⁹, expostas a vapor de fósforo em fornos com altas temperaturas, garantindo confiabilidade e eficiência aos produtos (CEPEL & CRESESB, 2014; CEMIG, 2012).

Silício policristalino (p-Si): segundo Ruther (2004), a eficiência do módulo fotovoltaico p-Si é menor que a do silício monocristalino, mesmo sendo fabricados pelo mesmo material. Isto, pois, ao invés de ser formado por um único cristal, é fundido e solidificado, resultando em um bloco com grandes quantidades de grãos ou cristais, concentrando maior número de

defeitos. Em função destes, o seu custo é mais baixo quando comparados às células monocristalinas.

Filmes Finos: em comparação às demais tecnologias fotovoltaicas, os filmes finos apresentam a grande vantagem de consumir menos matéria prima e menos energia em sua fabricação, tornando muito baixo o seu custo. Além disso, a reduzida complexidade na fabricação torna mais simples os processos automatizados, favorecendo sua produção em grande escala (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Materiais orgânicos: segundo a Cepel&Cresesb (2014), as células orgânicas ou poliméricas representam a mais recente das tecnologias fotovoltaicas, estando, ainda, em fase de pesquisa e desenvolvimento, teste e produção em pequena escala. Esta tecnologia baseia-se na utilização de um semicondutor orgânico, o qual é responsável pela absorção de luz, geração, separação e transporte de cargas. Alguns destes dispositivos são produzidos pela mistura de um polímero condutor e um derivado de fulereno (ALVES, 2011). De acordo com Alves (2011), as células orgânicas podem ser consideradas uma alternativa promissora para a conversão de energia solar a baixo custo.

A Figura 7 expõe a composição da célula fotovoltaicamonocristalino, logo em seguida a Figura 8, 9 e 10 a célula policristalino, filmes finos e as orgânicas respectivamente.

Figura 7 - Painel Fotovoltaico de Monocristalino



Fonte: Porta Solar(2018).

Figura 8 - Painel Fotovoltaico Policristalino



Fonte: Portal Solar (2018).

Figura 9 - Painel Fotovoltaico de Filmes Fino



Fonte: Portal Solar (2018).

Figura 10 - Painel fotovoltaico orgânico



Fonte: SustentarAqui (2016).

Com o avanço da tecnologia, surgiram outros tipos de placas fotovoltaicas, com diversas variações. Dentre estas se encontra a placa fotovoltaica híbrida, que será considerada como foco desta pesquisa. De acordo com Hipólito (2015), a eficiência do painel fotovoltaico diminui com o aumento da temperatura aproximadamente em 45°C .

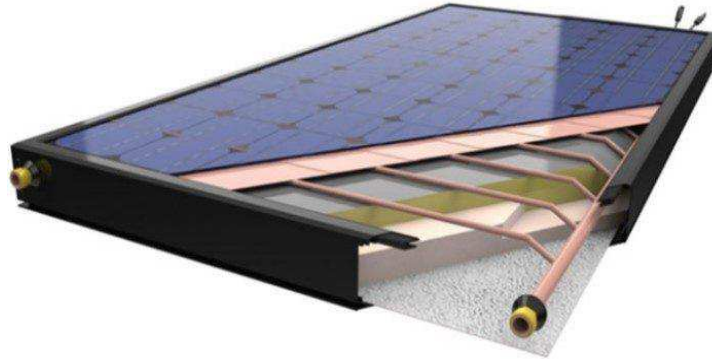
O interesse surgiu ao perceber a redução de temperatura do sistema com a troca do calor em contato com a água. Após pesquisas, observou-se que a eficiência da água aumentou por obter uma capacidade térmica maior, ou seja, a água pode ser utilizada nas residências e até nas indústrias, por um sistema simples e uma solução de baixo custo (OLIVEIRA; MIRANDA; KLEPA e SANTANA, 2017).

De acordo com o portal Solar (2018), o painel solar híbrido é uma nova tecnologia no mercado conhecida como heterojunção, e a eficiência dos painéis que usam essa tecnologia variam de 21% a 24%. Seu processo de fabricação possui algumas diferenças a dos painéis monocristalinos, porém, possuem uma passivação com camada de Silício Amorfo (a-Si), dentre outras diferenças.

Outro aspecto levantado, segundo dados do portalSolar (2018), é que ele produz mais energia por metro quadrado e também funciona muito bem com temperaturas mais altas, sendo ideal para o Brasil.

A Figura 11 expõe o modelo da placa solar fotovoltaica híbrida.

Figura 11 - Modelo de Placa Fotovoltaica Híbrida



Fonte: Portal Energia (2018).

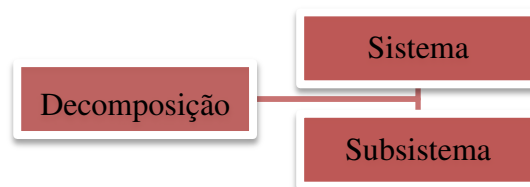
Quando o painel convencional está em uso ele pode chegar a uma temperatura acima de 65°C, pois somente uma parte dessa temperatura é transformada em eletricidade e a outra parcela é perdida na forma de calor, porém se conectar um trocador de calor com uma circulação de água, junta com a parte inferior do painel, o que era perdido passa a ser aproveitado como aquecimento de água, fazendo com que a temperatura do painel permaneça mais baixa (OLIVEIRA; MIRANDA; KLEPA e SANTANA, 2017).

4 RESULTADOS

A ferramenta FMEA será aplicada para todos os componentes presentes em uma célula fotovoltaica híbrida. Esta ferramenta será de grande relevância para este estudo por ser um método padronizado e de prevenção e minimização de falhas. O mesmo irá auxiliar a adaptação para uma análise do produto, no caso o módulo fotovoltaico híbrido.

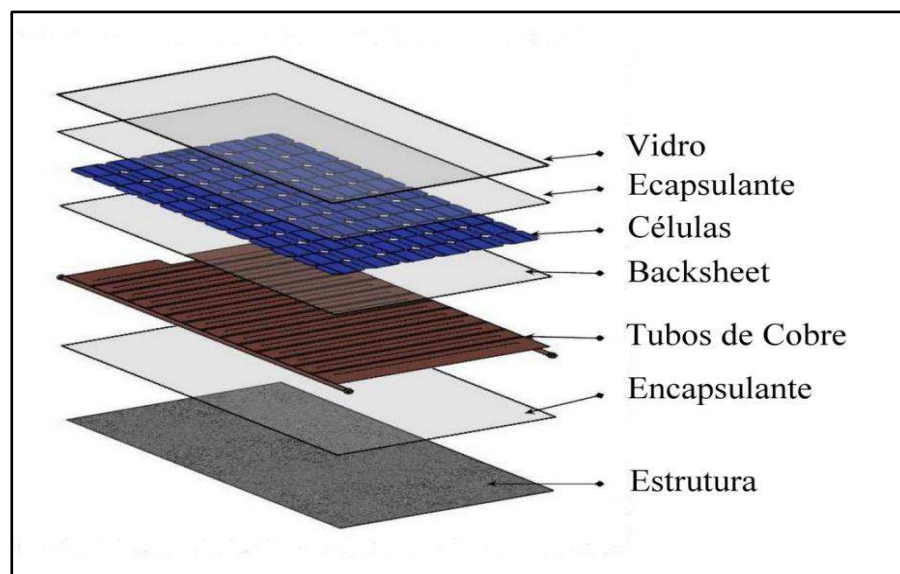
Para esse estudo foi considerado a seguinte decomposição de partes: sistema e subsistema. O sistema é o próprio painel fotovoltaico e seus subsistemas são partes que compõem o painel, como mostrado na Figura 12 e 13 respectivamente.

Figura 12 - Decomposição do Painel Fotovoltaico



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 13 - Modelo do Painel Fotovoltaico Híbrido e seus Subsistemas



Fonte: Adaptado de Futuro Solar (2014).

Iniciou-se a busca pelo protótipo da placa com representação de todos seus elementos e, em seguida, determinou-se as funções associadas ao equipamento, ou das funções dos componentes do equipamento. A avaliação das falhas se deu através de pesquisas bibliográficas de diferentes autores e por profissionais de algumas áreas da engenharia de com intuito de se obter maiores dados e enriquecimento, se preocupando com a qualidade, confiabilidade e segurança do produto. A estruturação das falhas encontradas ocorreu através da elaboração do FMEA e segundo as técnicas recomendadas pela ferramenta. É de grande importância também a avaliação das falhas encontradas, considerando os valores determinados nos Quadros 2, 3 e 4, para a ocorrência, detecção e severidade das falhas, respectivamente.

Observando o formulário FMEA exposto no Quadro 5, foi possível identificar os 5 modos de falhas com maiores RPNs, todas em relação ao item célula. E, a partir deles, foi proposto um plano adequado de manutenção. Neste sentido, os modos de falha com maior RPN foram:

1. Quebra das células, no item célula, com RPN 216
2. Microfissuras não vista a olho nu, no item célula, com RPN 112
3. Pontos quentes, no item célula, com RPN 90
4. Oxidação do revestimento anti reflexivo, no item célula, com RPN 84
5. Corrosão, no item célula, com RPN 84

Quadro 5 – Formulário FMEA Para o Módulo Fotovoltaico Híbrido

Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – PAINEL FOTOVOLTÁICO												
Cabeçalho	Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maria Vitória Medeiros de Araújo Responsável pelo Projeto/Processo: Maria Creuza Borges de Araújo						FMEA Nº:1 Componente: Bloco Gerado - Módulo Fotovoltaico Híbrido					
Desenvolvimento	Item	Função	Modo de Falha	Efeito de Falha	Severidade	Causa da Falha	Ocorrência	Controles atuais p/ prevenção	Deteção	Risco (RPN)	Ações recomendadas	Responsáveis
	Estrutura	Proteção extra e aumento da resistência dos painéis	Quebra	Danificação de todo o produto existindo quebra ou trinca das células e acesso de agentes do ambiente no módulo	8	Aquecimento da estrutura causando dilatação e arrefecimento causando contração.	3	Selecionar matérias de qualidade e resistentes as variações climáticas	1	24	Manusear corretamente, adquirir material de qualidade	Profissional ou técnico projetista
	Estrutura	Proteção extra e aumento da resistência dos painéis	Torções/Danos estruturais	Danificação de todo o produto existindo quebra ou trinca das células e acesso de agentes do ambiente no módulo	8	Aquecimento da estrutura causando dilatação e arrefecimento causa contração ou falhas com a fabricação e manuseio incorreto	3	Selecionar matarias de qualidade e resistentes as variações climáticas	1	24	Manusear corretamente, adquirir material de qualidade	Profissional ou técnico projetista

	Estrutura	Proteção extra e aumento da resistência dos painéis	Corrosão	Danificação de todo o produto existindo quebra ou trinca das células e acesso de agentes do ambiente no módulo	8	Infiltração de água e umidade	2	Selecionar um material com maior resistência às condições climáticas	2	32	Selecionar e certificar matérias resistentes, e ter conhecimento de toda operação do elemento determinado	Profissional ou técnico projetista
	Encapsulante	Isolante contra as variações climáticas, umidade, temperatura e envelhecimento das células.	Degradação	Decompõe lentamente os materiais limitando a capacidade do módulo de forçar a saída de umidade.	7	Exposição ao raio ultravioleta	4	Utilização de materiais menos susceptíveis ao fenômeno (umidade).	1	28	Selecionar e certificar matérias resistentes, e ter conhecimento de toda operação do elemento determinado	Profissional ou técnico projetista
	Encapsulante	Protege contra variações climáticas de temperatura, umidade e envelhecimento causados pelos raios.	Quebra	Perda de potência, limitando a quantidade de luz solar que pode atingir.	7	Exposição ao raio ultravioleta	4	Utilização de materiais menos susceptíveis ao fenômeno (umidade).	1	28	Adquirir material de qualidade e com maior resistência a intempéries ambiental	Profissional ou técnico projetista
	Vidro	Responsável pela condução dos elétrons e penetração de luz, enquanto protege a célula contra intempéries.	Quebra ou rupturas	Diminui a resistência e potência das células.	7	Sombreamento ou impacto	3	Aderir produtos de fabricação com qualidade	1	21	Manusear corretamente, adquirir material de qualidade	Profissional ou técnico projetista

	Backsheet (Filme plástico branco)	Proteção extra contra aspectos ambientais e isolamento elétrico.	Degradação/Laminado	Decompõe lentamente os materiais limitando a capacidade do módulo de forçar a saída de umidade.	6	Exposição ao raio ultravioleta	3	A qualidade da folha é de vital importância para a consistência do módulo, qualquer fissura provocará um caminho possível para a fuga de elétrons ou entrada de umidade.	3	53	Adquirir material de qualidade e com maior resistência a intempéries ambientais	Profissional ou técnico projetista
	Backsheet (Filme plástico branco)	Proteção extra contra aspectos ambientais e isolamento elétrico.	Bolhas de ar ou descolamento	Redução de eficiência dos módulos	4	Exposição ao raio ultravioleta	3	A qualidade da folha é de vital importância para a consistência do módulo	1	12	Adquirir material de qualidade e com maior resistência	Profissional ou técnico projetista
	Célula	Realiza a conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica	Degradação e perda de potência	Reduz a eficiência das células	6	Acúmulo de sujeira	9	Produtos de fabricação com qualidade	1	54	Verificar periodicamente manter limpos e funcionais	Profissional ou técnico projetista

	Célula	Realiza a conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica	Quebra das células	Degradação da eficiência da célula, podendo ocasionar perda total do produto	9	Intempéries ambientais, instalação incorreta, sobreaquecimento	6	Produtos de fabricação com maior resistência e mantê-los sempre limpos	4	216	Verificar periodicamente	Profissional ou técnico projetista
	Célula	Realiza a conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica	Degradação induzida pela luz	Reduz a eficiência das células	6	Mecanismo de recombinação induzida	3	Produtos de fabricação com qualidade	4	72	Verificar periodicamente	Profissional ou técnico projetista
	Célula	Realiza a conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica	Degradação induzida potencial	Reduz a quantidade de energia produzida	5	Fuga de energia causada à migração de íons de sódio de outros elementos: vidro, estrutura.	3	Produtos de fabricação com qualidade	4	60	Verificar periodicamente	Profissional ou técnico projetista
	Célula	Realiza a conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica	Corrosão	Limita a capacidade do módulo	7	umidade, sujeira, impurezas	4	Utilização de materiais menos susceptíveis ao fenômeno (umidade).	3	84	Verificar periodicamente	Profissional ou técnico projetista
	Célula	Realiza a conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica	Oxidação do revestimento anti reflexivo	Degradação da eficiência da célula	7	Umidade, encapsulante incorreto ou existência de água	4	Utilização de materiais menos susceptíveis ao fenômeno (umidade)	3	84	Verificar periodicamente	Profissional ou técnico projetista

	Célula	Realiza a conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica	Pontos quentes	Degradação da eficiência da célula.	6	Queda na corrente de saída em uma ou mais célula, sombreamento e célula defeituosa,	3	Mantê-los sempre limpos	5	90	Inspeccionar temporariamente utilizando uma câmera termográfica	Profissional ou técnico projetista
	Célula	Realiza a conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica	Microfissuras não vistas a olho nu	Degradação da eficiência da célula	7	Provocadas por pressão sobre os painéis fotovoltaicos, efeito do calor	4	Aderir produtos de fabricação com qualidade e mantê-los sempre limpos	4	112	Inspeccionar temporariamente	Profissional ou técnico projetista
	Célula	Realiza a conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica	Delaminação	Infiltração de água	6	Material de baixa qualidade, pontos quente, problemas na fabricação	3	Produtos de qualidade	2	36	Inspeccionar temporariamente	Profissional ou técnico projetista
	Tubos de cobre	Eficiente isolante térmico	Corrosão	Vazamento de água provocando curto circuito, mal funcionamento dos módulos	9	Quantidade excessiva de cloreto, nitrato e sulfato presentes na água	2	Aderir produtos de fabricação com qualidade, e verificar periodicamente	3	54	Fazer análise da água que for utilizada	Profissional ou técnico projetista

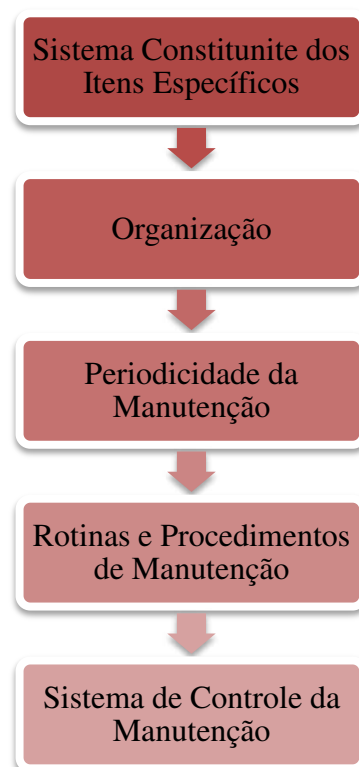
	Lavadora (Borracha)	Vedação em linhas de água	Vazamento de água nas partes do módulo	Ocasional degradação em algumas partes do módulo ocasionando perda total do produto	5	Danificação do material	1	Material resistente a intempéries	1	5	Inspecionar a instalação garantindo que não tenha ocorrido danificações	Profissional ou técnico projetista
	Cabos	Interliga os componentes, promovendo o fluxo de energia entre eles para o meio externo	Crimpagem mal feita	Pontos quentes, podendo gerar falha nas células	8	Focos de incêndio	2	Utilização de equipamentos específicos	2	32	Inspecionar a instalação garantindo que não tenha ocorrido danificações	Profissional ou técnico projetista
	Cabos	Interliga os componentes, promovendo o fluxo de energia entre eles para o meio externo	Rupturas, danos ao material	Danos ao equipamento, causados por tempestades e fortes ventos, curto circuito	8	Mal funcionamento	2	Utilização de equipamentos específicos	2	32	Inspecionar a instalação garantindo que não tenha ocorrido danificações	Profissional ou técnico projetista

Fonte: Autoria Própria (2018)

4.1 PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO

Com o intuito de garantir maior a eficiência dos módulos fotovoltaicos e minimizar as possíveis falhas detectadas, foi realizado uma proposta de plano de manutenção para os 5 itens com RPNs maiores, identificados com a utilização da ferramenta FEMA. A elaboração da proposta segue os passos conforme demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma das Etapas do Plano de Manutenção



Fonte: Autoria Própria (2018)

Para melhor entendimento dos profissionais habilitados, que devam executar os serviços de verificação, inspeção, aferições e correções pré-determinadas, é fundamental a organização dos itens a respeito dos modos de falha encontrados. Foi definido assim, para o módulo fotovoltaico em estudo, os modos de falha constituintes para a manutenção preventiva, apresentados na Quadro 6, a seguir.

Quadro 6 – Relação dos Itens e seus Modos de Falha

ITEM	MODO DE FALHA
Célula	Quebra da Célula
Célula	Microfissuras
Célula	Pontos Quentes
Célula	Oxidação do Revestimento Anti Reflexivo
Célula	Corrosão

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Deve-se também considerar a organização do espaço em que as células estão inseridas. Neste caso, devem-se manter as boas condições como: espaço, nível de radiação, a segurança, via de acesso para o ocupante/proprietário, perímetro de segurança para manter pessoas longe da área de instalação, a localização da instalação, a estrutura da instalação, proteção contra possíveis objetos que possam cair sobre eles, tipo de telhado, entre outros.

Ademais, o período de tempo determinado para a manutenção preventiva de cada modo de falha é um mecanismo de grande importância para garantir o sucesso do plano de manutenção, haja vista que longos períodos sem manutenção causará a deterioração dos itens. A definição da periodicidade para cada modo de falha foi baseada na severidade em que e encontram estes itens. Outra medida abordada foi o agrupamento de atividades dos modos de falha que possuem intervalos iguais ou semelhantes para o mesmo período de manutenção, facilitando a contratação de profissionais ou técnicos, como mostra a Quadro 7.

Quadro 7 – Plano de Periodicidade dos Modos de Falha

Modo de Falha	Meses												Período	Ação
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Quebra da célula	X				X				X				Três vezes ao ano	Realizar a inspeção mantendo os painéis sempre limpos, e utilizar o voltímetro para avaliar se os módulos possuem a mesma eficiência
Microfissuras	X				X				X				Três vezes ao ano	Realizar a inspeção utilizando o voltímetro para avaliar se os módulos possuem a mesma eficiência
Pontos quentes	X				X				X				Três vezes ao ano	Realizar a limpeza dos painéis e inspecionando com a utilização de uma câmera termográfica, identificando partes com elevadas temperaturas no módulo.
Oxidação	X				X				X				Três vezes ao ano	Inspecionar utilizando a câmera termográfica e aplicação de lubrificantes
Corrosão	X				X				X				Três vezes ao ano.	Inspecionar utilizando a câmera termográfica ou visualmente, e usufruir de produtos de limpeza como solventes ou lubrificantes apropriados para os módulos

Fonte: Autoria Própria (2018)

Por fim, observa-se que os itens expostos no plano de manutenção apresentam quase as mesmas especificações quanto a sua funcionalidade e procedimento para a execução da manutenção. Por isso é importante à contratação de profissionais ou técnicos especialistas na área, com intuito de efetuar as inspeções, verificações e manutenções. Cada tabela de manutenção elaborada possui as atividades (rotina) e procedimentos que são diretamente relacionadas ao modo de falha, apresentadas como principal objetivo para o profissional sobre a característica do serviço a ser realizado. O objetivo principal é detalhar com maior exatidão as atividades de manutenção a serem executadas como mostra a Quadro 8.

Quadro 8 – Plano de Manutenção de Rotina e Procedimentos

ITEM: CÉLULA
ROTINA
Contratar profissional
Avaliação dos itens
Inspeção visual
Correções e limpezas
PROCEDIMENTOS
Acompanhamento do serviço
Ferramentas adequadas
Inspecionar os módulos
Documentar as possíveis falhas encontradas
Em caso de anomalias, efetuar a solicitação de manutenção corretiva
Correções nos módulos quando apresentarem sujeira

Fonte: Autoria Própria (2018)

A correta execução do plano de manutenção se deu na garantia de se prevalecer eficiência do módulo em toda sua vida útil. Para tal, o controle dos profissionais habilitados na execução dessas atividades e os períodos para cada item, devem ser controlados e homologados pelo profissional que for contratado. Com isso, foi proposto um sistema definido para tais controles exposto pela Quadro 9.

Com isso, o plano de manutenção irá auxiliar na redução da probabilidade de falhas, mão de obra, tempo, a degradação do funcionamento dos itens compostos no módulo, entre outros. A utilização de documentos ou séries de documentos como modelo de roteiro contribuirá com informações importantes, instruindo profissionais de qualidade, auxiliando como base nas decisões.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A detecção de falhas iniciais diminui os custos de manutenção do produto, além de aumentar a sua vida útil e atender melhor as expectativas dos usuários. Neste sentido, o presente estudo utilizou o FMEA para a determinação de falhas potenciais e recomendações de ações para evitar ou minimizar estas falhas em módulos fotovoltaicos. Estas orientações são de grande importância possibilitando uma visão de todo o equipamento, de como este pode apresentar segurança de um correto funcionamento, possibilitando a prevenção de falhas, medidas que devem ser tomadas e agilidade.

De acordo com os resultados expostos no Capítulo 4, pôde-se constatar que a aplicação do método FMEA para a análise de falhas em módulos fotovoltaicos híbridos é de grande relevância, pois foi possível detectar vários modos de falhas, efeitos/danos que são causadas diretamente na confiabilidade e vida útil, evitando assim ao máximo possível que ocorram à perda de todo o produto. A mesma possibilita uma visão mais clara do método de manutenção a ser utilizada.

A realização do plano de manutenção é necessária no que diz respeito às falhas que podem advir durante seu funcionamento, colaborando na redução dos custos, sendo realizada periodicamente, evitando assim a deterioração precoce dos equipamentos no que contribui na sua redução de vida útil, comprometendo sua capacidade produtiva. A prática da manutenção preventiva em módulos é importante para todas as partes envolvidas, todavia, nem sempre são claras as informações corretas sobre a real importância e benefícios.

Por fim, a utilização da ferramenta FMEA em módulos fotovoltaicos híbridos é viável, considerando os resultados presentes com a pesquisa e informações a respeito do tema e sua aplicabilidade. Acredita-se que há uma imensa série de oportunidades de pesquisas aprofundarem-se em metodologias desenvolvidas e objetivas de desenvolvimento no setor de manutenção destas placas.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados obtidos com a pesquisa e lacunas de informações dadas a respeito do tema de gestão da manutenção em placas fotovoltaicas híbridas, acredita-se que há uma grande série de oportunidade de futuras pesquisas aprofundarem-se mais neste assunto.

Não foi encontrada nenhuma publicação que descrevesse um passo a passo mais conciso que, de fato, mostrasse afundo os componentes presentes nos módulos híbridos. Relevante também seria o estudo mais aprofundado desses módulos em campo, envolvendo empresas que as fabricam, a partir da aplicação do plano proposto ou plano semelhante, e análise de estimativas de vida útil dos módulos com a aplicação de manutenção.

Tal estudo teria uma considerável melhoria na qualidade e na prevenção de falhas do módulo. É importante mencionar que as medidas para sua prevenção estão vigorosamente ligadas à durabilidade do módulo, assim sendo, contribuindo para aumentar o tempo de vida e reduzir perdas na eficiência em longo prazo, tornando está tecnologia mais viável e opositora.

REFERÊNCIAS

A aceleração da energia solar fotovoltaica no mundo. **Absolar**. Bela Vista, SP, 14 de mar. De 2018. Disponível em:< <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/a-aceleracao-da-energia-solar-fotovoltaica-no-mundo.html>>. Acesso em: 15 de nov. de 2018.

ALVES, João Paulo de Carvalho. **Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanopartículas de CdSe**. 2011. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2011.

ÁNDRE, Segismundo. **Processo de Descentralização de Novos Produtos**: uma análise em uma empresa do setor de veículos comerciais. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSUNÇÃO, Hélio Delgado. **Degradação de Módulos Fotovoltaicos de Silício Cristalino Instalados no Dee - Ufc**. 2014. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CAIRES, Suzane Machado Pires. Estudo Sobre Posicionamento de Placas Fotovoltaicas. 2014, 67 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Faculdade Independente do Nordeste, FAINOR, Vitória da Conquista, 2014.

CARBONE, T.A.; TIPPETT, D.D. Project risk management using the Project risk FMEA. **Engineering Management Journal**, v.16, n.4, p. 28-35, 2004.

CARVALHO, A. L. **Introdução à Confiabilidade**: métodos clássicos e abordagem nebulosa. 2006. 170 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

CAVENAGHI, Gustavo Lara Campos. **Modelo Ontológico e Método FMEA Aplicados À Análise de Falhas em Painéis Fotovoltaicos**. 2014. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**, Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CHRYSLER, D. MOTOR, F. MOTOR, G. **Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**. Reference Manual to QS-9000 (Quality System). Third Edition, 2001.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **As energias solar e eólica no Brasil**, 2013. Disponível em: <<http://cresesb.cepel.br/download/casasolar/casasolar2013.pdf>>. Acesso em: 03 de out. 2018.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

COLAFERRO, Oca. Energia Solar no Brasil: um panorama para você entender tudo. **BlueSol**, 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama>>. Acesso em: 29 de out. de 2018.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão Estratégica da Manutenção**: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

COUTO, M. P.; CARVALHO, A. L. Utilização do FMEA para análise de processos administrativos em uma instituição de ensino superior. **Percursos Acadêmicos**, Belo Horizonte, v. 5, n. 10, p. 445-472, 2015.

DUHAM, M. T.; IVERSON, B. D. **High-efficiency thermodynamic power cycles for concentrated solar power systems**: renewable and sustainable energy reviews. Vol. 30, 2014. 758-770 p.

ENERGIA solar atinge crescimento histórico no Brasil. **TERRA**, 2018. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/dino/energia-solar-atinge-crescimento-historico-no-brasil,b338ce48bc6f7176de6523095b1fe4eddow4ba64.html>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

ENERGIA, Oca. Porque a manutenção preventiva do sistema fotovoltaico pode te auxiliar a reduzir custos?. **Blog Oca Energia**, 2017. Disponível

em:<<http://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/por-que-a-manutencao-preventiva-do-sistema-fotovoltaico-pode-te-auxiliar-a-reduzir-custos/>>. Acesso em: 30 out. de 2018.

EPIA - ASSOCIAÇÃO EUROPEIA DA INDÚSTRIA FOTOVOLTAICA. **Perspectivas do mercado global de energia solar: 2015-2019**. Bruxelas, p. 1-2 de 2015.

FERREIRA, L. L.. **Implementação da Central de Ativos para melhor desempenho do setor de manutenção**: um estudo de caso Votorantim Metais. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacarelado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

FLORENCE, G.; CALIL, S. J. Nova Perspectiva no Controle dos Riscos da Utilização da Tecnologia Médico Hospitalar. **Revista multiciência**, São Paulo, v. 29, p. 1-14, 2005

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. Ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009. v. 1. 288 p.

FONSECA, João José Saraiva. Metodologia da Pesquisa Científica. Universidade Estadual Do Ceará, UEC. Fortaleza, 2002. VEEEEEEEEEEEEEEER

FREITAS, M. G.; MIRANDA, A. A. R. Custo/Benefício e Implantação de Sistema Fotovoltaico. Disponível em:<
<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/CustoBeneficio%20e%20Implata%C3%A7%C3%A3o%20de%20Sistema%20Fotovoltaico.pdf>>. Acesso em: 19 de nov. de 2018.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2008.

HIPOLITO, L. H. **Análise e aplicação de sistemas solares híbridos fotovoltaicos / térmicos (pv / t) para residências de baixa renda no brasil**. Florianópolis, SC, 2015.

HOLANDA, Sandra Maria Santos. **Aplicação da Manutenção Preditiva por Análise de Vibrações em Equipamentos de Trens Urbanos com Plano de Manutenção Proposto**.

2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

IEEE - INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS. **Energia solar fotovoltaica de terceira geração**, 2014. Disponível em :<<http://www.ieee.org.br/wpcontent/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos Para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

JUNIOR, Luiz Alberto Wagner Pinto. Sistema de energia solar no nordeste: 4 vantagens de se implementar. **Blog HCC engenharia elétrica**, 2018. Disponível em:<<http://hccengenharia.com.br/sistema-de-energia-solar-no-nordeste-4-vantagens-de-se-implmentar>>. Acesso: 29 de out. de 2018. .

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2009.

KARDEC, A. NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

LAFRAIA, J. R. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2001.

LEAL, F.; PINHO, A. F.; ALMEIDA, D. A. Análise de falha através da aplicação do FMEA e da teoria grey. **Revista gestão industrial**. Paraná, v. 02, n. 01: p. 78-88, 2006.

LUCATELLI, Marcos Vinicius. **Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Médico-Hospitalares**. 2002. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MADDOXX, M.E. Error apparent. **Industrial engineer**, v.37, n.5, p. 40-44, 2005.

MACHADO, C.; MIRANDA, F. Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão. **Revista virtual de química**, Niterói, RJ, vol. 7, n. 1, p. 126-143, 2014.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RUTER, R. Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede de crea –sc. **X encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, São Paulo, p. 18-21 2004, ISBN 85-89478-08-4.

MONCHY, François. **A Função Manutenção** – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial. São Paulo: Ebras Durban Ltda., 1989.

MONTTEIRO, David Miguel Marques. **Estudo da Aplicabilidade de um Modelo de Manutenção de uma Empresa Industrial Metalomecânica Sodecia**. 2013. 120 f. dissertação (Mestrado em Engenharia Electromecânica) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

MORO, N. AURAS, A. P. Introdução a gestão da manutenção. 2007, 33f. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

NASCIMENTO, Cássio Araújo. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. 2004. 21 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2004.

OHTA, Robison. **Gestão da Manutenção Centrada na Confiabilidade em Pontes Rolantes**. 2013. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

OLIVEIRA, et. al. Energia híbrida e suas aplicações em sistemas fotovoltaicos. **Anais do VI SINGEP**. São Paulo, 2017.

OLIVEIRA, U. R.; PAIVA, E. J.; ALMEIDA, D. A. Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas. **Produção**. Guaratinguetá, v. 20, n. 1, p. 77-91, 2010.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista gestão industrial**, Paraná, v. 4, p. 01-16, 2008.

PALADY, Paul. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: IMAM, 2004.

PALADY, Paul. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAM, 1997.

PEREIRA, B. et al.. Atlas brasileiro de energia solar. 2a.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: < http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html >. Acesso em: 20 set. 2018.

PIERRO, Bruno. **Estudo indica áreas favoráveis para explorar a energia solar no Brasil.** 2017. Edição 258. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/08/18/para-aproveitar-o-sol/>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

PINHO, J. T; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL – CRESES.** edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro, Março de 2014.

PINTO, A.K.; XAVIER, J.A.N. **Manutenção: Função estratégica.** 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica.** 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis, SC: Labsolar, 2004

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de Análise do Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na Avaliação de Produtos.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SEVERINO, M.; OLIVEIRA, M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. **Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados,** Palmas, v. 1, p. 265-322, 2010.

SOUSA, A. V.; GOMES, J. C.; FERNADES, R.S. **Manutenção e lubrificação de equipamentos.** Qualidade da mão de obra na manutenção. Faculdade de Engenharia de Bauru. Bauru, 2012. Ver depois

SOUZA, José Barroso. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP):** Uma abordagem Analítica. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, 2008.

TAVARES, Lourival Augusto. **A Evolução da Manutenção:** manual de implementação. 1. ed. Rio de Janeiro: Novo Polo, 2005.

Tipo de painel solar fotovoltaico. **Portal Solar**, 2018. Disponível em:<<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 13 de out. 2018.

TONDATO, Rogério. **Manutenção produtiva total:** estudo de caso na indústria gráfica. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TOVAR, Pedro Henrique Heringer. **Análise Fmea Para Aplicação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade:** estudo de caso em motor hidráulico poclain. 2017. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória 2017.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM:** planejamento e controle da manutenção. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo: Erica, 2012.

WYREBSKI, Jerzy. **Manutenção Produtiva Total.** Um Modelo Adaptado. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

ZAIONS, Douglas Roberto. **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel.** 2003. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.