



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Energia

Estudo de Técnicas de Manutenção Preventiva em Instalações Fotovoltaicas

Autor: Thiago Miranda de Souza
Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Brasília, DF
2021



Thiago Miranda de Souza

Estudo de Técnicas de Manutenção Preventiva em Instalações Fotovoltaicas/
Thiago Miranda de Souza. – Brasília, DF, 2021-
65 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2021.

1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Manutenção. I. Prof. Dr. Alex Reis. II.
Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Estudo de Técnicas de
Manutenção Preventiva em Instalações Fotovoltaicas

CDU 02:141:005.6

Thiago Miranda de Souza

Estudo de Técnicas de Manutenção Preventiva em Instalações Fotovoltaicas

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Brasília, DF, 7 de maio de 2021:

Prof. Dr. Alex Reis
Orientador

Prof. Dr. Rudi Henri van Els
Convidado 1

Prof. Dr. Jorge Andrés Cormane
Angarita
Convidado 2

Brasília, DF
2021

Agradecimentos

Dedico este trabalho e toda minha vida à Deus, muitas foram as barreiras e dificuldades impostas mas Tu me destes forças para incansavelmente suportá-las e vencê-las.

À Maria Oneide Miranda da Silva Souza, Carlos Antônio Dino de Souza e José Dias da Silva, minha família, companheiros e grandes apoiadores dos meus sonhos. Palavras e agradecimentos não bastam para o que fazem todos os dias por mim, honrarei e aplicarei cada ensinamento nos desafios como Engenheiro.

À minha família por aceitar minhas ausências, afagar minhas dores, incentivar meu estudo acima de tudo e comemorar cada benção.

Aos amigos Rafael Marques, Pedro Henrique, Gabriela Godoi, Kilmer Ferreira e Francisco Barroso pelo apoio nas madrugadas de estudos, trabalhos e projetos. Sem esquecer dos momentos que comemoramos as aprovações e suceSSos.

À Universidade de Brasília e Faculdade do Gama por dispor de docentes motivados a, por meio da educação, mudar a realidade do Brasil em todos os aspectos.

Agradeço ainda o apoio e orientação do Professor Dr. Alex Reis, seu acompanhamento foi primordial para além da conclusão deste trabalho e meu desenvolvimento como profissional.

À Matriz Engenharia, ANEEL e MTEC Energia por abrir meus olhos para os impactos do estudo acadêmico aliado à execução de projetos, gerenciamento de equipes e vivência empresarial.

*"Se não puder voar, corra.
Se não puder correr, ande.
Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito."
(Martin Luther King)*

Resumo

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis têm sido foco de investimento e incentivos em diversas economias mundias. A energia solar fotovoltaica, por sua característica de baixa emissão de poluentes durante operação e utilização de recurso natural e renovável, tem ganhado espaço em centrais de geração centralizada e de geração distribuída. O aumento da quantidade de sistemas fotovoltaicos implantados implicam na necessidade de se realizar inspeções e rotinas de manutenção, de forma a garantir que os equipamentos operem sob as condições projetadas e com menores riscos a saúde, segurança e meio ambiente. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo a identificação de técnicas e rotinas de manutenção preventiva que podem ser aplicadas em sistemas fotovoltaicos. Como referência, utiliza-se uma usina de minigeração distribuída instalada em solo, com estrutura fixa, para determinação das ações que devem ser realizadas nos equipamentos. Por fim, os estudos realizados neste trabalho estão sintetizados em uma planilha automatizada para a gestão de manutenção preventiva, a qual apresenta tipos, procedimentos e periodicidade das ações de manutenção, bem como as fichas históricas e características dos equipamentos.

Palavras-chaves: Geração Solar, Sistema Fotovoltaico, Inspeção, Manutenção preventiva, Rotina de manutenção.

Abstract

The generation of electric energy from renewable sources has been the focus of investment and incentives in several world economies. The photovoltaic solar energy, due to its low pollutant emission characteristics during operation and use of natural resources and renewable, has gained space in large power and distributed generation plants. The increase in the number of photovoltaic systems implemented implies the need to carry out inspections and maintenance routines, in order to ensure that the equipment operates under the projected conditions with less risks to safety and the environment. In this context, this work aims to identify preventive maintenance techniques and routines that can be applied to systems photovoltaic. As a reference, is used a distributed generation plant ground mounted, with a fixed structure, to determine the actions that must be carried out in equipments. Finally, the studies carried out in this work are summarized in a preventive maintenance spreadsheet, which presents periodicity of maintenance actions, historical records and indicators reliability.

Key-words: Solar Power, Photovoltaic System, Inspections, Preventive Maintenance, Maintenance Routines.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Países com maior capacidade instalada de usinas fotovoltaicas.	19
Figura 2 – Ferramentas mais utilizadas pelas empresas do setor fotovoltaico.	21
Figura 3 – Diagrama unifilar simplificado de uma Usina Solar Fotovoltaica (WEG, 2019).	28
Figura 4 – Termograma de um módulo fotovoltaico com mismatch causado por sombreamento (ECORI ENERGIA SOLAR, 2019)	29
Figura 5 – Curva I-V de um sistema afetado por mismatch (PINHO; GALDINO, 2014).	30
Figura 6 – Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica (MOREIRA, 2019)	31
Figura 7 – Representação de um módulo fotovoltaico de 60 células e três diodos de by pass (PINHO; GALDINO, 2014)	31
Figura 8 – Análise da produtividade mensal da planta por mesa (REZENDE, 2018).	32
Figura 9 – Orientação quanto à instalação de inversores fotovoltaicos e seus respectivos distanciamentos (HUAWEI, 2020).	33
Figura 10 – Redução de potência do inversor fotovoltaico Huawei SUN2000-33KTL (HUAWEI, 2020)	34
Figura 11 – Inversor fotovoltaico de tipologia string com dissipador térmico com aletas (HUAWEI, 2020)	34
Figura 12 – Sujidades na entrada do cooler do inversor fotovoltaico. (TODESCHINI, 2017)	35
Figura 13 – Termograma de um quadro geral (ARTUR; RENILSON; AL, 2016).	41
Figura 14 – Aba inicial com os equipamentos da Usina Solar Fotovoltaica.	45
Figura 15 – Aba da planilha com os ensaios para os módulos fotovoltaicos e stringbox.	46
Figura 16 – Aba da planilha com os ensaios para os cabos e conectores, inversor e QGBT.	46
Figura 17 – Aba da planilha com os ensaios para os transformadores à óleo e a seco.	47
Figura 18 – Aba da planilha com os ensaios para o cubículo de proteção e estrutura.	47
Figura 19 – Aba de exemplo da ficha histórica para módulo fotovoltaico.	48
Figura 20 – Indicadores de Manutenção calculados pela planilha.	49

Lista de tabelas

Tabela 1 – Equipamentos e tipos de manutenção recomendadas	37
Tabela 2 – Periodicidades recomendadas para os módulos fotovoltaicos.	39
Tabela 3 – Periodicidades recomendadas para os cabos e conexões elétricas.	39
Tabela 4 – Periodicidades recomendadas para a stringbox.	39
Tabela 5 – Periodicidades recomendadas para os inversores fotovoltaicos	39
Tabela 6 – Periodicidades recomendadas para o quadro geral de baixa tensão.	40
Tabela 7 – Periodicidades recomendadas para transformador à óleo.	40
Tabela 8 – Periodicidades recomendadas para transformador à seco.	40
Tabela 9 – Periodicidades recomendadas para o cubículo de média tensão.	41
Tabela 10 – Periodicidades recomendadas para estruturas metálicas de fixação.	41
Tabela 11 – Checklist após realização da inspeção visual no módulo fotovoltaico.	61

Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivo Geral	21
1.1.1	Objetivos Específicos	21
1.2	Organização do Trabalho	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	Conceitos e definições de Manutenção	23
2.1.1	Manutenção corretiva	23
2.1.2	Manutenção preventiva	24
2.1.3	Manutenção preditiva	24
2.2	Métricas e Indicadores de manutenção	25
2.2.1	Mean Time Between Failure - MTBF	25
2.2.2	Mean time to Failure - MTTF	25
2.2.3	Mean time to Repair - MTTR	26
2.2.4	Disponibilidade	26
2.3	NBR ABNT 5674/1999 - Manutenção de Edificações	26
2.3.1	Documentação	27
2.3.2	Fichas históricas	27
2.3.3	Gestão da qualidade do sistema de manutenção	27
2.3.4	Programação das ações de manutenção	27
2.4	Manutenções em Usinas Fotovoltaicas	28
2.4.1	Perdas nos módulos fotovoltaicos	29
2.4.1.1	Perdas por mismatch	29
2.4.1.2	Sujidade depositada ou sombreamento na superfície dos módulos	30
2.4.2	Perdas no Inversor Fotovoltaico	33
2.4.2.1	Influência da temperatura no Inversor Fotovoltaico	33
2.4.2.2	Dissipador térmico com aletas	34
2.4.2.3	Dissipador térmico com ventilação forçada	34
3	METODOLOGIA	37
3.1	Definição de escopo e estratégia	37
3.1.1	Equipamentos e tipos de manutenções necessárias	37
3.1.2	Equipamentos e respectivas periodicidades necessárias	38
3.2	Inspeções e Ensaios	39
3.2.1	Inspeção Visual	39
3.2.2	Inspeção Termográfica	40

3.2.3	Limpeza dos módulos fotovoltaicos	42
3.2.4	Curva I-V	42
3.2.5	Resistência de Isolamento	42
3.2.6	Resistência de aterramento e equipotencialização	43
3.2.7	Aperto de conectores e parafusos	43
3.2.8	Análise cromatográfica de óleo do transformador	43
3.2.9	Limpeza dos canais de ventilação internos do transformador à seco	43
4	RESULTADOS	45
4.1	Rotinas de manutenção preventiva	45
4.2	Ficha Histórica	47
4.3	Indicadores de Manutenção	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS	53
	APÊNDICES	57
	APÊNDICE A – ROTINA DE LIMPEZA PERIÓDICA PARA O MÓDULO FOTOVOLTAICO	59
A.1	Periodicidade de realização	59
A.2	Normas relacionadas	59
A.3	Ferramentas necessárias	59
A.4	Procedimento de realização da rotina de manutenção	59
	APÊNDICE B – ROTINA DE INSPEÇÃO VISUAL PARA O MÓDULO FOTOVOLTAICO	61
B.1	Periodicidade de realização	61
B.2	Normas relacionadas	61
B.3	Ferramentas necessárias	61
B.4	Procedimento de realização da rotina de manutenção	61
B.5	Checklist	61
	APÊNDICE C – ROTINA DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA PARA O MÓDULO FOTOVOLTAICO	63
C.1	Periodicidade de realização	63
C.2	Normas relacionadas	63
C.3	Ferramentas necessárias	63
C.4	Procedimento de realização da rotina de manutenção	63

	APÊNDICE D – ROTINA DE LEVANTAMENTO DE CURVA I-V PARA O MÓDULO FOTOVOLTAICO	65
D.1	Periodicidade de realização	65
D.2	Normas relacionadas	65
D.3	Ferramentas necessárias	65
D.4	Procedimento de realização da rotina de manutenção	65

1 Introdução

A energia solar vem sendo a fonte de energia elétrica que tem apresentado o maior incremento percentual em capacidade instalada nos últimos anos. Isso se motiva nos diversos avanços tecnológicos em sistemas, preocupações com as mudanças climáticas, eficiência energética e sustentabilidade, segurança de suprimento e preços decrescentes verificados nos últimos anos (AGENCY, 2019). Os incentivos políticos e econômicos por diferentes economias mundiais têm sido expressivos para a busca por energias vindas de fontes renováveis, com o firme propósito de reduzir o uso de fontes de energia emissoras de gases de efeito estufa, tais como àquelas que utilizam carvão mineral, petróleo e seus derivados. Tais incentivos são traduzidos na capacidade instalada de usinas fotovoltaicas por países mostrados na Figura 1.

1		China	43,5 GW
2		Germany	39,7 GW
3		Japan	34,4 GW
4		USA	25,6 GW
5		Italy	18,9 GW
6		UK	8,8 GW
7		France	6,6 GW
8		Spain	5,4 GW
9		Australia	5,1 GW
10		India	5 GW

Figura 1 – Países com maior capacidade instalada de usinas fotovoltaicas.

(BRUNISHOLZ, 2016)

Do ponto de vista de sua integração, a inserção em massa de geração fotovoltaica, assim como eólica, introduz novos desafios no sistema elétrico interligado. A necessidade de garantir o equilíbrio geração-carga durante a operação de uma rede elétrica implica que o operador deve ter condições de lidar com as súbitas variações das fontes intermitentes. Logo, será necessário adaptar o sistema elétrico para acomodar esse tipo de geração. Essa modernização deve vir acompanhada de aprimoramentos na regulação, de modo que seja construído um ambiente favorável para a realização de investimentos na modernização das redes e em serviços ancilares (ENERGÉTICA, 2020).

A entrada em operação de usinas fotovoltaicas no Sistema Interligado Nacional (SIN) traz a dependência da geração de energia com a irradiância disponível no momento. Analisando esta geração durante um período de 10 anos, há baixíssima variabilidade interanual, ficando em torno de 5% da média. A sazonalidade da geração durante ano, depende da região onde está a usina, desta vez com maior variabilidade entre os meses

entre 75% e 120% da média anual. Dentro da operação diária, o tipo de tecnologia impacta a curva de geração da planta fotovoltaica: usinas com seguidor solar tracker possuem a curva de geração em forma de platô entre às 9 horas e 15 horas (ENERGÉTICA, 2020).

Segundo (MME, 2020), espera-se uma expansão significativa da fonte solar fotovoltaica por conta da perspectiva de evolução de sua competitividade no horizonte do Plano Nacional de Energia 2050. Na maior parte dos cenários simulados e, levando em conta apenas a geração centralizada, a fonte solar fotovoltaica atinge aproximadamente entre 27 a 90 GW de capacidade instalada e entre 8 a 26 GW médios em termos de energia em 2050, denotando sua crescente importância na matriz elétrica no horizonte.

Por outro lado, uma forte vertente de crescimento se concentra na instalação de sistemas de micro e minigeração fotovoltaica. Em 2012, a ANEEL deu um grande passo para ampliar a geração de energia solar fotovoltaica em unidades consumidoras ao editar a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012. Esta estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, criando o sistema de compensação de energia, no qual injeta-se a energia produzida na rede, sendo tal energia abatida do consumo da própria unidade ou de outra do mesmo titular. Consoante (ANEEL, 2015), têm-se:

- Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Apesar do significativo crescimento, o número de unidades com geração fotovoltaica distribuída ainda é pequeno, principalmente se verificar o potencial brasileiro de aproveitamento da fonte e a forma como a fonte solar é aproveitada em outras partes do mundo. O Brasil possui atualmente cerca de 77 milhões de unidades consumidoras de energia elétrica, apenas 0,01% das unidades consumidoras, ou uma a cada dez mil, possuem painéis fotovoltaicos instalados (DEPUTADOS, 2017).

Simultaneamente ao potencial de instalações de usinas a partir da tecnologia fotovoltaica, é imprescindível o desenvolvimento de estudos e práticas para manter o desempenho da sistema, em termos de produção de energia, e garantir que os equipamentos operam sob as condições de projeto. Ainda, segundo Estudo elaborado com 14.700 empre-

sas do setor fotovoltaico, as três ferramentas mais utilizadas neste tipo de empreendimento são: softwares de simulação dos projetos, ferramentas de orçamentação dos fornecedores e plataformas de financiamento. Dentre as ferramentas citadas pelas empresas, não há programas direcionados à gestão das ações de manutenção, a evidência da não utilização de ferramentas de manutenção caracteriza tal necessidade no setor.

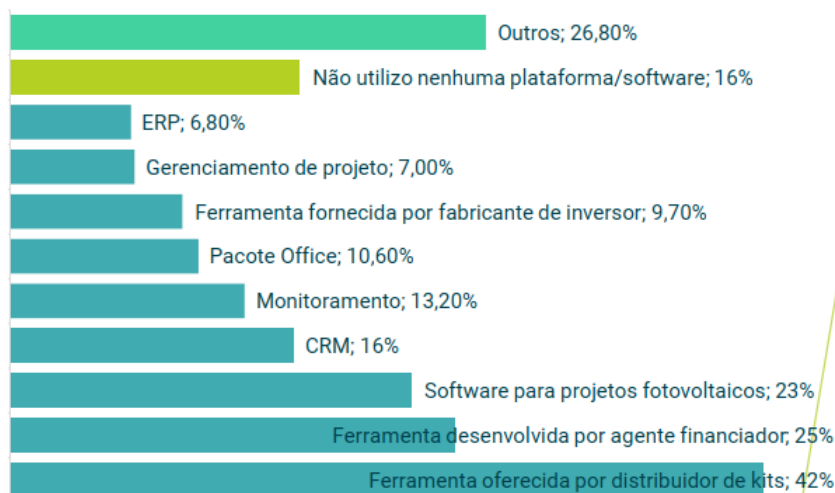


Figura 2 – Ferramentas mais utilizadas pelas empresas do setor fotovoltaico.

(GREENER, 2021)

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma ferramenta para subsidiar a aplicação manutenções preventivas em sistemas solares fotovoltaicos.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Compreender as técnicas de organização de manutenção em instalações elétricas;
- Estudar e sintetizar metodologias, procedimentos e testes voltados para a manutenção preventiva em componentes de sistemas solares fotovoltaicos;
- Identificar potencialidades de manutenção preditiva em sistemas solares fotovoltaicos;
- Sistematizar uma ferramenta para subsidiar a organização da manutenção preventiva e corretiva de sistemas fotovoltaicos;

1.2 Organização do Trabalho

O capítulo 2 consiste na fundamentação teórica, com destaque para apresentação das características básicas da norma de manutenção ABNT NBR 5674:1999 ([ABNT, 1994](#)) e os principais conceitos relacionados a sistema fotovoltaicos.

O capítulo 3 apresenta a metodologia para determinação das ações de manutenção e respectivas periodicidades de realização por equipamento.

O capítulo 4 fora apresentada uma planilha automatizada para gestão das ações de manutenção. Por meio da planilha, o usuário pode visualizar as manutenções por equipamento e acessar as rotinas com os procedimentos para realização das mesmas. Após a realização das manutenções, o usuário insere as informações da ação na Ficha Histórica as quais atualizam automaticamente os indicadores de manutenção MTBF, MTTF, MTTR e Disponibilidade.

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica pertinente ao trabalho.

2.1 Conceitos e definições de Manutenção

Um sistema de engenharia é criado para cumprir uma série de requisitos e objetivos, por meio da execução de ações de seus subsistemas e/ou componentes. Nesse contexto, o conjunto de atividades que se destinam a manter a operação e/ou reparar componentes, para que o sistema de engenharia possa continuar a desempenhar sua função se define como manutenção (KARDEC, 1998). Segundo (MURÇA, 2012), o setor de manutenção possui objetivos estratégicos dentro de um sistema, sendo eles: aumento das disponibilidades dos equipamentos, aumento do lucro da organização, aumento da segurança dos trabalhadores e das instalações, redução da procura dos serviços e redução de custos.

O conjunto de atividades de manutenção são executados para evitar ou identificar quando o subsistema/equipamento irá apresentar defeito ou falha durante seu ciclo de vida. Segundo (VIANA, 2006), alguns fatores devem ser levados em consideração para a definição da melhor estratégia de manutenção, são eles:

- Recomendações do fabricante: informações sobre ajustes, calibrações, periodicidade de manutenção, procedimentos para correção de falhas e reparos, etc.
- Segurança do trabalho e meio ambiente: observações de exigências legais e normas a fim de obter a integração perfeita entre homem/máquina/meio ambiente.
- Características do equipamento (falha e reparo): observar o tempo médio entre falhas, a vida útil mínima, o tempo médio de reparo, etc.
- Fator econômico: custos de manutenção com materiais, recursos humanos, interferência em outros ciclos produtivos e perdas no processo.

Observados estes itens, pode-se caracterizar três estratégias de básicas de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva.

2.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é realizada após a falha de um componente do sistema. Isto significa que, após um equipamento parar de desempenhar uma função pré-estabelecida, houve uma ação de manutenção que o colocou novamente em operação. Quando adotado

este tipo de manutenção, sabe-se que as ações de reparo acontecerão quando o equipamento chegar ao fim de sua vida útil e parar de funcionar definitivamente. A partir desta premissa, pode ser programada a troca por um equipamento idêntico em forma de reparo rápido. (KARDEC, 1998)

Por sua característica reativa, realizada apenas com o registro de ocorrências, este tipo de manutenção é emergencial, inesperada e possui maior custo historicamente. (VIANA, 2006). Pode-se caracterizar esta metodologia de manutenção em dois tipos:

- Manutenção corretiva planejada: Ao definir-se como estratégia a operação de um equipamento até a sua falha, pode-se adotar medidas para evitar maiores custos quando houver a parada do mesmo. Este tipo de estratégia pode ser escolhida quando há simplicidade na substituição do equipamento e maior prejuízo para a inatividade. (KARDEC, 1998). Esta estratégia de manutenção pode ser aplicada conjuntamente à manutenção preditiva, uma vez que há o acompanhamento de parâmetros interno ao equipamento e uma ação de manutenção é justificada pela condição atual.
- Manutenção corretiva não-planejada: Segundo (LOCH, 2007), se caracteriza como a correção da falha de maneira aleatória, isso quer dizer, pela atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado, sendo assim, não há tempo para preparação do serviço. Em geral, implica em maior custo.

2.1.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva está relacionada com a realização de atividades antes da falha do sistema, de forma a evitar a ocorrência de falhas nos equipamentos por meio da antecipação de intervenções. Em uma manutenção preventiva, define-se uma periodicidade para a execução das ações sobre o sistema ou componentes, sendo que o momento de realização da atividade preventiva é definido por meio das informações do fabricante do equipamento ou a partir dos dados de operação do sistema.

Nesse contexto, é importante a definição de uma "Ficha Histórica", a qual registra todas as intervenções realizadas sobre o equipamento e subsidia o ajuste dos intervalos de tempo para intervenção.

2.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é realizada a partir do acompanhamento, em tempo real, das partes e peças internas do equipamento por meio de sensores ou outros dispositivos. Pode ser acompanhado, por exemplo, o nível de ruído, vibração e temperatura das partes

internas, uma vez que a alteração dos valores informados pelos fabricantes destas variáveis já indica queda de eficiência ou operação indevida do equipamento (VIANA, 2006), indicando a necessidade de troca ou intervenção. Nesta metodologia, há um prolongamento da troca do equipamento para que seja realizada apenas no fim de sua vida útil, priorizando disponibilidade e redução de custos.

2.2 Métricas e Indicadores de manutenção

Os indicadores para medição da performance de equipamentos e, até mesmo, para mensuração das ações planejadas pelos responsáveis pela manutenção, auxiliam na apresentação da eficácia das estratégias de manutenção adotadas. A partir do registro de dados, estes indicadores traduzem para a organização a performance do mesmo, podendo ser comparados com as metas da organização. A recomendação da (??) é de que os indicadores criados tenham a finalidade de avaliar:

- a relação entre custo e tempo estimados e efetivamente gastos;
- taxa de sucesso das intervenções;
- a relação ao longo do tempo do custo x benefício gerado pelas intervenções.

Nesse sentido, esta seção apresenta indicadores tipicamente empregados em sistemas de manutenção.

2.2.1 Mean Time Between Failure - MTBF

O tempo médio entre falhas (MTBF) refere-se à quantidade média de tempo que um dispositivo ou produto funciona antes de falhar. Esta unidade de medida inclui apenas o tempo operacional entre falhas e não inclui os tempos de reparo, assumindo que, se houve falha, o item foi reparado e começou a funcionar novamente. Os valores de MTBF são frequentemente usados para projetar a probabilidade de uma única unidade falhar dentro de um certo período de tempo (OLIVEIRA, 2009). A forma de cálculo deste indicador é dada pela Equação 2.1.

$$MTBF = \frac{\text{TempodeOperação}}{\text{QuantidadedeParadas}} \quad (2.1)$$

2.2.2 Mean time to Failure - MTTF

O objetivo deste indicador é apurar o tempo até a falha de um equipamento. É utilizado quando a estratégia de manutenção do equipamento é operar até sua falha, ou seja, para aqueles equipamentos onde a manutenção corretiva é mais apropriada. O MTTF

é calculado aplicando a média de tempo que demora para desempenhar uma reparação após o episódio da falha (OLIVEIRA, 2009). A forma de cálculo deste indicador é dada pela Equação 2.2.

$$MTTF = \frac{\text{Tempo até Falha}}{\text{Quantidade de Falhas}} \quad (2.2)$$

2.2.3 Mean time to Repair - MTTR

Os equipamentos os quais podem ser reparáveis há medição do tempo médio necessário para repará-lo e retorná-lo ao estado normal de trabalho. Este indicador irá apurar o tempo de trabalho da equipe de manutenção desde o diagnóstico da falha, notificação da equipe em campo, execução dos procedimentos de reparo, calibração e testes para entrada em operação (OLIVEIRA, 2009). A forma de cálculo deste indicador é dada pela Equação 2.3.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo de Reparo}}{\text{Quantidade de Reparos}} \quad (2.3)$$

2.2.4 Disponibilidade

Segundo a norma (ABNT, 1994), disponibilidade é a “capacidade de um item de estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados”.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.4)$$

2.3 NBR ABNT 5674/1999 - Manutenção de Edificações

Tratando da manutenção de edificações, a (ABNT, 1999) objetiva estabelecer os procedimentos para orientação do sistema de manutenção. Alguns dos procedimentos e orientações apresentados na Norma podem ser aplicados para determinação da manutenção para Usinas Fotovoltaicas. Há aplicabilidade da norma para a elaboração dos seguintes procedimentos:

- Documentação técnica do sistema;
- Fichas históricas dos componentes;
- Gestão da qualidade do sistema de manutenção;

- Programação das ações de manutenção.

2.3.1 Documentação

O escopo de manutenção exige o gerenciamento de arquivos para economia de recursos na realização dos serviços de manutenção. Este gerenciamento dos documentos reduzem a incerteza no planejamento e execução dos serviços de manutenção e auxiliam na programação de serviços futuros.

Devem se manter guardados folha de dados dos equipamentos utilizados, recomendações dos fabricantes para operação e manutenção, projetos elétricos e plantas atualizadas, memoriais de cálculo e memoriais descritivos. Quando houver troca de equipamentos ou modificação das instalações e plantas elétricas os documentos necessitam de atualização.

2.3.2 Fichas históricas

Toda e qualquer ação de manutenção, seja de inspeção realizada ou de equipamento reparado deve ser documentada e registrada. Devem ser registrados propostas técnicas ou tomadas de preço, caso a mão de obra seja terceirizada, comprovantes de custo e tempo necessários para execução da ação dentre outras, conformidades e não-conformidades e classificação do tipo de ação executada (preventiva, corretiva ou preditiva).

O registro da ficha histórica das ações deve ser arquivado por equipamento, uma vez que cada um dos componentes do sistema deve estar identificados por codificação própria e assim pode ser encontrado historicamente todas as ações realizadas naquele equipamento.

2.3.3 Gestão da qualidade do sistema de manutenção

Ainda segundo a (ABNT, 1999), os registros históricos devem ser feitos para alimentação do sistema de gestão da qualidade dos serviços de manutenção. Por meio de fichas históricas, contendo as informações citadas, os gestores podem avaliar pontualmente cada intervenção.

De forma global, as intervenções registras nas fichas históricas são integradas a um sistema para apresentação dos indicadores MTBF, MTTF, MTTR e disponibilidade do processo produtivo.

2.3.4 Programação das ações de manutenção

No sentido de determinar a periodicidade das ações de manutenção, deve ser avaliada a disponibilidade financeira, escala de prioridade observando a inatividade do equi-

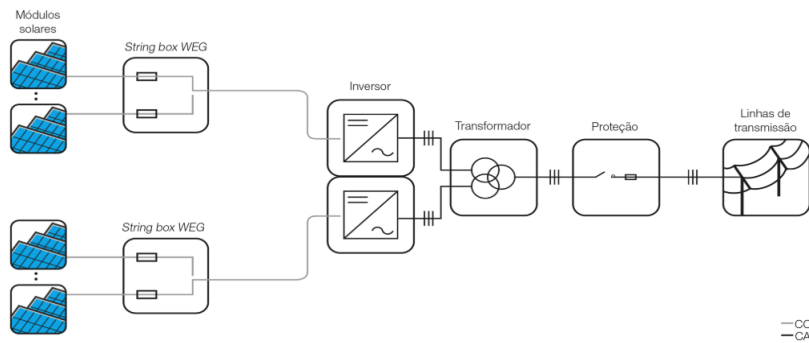


Figura 3 – Diagrama unifilar simplificado de uma Usina Solar Fotovoltaica (WEG, 2019).

pamento durante a falha, restrições climáticas e ambientais, durabilidade esperada dos componentes e experiência acumulada conforme as fichas históricas anteriores.

Ademais, os serviços devem ser programados a fim de reduzir ao máximo o seu impacto na operação e otimizar o aproveitamento de recursos humanos, financeiros e equipamentos.

2.4 Manutenções em Usinas Fotovoltaicas

A importância da manutenção para este tipo de processo produtivo está associada ao investimento realizado e a dependência entre a disponibilidade e receita gerada pelo sistema. A aplicação da gestão da manutenção para este tipo de sistema tem como principal objetivo, portanto, a minimização dos custos operacionais advindos da manutenção dos equipamentos e a maximização das receitas associadas ao desempenho energético.

Dependendo da aplicação do projeto, há utilização de diferentes tipologias de planta desde inversores centrais à inversores string, estrutura fixa em solo à estrutura com movimentação em um eixo. Para projetos de micro e minigeração fotovoltaica, no geral, os equipamentos utilizados nos projetos são os dispostos na Figura 3.

Em cada um dos conjuntos de equipamentos que compõem o sistema fotovoltaico, deve-se definir um tipo de estratégia de manutenção, fundamentada no princípio da confiabilidade. Pode ser adotada estratégia de aquisição de peças de reposição para realização de manutenção corretiva planejada, uma vez que o custo para aplicar ações de manutenções e as características intrínsecas variam de equipamento para equipamento. Ainda, em concordância com a vida útil de 25 anos prevista para a planta fotovoltaica, ações de manutenção preventiva como limpeza dos módulos fotovoltaicos, inspeções termográficas e ensaios de resistência de isolamento evitam a indisponibilidade do sistema e prolongam a vida útil do mesmo.

Esta seção evidencia as fontes de perdas de energia em um sistema fotovoltaico, as quais podem ser evitadas quando da realização de manutenções periódicas.

2.4.1 Perdas nos módulos fotovoltaicos

2.4.1.1 Perdas por mismatch

A incompatibilidade da corrente elétrica entre as células fotovoltaicas são umas das principais fontes de perda em sistemas fotovoltaicos (SAKO; SILVA, 2019). Essa incompatibilidade pode ser causada por:

- Sujidades;
- Sombreamentos;
- Defeitos de fábrica;
- Células danificadas;
- Diferenças de inclinação e orientação azimutal;
- Discrepâncias na distribuição de temperatura no módulo.

A Figura 4 expõe um termograma de um módulo fotovoltaico, nota-se a diferença na radiação emitida pelas células evidenciando a diferença de corrente elétrica entre estas. A diferença de corrente elétrica entre as células e entre os módulos fotovoltaicos é chamada de mismatch (SAKO; SILVA, 2019). Este fenômeno é verificado em um sistema fotovoltaico quando módulos, sob condições STC, produzem potências diferentes dos valores especificados pelos fabricantes.

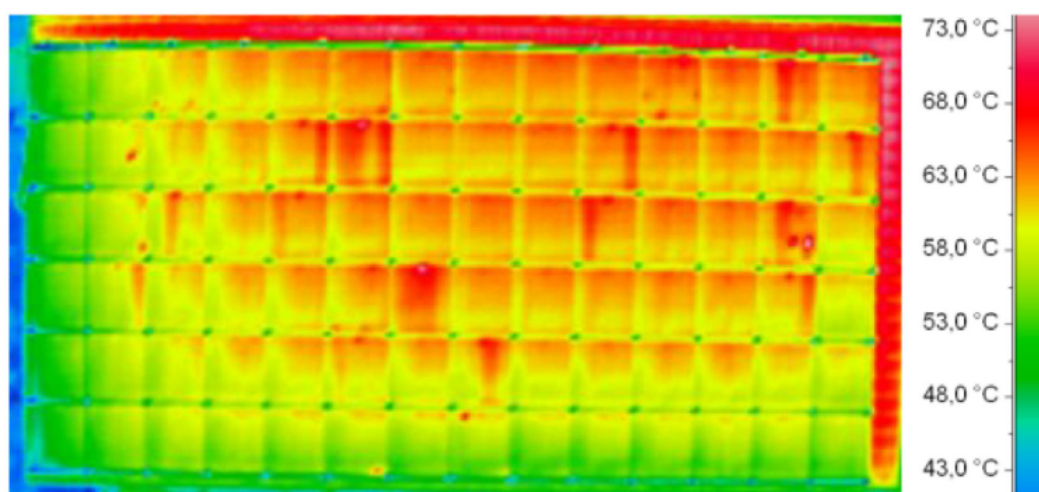


Figura 4 – Termograma de um módulo fotovoltaico com mismatch causado por sombreamento (ECORI ENERGIA SOLAR, 2019)

A Figura 5 mostra o impacto na curva I-V em um conjunto de módulos fotovoltaicos impactados por sombreamento de 50% em apenas 1 célula com diodo de bypass e sem diodo, segundo PINHO e GALDINO (2014).

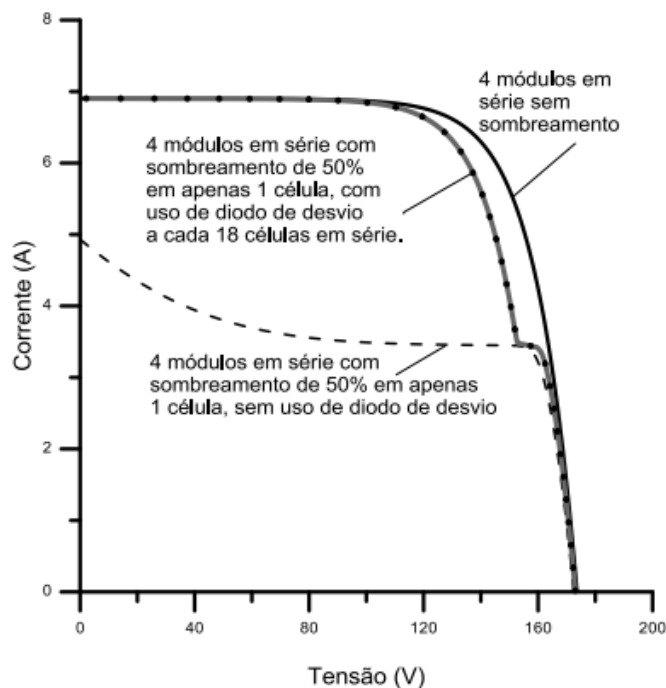


Figura 5 – Curva I-V de um sistema afetado por mismatch (PINHO; GALDINO, 2014).

A potência elétrica que não foi produzida pelos módulos afetados por mismatch é dissipada por calor nas células, chamados "pontos quentes" (em inglês "hotspot") e identificados em inspeções com câmeras termográficas como a mostrada na Figura 4. Além da perda de potência no módulo, o aumento de temperatura do módulo também aumenta os riscos de ruptura do vidro de proteção e aceleram a fusão dos polímeros e metais da estrutura do módulo. Segundo (E.SKOPLAKI; J.A.PALYVOS, 2009), a temperatura de operação da célula é dependente de variáveis como temperatura ambiente, velocidade do vento, irradiância global e de um coeficiente vinculado ao tipo de estrutura de instalação. O aumento da temperatura do módulo resulta em menor potência entregue pelo mesmo. Os efeitos do aumento de temperatura na potência de saída do módulo são apresentados pelos fabricantes nas folhas de dados dos módulos.

2.4.1.2 Sujidade depositada ou sombreamento na superfície dos módulos

A quantidade de fótons que incidem sobre um semicondutor provoca diferença de potencial elétrico neste material e portanto, o movimento de elétrons. Quando essa diferença de potencial elétrico atinge valor máximo há um desvio de uma parte da corrente elétrica pela junção P-N da célula restringindo a corrente fornecida (MOREIRA, 2019). A figura 6 representa o circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica, o desvio da corrente elétrica na junção P-N é chamada de corrente de escuro (I_D).

Quando há o sombreamento ou sujidade total em uma célula, não há diferença de

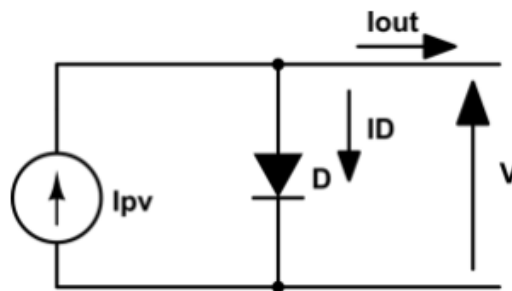


Figura 6 – Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica (MOREIRA, 2019)

potencial no semicondutor e por consequência não há fluxo de elétrons pelo efeito fotovoltaico. A corrente gerada pelas outras células, não comprometidas por sombreamento ou sujeiras, somente possuiria o caminho da junção P-N para escoar. Uma vez que a tensão na célula totalmente comprometida é nula, há indução no diodo de bypass para operação na região de polarização, permitindo que haja desvio da corrente ID e aumento da temperatura na célula (MOREIRA, 2019). O aumento da temperatura localizada é chamado de hotspot e pode ser identificado por um termograma ou levantamento da curva I-V.

Portanto, a função do diodo de by-pass em módulos fotovoltaicos é diminuir os impactos da corrente de escuro (ID) nas células não comprometidas por sombreamento ou sujeira. Cada fabricante opta pela quantidade de células, quantidades de diodos e suas respectivas tecnologias, na Figura 7 há uma ilustração de um módulo de 60 células conectados em 3 diodos de bypass na caixa de junção. O sombreamento ou sujeira de uma célula deste módulo bloqueia a corrente das células conectadas no mesmo diodo, diminuindo a corrente do módulo em apenas 1/3.

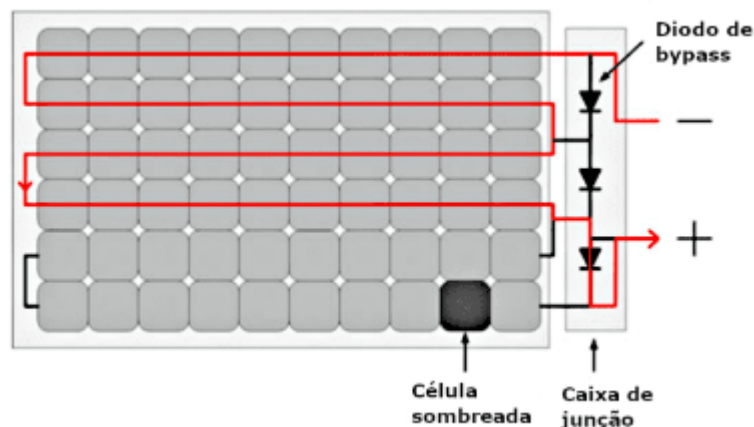


Figura 7 – Representação de um módulo fotovoltaico de 60 células e três diodos de bypass (PINHO; GALDINO, 2014)

Para impedir a redução de potência do módulo fotovoltaico por sujeira, deve-se ter um cronograma de inspeções visuais e, quando necessário, programação de limpeza

do sistema. Existem diversos estudos que abordam a relação entre o custo de mão de obra, equipamentos utilizados, volume de água gasto na limpeza e o benefício verificado na geração de energia pós-limpeza (REZENDE, 2018).

Um estudo realizado na Universidade de São Paulo (USP) (?????) observou o impacto na produtividade em geradores fotovoltaicos por efeito de sujeidade e degradação em módulos FV. Das 10 mesas da planta fotovoltaica, 8 são destinadas para o estudo de sujeidade e 2 para o estudo de degradação. Dessa forma cada uma das mesas pôde ser analisada de forma individual e comparadas com periodicidades de limpeza diversificadas. A periodicidade de limpeza das mesas varia de 1 a 18 meses e apontou as diferenças percentuais entre as gerações das mesas e uma mesa de referência, limpa mensalmente.

O período de análise dos dados engloba sete meses de operação da usina, com limpezas mensais na mesa n^o7, trimestrais na mesa n^o8 e semestrais na mesa n^o3; para os efeitos de comparação a mesa n^o5 foi referenciada como padrão sujo e a mesa n^o7 como padrão limpo. Os resultados obtidos mostraram perdas mensais médias de 0,6% chegando até 3,17% em seis meses. A mesa padrão sujo apresentou perda em energia em torno de 10,5%, conforme Figura 8.

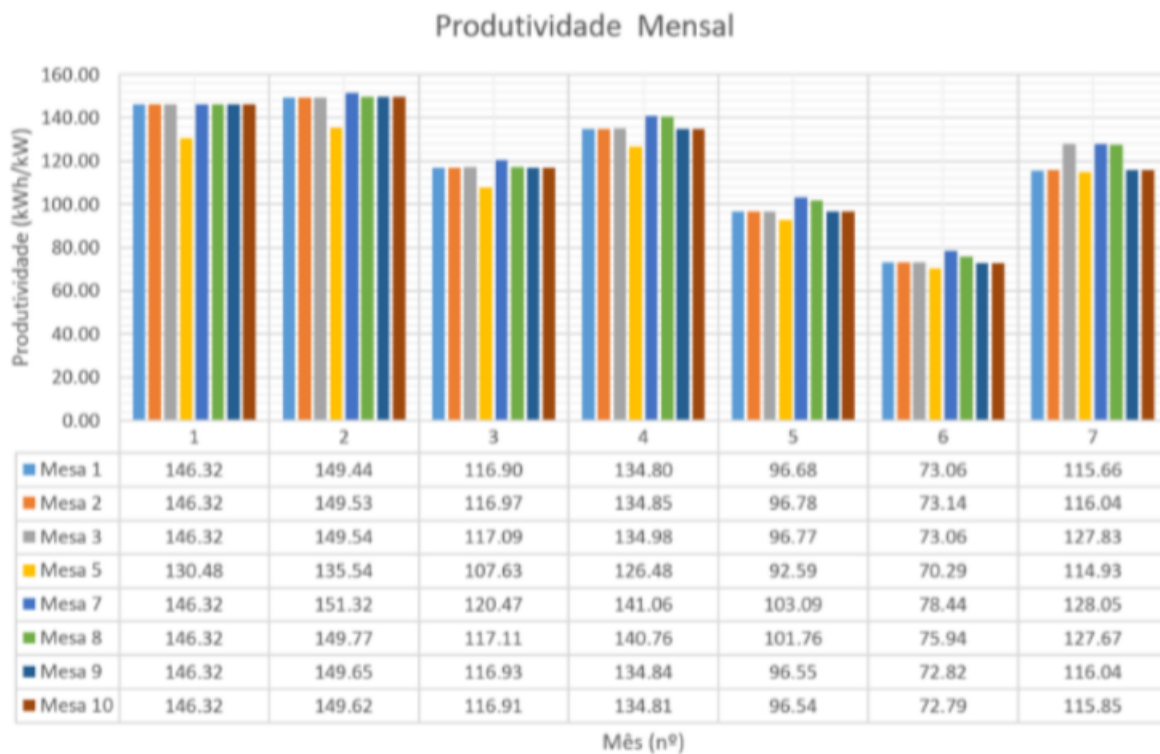


Figura 8 – Análise da produtividade mensal da planta por mesa (REZENDE, 2018).

2.4.2 Perdas no Inversor Fotovoltaico

2.4.2.1 Influência da temperatura no Inversor Fotovoltaico

Também chamado de derating, o aumento da temperatura interna do inversor fotovoltaico provoca redução na potência de saída entregue pelo sistema. Sabe-se que a temperatura do equipamento depende da potência de entrada do sistema fotovoltaico, que por sua vez depende da irradiação solar e temperatura dos módulos naquele instante. A operação do inversor com exposição ao Sol, local com altitude elevada (onde o ar atmosférico é menos denso e o coeficiente de transferência de energia por convecção é menor), próximo à outros equipamentos que emitem calor ou instalado incorretamente também provocam derating (MOREIRA, 2019). Quanto aos distanciamentos entre inversores fotovoltaicos, nos manuais de instalação cada fabricante informam os espaçamentos corretos como na Figura 9 para o inversor Huawei SUN2000-33KTL.

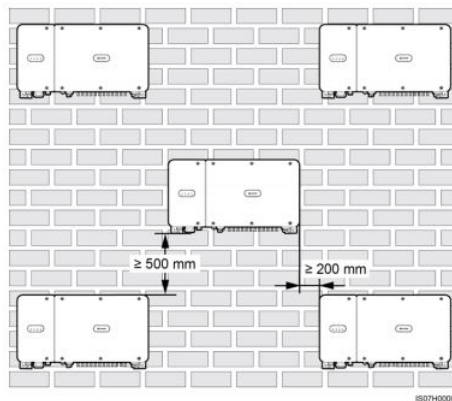


Figura 9 – Orientação quanto à instalação de inversores fotovoltaicos e seus respectivos distanciamentos (HUAWEI, 2020).

Logo, quanto maior for a temperatura interna do inversor, menor será a potência de saída. A a Figura 10 apresenta a potência de saída em comparação com a temperatura ambiente para os inversores Huawei SUN2000-33KTL. Uma vez que a temperatura máxima do equipamento é atingida, o equipamento diminui a potência de operação para preservação dos componentes internos, podendo até interromper a potência de saída para normalização deste parâmetro.

A operação do inversor fotovoltaico fora do regime operacional especificado pelo fabricante acelera as chances de falha dos seus respectivos componentes internos não apenas por degradação química como também por dilatação térmica. Para que a operação do inversor não seja afetada pela temperatura, os fabricantes devem optar por materiais internos com maior condutividade elétrica, menor quantidade de soldas, emendas, junções e utilização otimizada com aletas ou ventoinhas (PERIN, 2016).

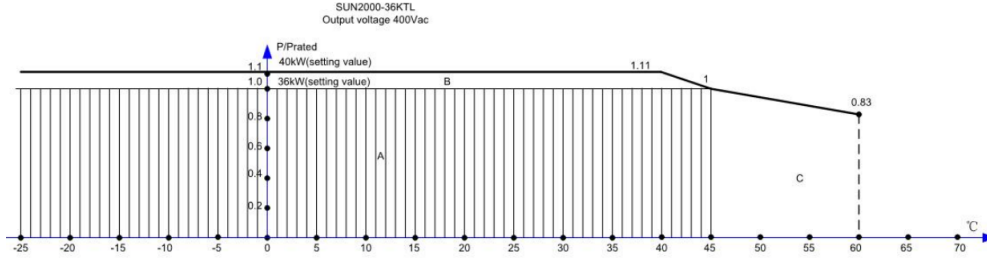


Figura 10 – Redução de potência do inversor fotovoltaico Huawei SUN2000-33KTL (HUAWEI, 2020)

2.4.2.2 Dissipador térmico com aletas

Uma das formas de se aumentar a transferência de calor de uma superfície é prolongando sua área de contato. O prolongamento da superfície, promove distribuição de temperatura durante todo o seu comprimento e, na extremidade, promove troca de energia com um fluido refrigerante por convecção. Portanto, o calor é transferido para a base das aletas por condução e através de efeitos de convecção o calor é transferido das aletas para o fluido em contato.

A escolha e aplicação deste tipo de tecnologia de dissipador em inversores fotovoltaicos esta baseada na grande quantidade de energia a dissipar do equipamento e baixa área de superfície disponível. No entanto, a taxa de transferência de calor da superfície aletada pode ser comprometida pelo acúmulo de sujeira na superfície das aletas. Por formar uma crosta na área de contato com o fluido refrigerante, a sujeira atrapalha o escoamento do fluido refrigerante entre as aletas e representa uma resistência adicional à troca de energia térmica. (PERIN, 2016)



Figura 11 – Inversor fotovoltaico de tipologia string com dissipador térmico com aletas (HUAWEI, 2020)

2.4.2.3 Dissipador térmico com ventilação forçada

Em circunstâncias normais, o coeficiente de transferência de calor por convecção forçada é maior do que o coeficiente de transferência de calor por convecção natural. Porém, fatores como a direção do escoamento em relação à superfície, classificação do escoamento e viscosidade do fluido refrigerante impactam na taxa de transferência de

calor e devem ser avaliados antes de optar por este tipo à dissipação por superfície aletada. Por este motivo, grandes fabricantes de inversores utilizam ventiladores como tecnologia principal de resfriamento (TODESCHINI, 2017).

No processo de escolha do modelo de inversor a ser utilizado na instalação, o projetista deve avaliar a exposição do equipamento à objetos sólidos e água nos locais de instalação e comparar com o grau de proteção informado pelo fabricante. Isso porque, a entrada do cooler expõe as partes internas do inversor à areia e umidade, que causam corrosão dos componentes elétricos e reduzem a vida útil do equipamento, conforme Figura 12.

Em caso de comprometimento parcial ou total da ventoinha, a capacidade de transferência de calor do equipamento será comprometida e haverá corte de potência por derating como já exposto.



Figura 12 – Sujidades na entrada do cooler do inversor fotovoltaico. (TODESCHINI, 2017)

3 Metodologia

3.1 Definição de escopo e estratégia

O escopo da estratégia de manutenção abordada neste trabalho de conclusão de curso se direciona para o uso de metodologia "preventiva" com enfoque em Usinas Fotovoltaicas de Minigeração. Considera-se uma USF instalada em estrutura de fixação em solo, sem componente de movimentação de eixo (tracker), integrada com inversores fotovoltaicos de tipologia string. Estes equipamentos serão conectados à um quadro geral de baixa tensão com os respectivos disjuntores e é direcionado para interligação com a rede de distribuição por meio de um transformador elevador, à óleo ou à seco. A conexão com a concessionária local é realizada com subestação convencional ou em cubículo blindado com as devidas proteções e medições da concessionária.

3.1.1 Equipamentos e tipos de manutenções necessárias

A minimização dos custos relativos às ações de manutenção é obtida através da identificação da melhor estratégia para cada componente da USF. Para equipamentos em que o custo da inatividade são equiparáveis ao valor de aquisição e custo de mão-de-obra para reparo, recomenda-se uma manutenção corretiva planejada. A Tabela 1 apresenta os componentes da USF e suas respectivas estratégias.

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

Tabela 1 – Equipamentos e tipos de manutenção recomendadas

Alguns comentários se fazem necessários:

- A depender da tecnologia dos inversores fotovoltaicos, alguns ensaios podem ser realizados pelo próprio equipamento e assim entender a condição de operação do conjunto fotovoltaico preditivamente, como levantamento de curva I-V por string.

Com maior prioridade dentro do processo de geração, é indicada manutenção preventiva nos módulos fotovoltaicos.

- Para os cabos elétricos de corrente contínua e conectores MC4 da USF, devido o volume de equipamentos utilizados na instalação e importância para a geração, a estratégia a ser adotada deve avaliar preventivamente o estado do isolamento das conexões.
- O plano de manutenção para estruturas de fixação em solo deve-se atentar para deteriorações, deformações e contaminações tanto nos elementos fixadores, como na fundação e estado do solo onde foram instaladas. O nível de complexidade dos ensaios e reparos levam à indicação de manutenção preventiva com preenchimento de ficha histórica e envio ao fabricante da estrutura.
- Baseado no custo dos equipamentos, observa-se a escolha da manutenção corretiva planejada para os componentes da Stringbox como: fusíveis e dispositivos de proteção contra-surto de corrente contínua. Já para a chave seccionadora principal de corrente contínua, equipamento de maior custo de aquisição e escala de prioridade, recomenda-se manutenção preventiva. Correlativamente, os dispositivos de proteção contra-surto do quadro geral de baixa tensão necessitam de manutenção corretiva não-planejada, todavia, para os disjuntores de corrente alternada dos inversores e conexões é indicada manutenção preventiva.
- Já para os inversores fotovoltaicos, estes devem ser monitorados constantemente por meio de plataforma disponibilizada pelo fabricante ou através de sistema supervisão desenvolvido personalizadas para a planta. É indicado agregar ações de manutenção preditiva e preventiva posto que há: possibilidade de monitoramento das tensões e correntes das strings, temperatura interna de operação do equipamento, eficiência de conversão; e necessidade de avaliação das conexões elétricas de entrada e saída do inversor por meio de inspeções e ensaios.
- O transformador pode ser monitorado em sistema supervisão durante operação. A importância da disponibilidade deste equipamento é elevada para a redução dos custos operacionais da USF e maximização de receita, desta forma, há recomendação utilização de ações preventivas. Da mesma forma, ações preventivas também são recomendadas para os equipamentos de proteção e medição da subestação.

3.1.2 Equipamentos e respectivas periodicidades necessárias

Observados os fatores citados na (ABNT, 1999), no que se refere à definição das periodicidades das manutenções, foram levantados os equipamentos e respectivas frequências das ações de manutenções necessárias. As Tabelas 2 a 3.1.2 apresentam as ações de

manutenção preventivas consideradas neste trabalho, com as respectivas periodicidades de execução.

Módulo Fotovoltaico	Periodicidade
Inspeção visual	Mensal
Limpeza	Semestral
Inspeção Termográfica	Semestral
Curva I-V	Anual

Tabela 2 – Periodicidades recomendadas para os módulos fotovoltaicos.

Cabos e conectores	Periodicidade
Inspeção visual	Mensal
Resistência de Isolamento BT e MT	Bienal

Tabela 3 – Periodicidades recomendadas para os cabos e conexões elétricas.

Stringbox	Periodicidade
Inspeção visual	Mensal
Inspeção termográfica	Semestral
Aperto de conectores	Anual

Tabela 4 – Periodicidades recomendadas para a stringbox.

Inversor fotovoltaico	Periodicidade
Inspeção visual	Mensal
Inspeção termográfica	Semestral

Tabela 5 – Periodicidades recomendadas para os inversores fotovoltaicos

3.2 Inspeções e Ensaios

3.2.1 Inspeção Visual

Como principal estratégia de manutenção, a inspeção visual é de maior simplicidade e menor custo operacional quando comparada às outras inspeções (PINHO; GALDINO, 2014). A realização desta inspeção deve seguir critérios mínimos para que seu objetivo seja cumprido dentro da estratégia previamente desenhada, alguns destes itens são:

- Conformidade da instalação com as Normas vigentes;

Quadro geral de baixa tensão	Periodicidade
Inspeção visual	Mensal
Inspeção termográfica	Semestral
Aperto de Conectores	Anual

Tabela 6 – Periodicidades recomendadas para o quadro geral de baixa tensão.

Transformador de potencial à óleo	Periodicidade
Inspeção visual	Mensal
Inspeção termográfica	Semestral
Análise cromatográfica do óleo	Anual
Aperto de conectores	Bienal
FP e capacitância das buchas	Bienal
Resistência de aterramentos da carcaça	Bienal

Tabela 7 – Periodicidades recomendadas para transformador à óleo.

Transformador de potencial à seco	Periodicidade
Inspeção visual	Mensal
Inspeção termográfica	Semestral
Limpeza dos canais de ventilação	Bienal
Aperto de conectores	Bienal
FP e capacitância das buchas	Bienal
Resistência de aterramentos dos terminais	Bienal

Tabela 8 – Periodicidades recomendadas para transformador à seco.

- Danos visuais que comprometam o pleno funcionamento com segurança.

As rotinas de inspeção visual devem ser caracterizadas por equipamento, dispo de documento preenchido com checklist indicando a conformidade e não-conformidade no momento da inspeção visual.

3.2.2 Inspeção Termográfica

A termografia é um ensaio de tipologia não destrutiva que é utilizado em diversas áreas como usinas siderúrgicas, área petroquímica, medicina e veterinária, construção civil e setor elétrico. Em situações de difícil acesso e/ou de alto risco, como refinarias de gás e óleo, a termografia oferece maior segurança à equipe de manutenção e uma manutenção preventiva mais precisa para verificação da normalidade do funcionamento de equipamentos (ARTUR; RENILSON; AL, 2016). Os termovisores são sensíveis à radiação infravermelha emitida pelos objetos, fornecendo imagens térmicas dos objetos sob inspeção, denominadas termogramas. Assim, por meio desses termovisores, umidade do

Subestação blindada ou convencional	Periodicidade
Inspeção visual	Mensal
Inspeção termográfica	Semestral
Aperto dos conectores e limpeza do barramento	Bienal
Resistência de aterramento (Seccionadora, TP, TC, DJ)	Bienal
Injeção de corrente no relé de proteção	Bienal

Tabela 9 – Periodicidades recomendadas para o cubículo de média tensão.

Estrutura de fixação	Periodicidade
Inspeção visual	Mensal
Conferência de torque e reaperto de parafusos	Anual

Tabela 10 – Periodicidades recomendadas para estruturas metálicas de fixação.

ambiente, emissividade dos objetos e auxílio de softwares específicos é possível estimar as temperaturas na superfície dos objetos inspecionados.

A aplicação de inspeção termográfica em sistemas elétricos é indicada pois os efeitos de fadiga mecânica, vibração dos próprios equipamentos e idade das conexões elétricas são identificados nos termogramas em pontos com elevada radiação eletromagnética, conforme exemplificado na 3.2.2.



Figura 13 – Termograma de um quadro geral (ARTUR; RENILSON; AL, 2016).

Termogramas são feitos com câmeras termográficas que, de acordo com as condições do ambiente de medição e aproximações pode-se determinar a distribuição da temperatura em um objeto. Para maximização do fluxo de trabalho e gestão do tempo, pode ser utilizado drones com estas câmeras (GETROTECH, 2017). Ao sobrevoar os módulos fotovoltaicos e identificada uma anomalia na distribuição de temperatura destes,

com uma câmera termográfica de mão deve ser realizada novamente o ensaio na parte frontal e traseira do módulo detectado.

3.2.3 Limpeza dos módulos fotovoltaicos

A limpeza periódica dos módulos fotovoltaicos deve ser programada para bom desempenho do sistema. São necessários cuidados durante a execução da ação para que não haja dano ao equipamento, como por exemplo, riscos no vidro encapsulante das células fotovoltaicas, comprometimento da camada hidrofóbica e delaminações.

Segundo (PINHO; GALDINO, 2014), a limpeza dos módulos deve ser feita com flanela limpa e água com baixa pressão, deve-se atentar para que partículas abrasivas que ficam presas na flanela não riscuem a superfície dos módulos. Em dias claros e com poucas nuvens, o procedimento deve ser realizado no início ou fim do dia, momentos estes onde a temperatura dos módulos é menor e o impacto da água fria utilizada não ocasione possíveis choques térmicos.

Para as sujidades mais abrasivas pode ser utilizado sabão ou detergente neutro em pequenas quantidades. Não escovar ou limpar o lado inferior do módulo para evitar estresse acidental em cabos ou caixa de junção.

3.2.4 Curva I-V

A curva $I \times V$, ou curva característica do módulo FV, possui três pontos notáveis; corrente de curto circuito (I_{sc}), ponto de máxima potência (MPP) e tensão de circuito aberto (V_{oc}). Para se levantar a curva característica são utilizadas cargas variáveis resistivas ou capacitivas de modo a se varrer todos os pontos da curva. Para realizá-la é necessário que o dispositivo FV a ser analisado esteja desconectado do sistema (GNO-ATTO et al., 2005).

É recomendado o uso de traçador capaz de medir o painel como um todo assim como as strings separadamente. Caso seja detectado problema na característica I-V de uma das strings, deve-se então, levantar a curva dos módulos desta string individualmente, no intuito de detectar o(s) módulo(s) defeituoso(s).

São necessários para realização do teste a utilização de traçador de curva, sinalização do local com cones e fitas zebreadas para restrição do acesso de pessoas não autorizadas e nível de irradiância superior a 800 W/m^2 .

3.2.5 Resistência de Isolamento

O teste de resistência de isolamento consiste em medir entre os condutores positivo e negativo das strings e a carcaça metálica dos módulos. São necessários para realização

do teste a utilização de megômetro e sinalização do local com cones e fitas zebreadas para restrição do acesso de pessoas não autorizadas. Ainda, o teste deve ser realizado em dias ou períodos de baixa irradiância para minimização do risco de choque elétrico e, por conseguinte, em dias úmidos.

3.2.6 Resistência de aterramento e equipotencialização

Deve-se atentar para o aterramento realizado nas instalações elétricas com a medição da continuidade em toda a extensão dos circuitos. Ou seja, dispondo de terrômetro, isolando a região com cones e fitas zebreadas e seguindo as orientações da Norma ABNT NBR 15749 pode-se conhecer a qualidade do aterramento realizado (ABNT, 2009).

3.2.7 Aperto de conectores e parafusos

As inspeções termográficas nos quadros elétricos e conexões podem expor pontos quentes nas conexões dos contatos elétricos. A partir desta, ou mesmo de inspeções visuais, pode-se sugerir a necessidade de reaperto dos conectores.

Ao realizar o procedimento, atenta-se para a desenergização do circuito o qual a conexão pertence, uma vez que a manobra do circuito energizado pode gerar arco elétrico entre os pólos e dano ao equipamento.

3.2.8 Análise cromatográfica de óleo do transformador

A cromatografia é um processo físico-químico de separação de misturas, mais especificamente, de sólidos em uma solução (mistura homogênea de duas ou mais substâncias). Esse processo fundamenta-se no fato das substâncias presentes na mistura terem diferentes propriedades e composições, assim, a interação delas com as duas fases imiscíveis (fase estacionária e fase móvel) será diferente também. Ou seja, a velocidade com que uma migra será maior e de outra, será menor. (REIS, 2018)

Comparando a evolução dos gases dissolvidos no Óleo isolante, através dos resultados obtidos pela Análise Cromatográfica e estabelecendo as relações de gases de acordo com critérios preestabelecidos, é possível identificar a falha incipiente que está se desenvolvendo, bem como a sua gravidade, antes que danos maiores possam ocorrer ao equipamento.

3.2.9 Limpeza dos canais de ventilação internos do transformador à seco

Os canais de ventilação do transformador, os quais facilitam a troca de energia térmica do equipamento com o ar ambiente, estão sujeitos ao depósito de pós metálicos, pó seco ou úmido, óleos em geral e grafite. Segundo o fabricante de transformadores deste

tipo Steel, em seu manual de operação e manutenção, recomenda alguns procedimentos de limpeza a depender do tipo de sujeira depositada.

Com auxílio de um aspirador de pó ou um espanador e pano seco, remover a poeira depositada no transformador. Em seguida, use ar comprimido para remover os resíduos de poeira e fazer a limpeza dos canais de ventilação das bobinas e entre a bobina e o núcleo. A injeção do ar nos canais de ventilação deve ser feita de baixo para cima. A pressão do ar deve estar limitada a aproximadamente 5atm. Para finalizar, use um pano seco e limpo para remover resíduos que ainda permanecem nas bobinas, principalmente em volta dos terminais e nos isoladores. Para os casos onde o acúmulo não for removido com o aspirador de pó, um pano umedecido com benzina pode ser aplicado na superfície ainda suja para remoção total. (REIS, 2018)

4 Resultados

Como parte resultante do Trabalho apresentado, está a elaboração de planilha automatizada para gestão das ações de manutenção. A gestão das ações de manutenção é realizada por meio da visualização da periodicidade dos ensaios nas abas "ENS" da planilha, execução dos ensaios/ações com base nas rotinas de manutenção de cada equipamento, registro do momento de realização das ações por meio das Fichas Históricas e cálculo dos indicadores de manutenção.

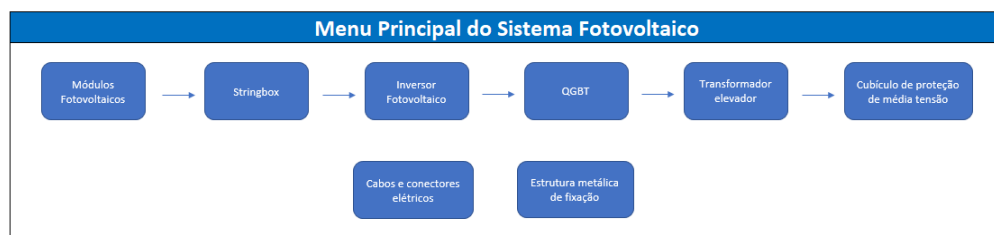


Figura 14 – Aba inicial com os equipamentos da Usina Solar Fotovoltaica.

A aba inicial da planilha mostra os principais equipamentos e possui botão automatizado conectando-a com as rotinas de manutenção preventiva de cada equipamento.

4.1 Rotinas de manutenção preventiva

As rotinas de manutenção são documentos com o objetivo de orientar a equipe de manutenção na execução das inspeções e ensaios de cada equipamento. Durante o uso da planilha no cotidiano, os botões da aba "ENS" indicam os ensaios e respectivas periodicidades de realização, ao clicar nestes botões o documento de realização da manutenção abre, dispondo de:

- Descrição do ensaios;
- Normas técnicas relacionadas;
- Ferramentas e equipamentos necessários;
- Procedimentos para realização;
- Checklist de verificação dos procedimentos.

Estes documentos foram elaborados com procedimentos generalizados com a intenção de atender de forma ampla a maior quantidade de equipamentos e tecnologias.

As recomendações de operação e manutenção dos fabricante dos equipamentos, instruções dos equipamentos para realização dos ensaios e as melhores práticas de Engenharia também devem ser observadas na execução das rotinas.

Em algumas rotinas de manutenção ou mesmo para situações de emergência, faz-se necessário a realização do procedimento de desenergização da planta fotovoltaica. Foi elaborado então documento para realização do desligamento e também de energização com o objetivo de auxiliar a equipe de manutenção. Na Figura 15, é apresentado a aba da planilha das rotinas de manutenção preventiva do módulo fotovoltaico e stringbox.

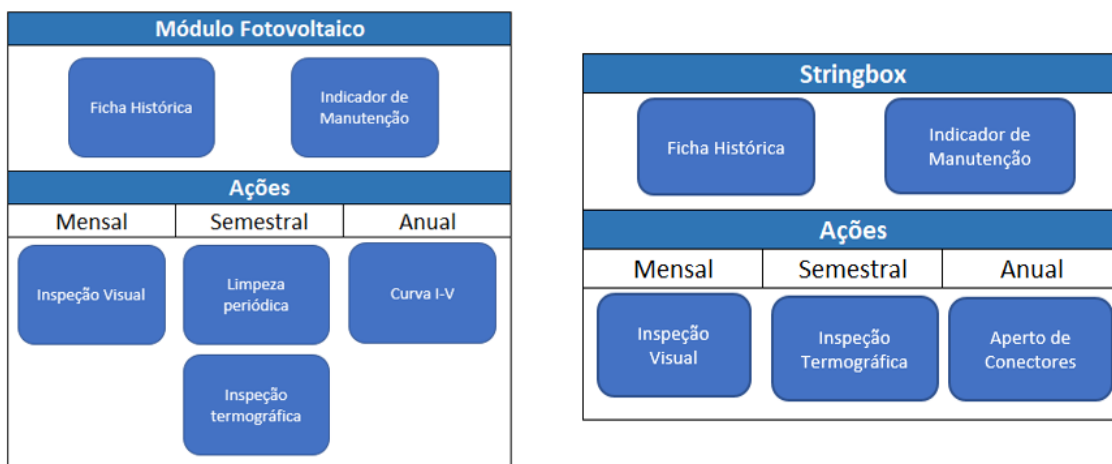


Figura 15 – Aba da planilha com os ensaios para os módulos fotovoltaicos e stringbox.

Na Figura 16, é apresentado a aba da planilha das rotinas de manutenção preventiva dos cabos e conectores, inversor fotovoltaico e Quadro Geral de Baixa Tensão - QGBT.

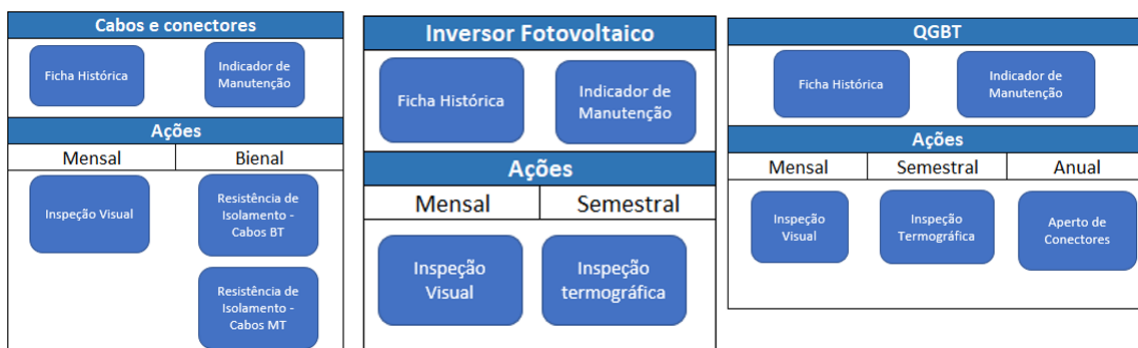


Figura 16 – Aba da planilha com os ensaios para os cabos e conectores, inversor e QGBT.

Na Figura 17, é apresentado a aba da planilha das rotinas de manutenção preventiva para transformadores à óleo e a seco, a depender da aplicação.

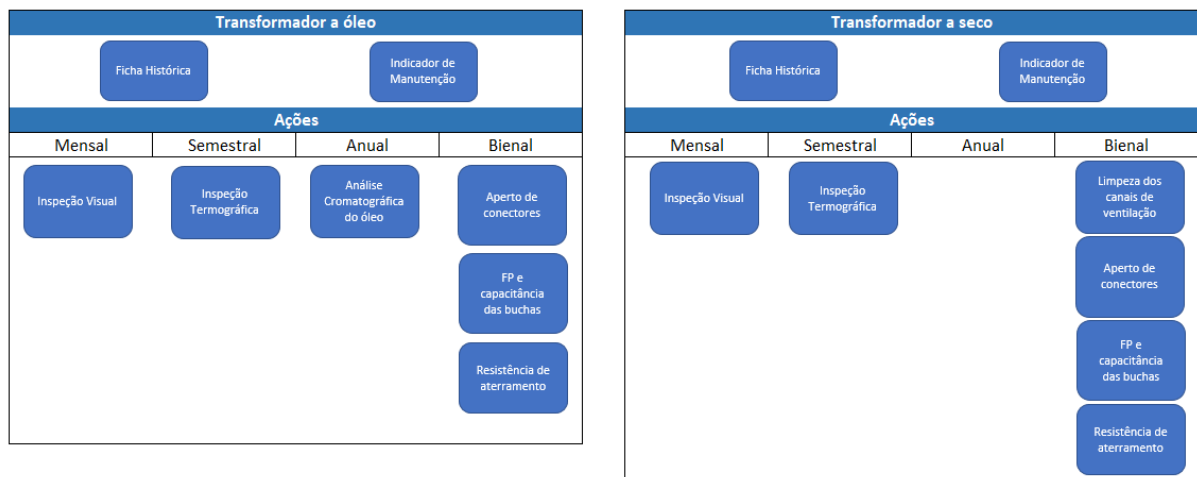


Figura 17 – Aba da planilha com os ensaios para os transformadores à óleo e a seco.

Na Figura 18, é apresentado a aba da planilha das rotinas de manutenção preventiva para o cubículo de proteção de média tensão e estrutura de fixação dos módulos fotovoltaico.

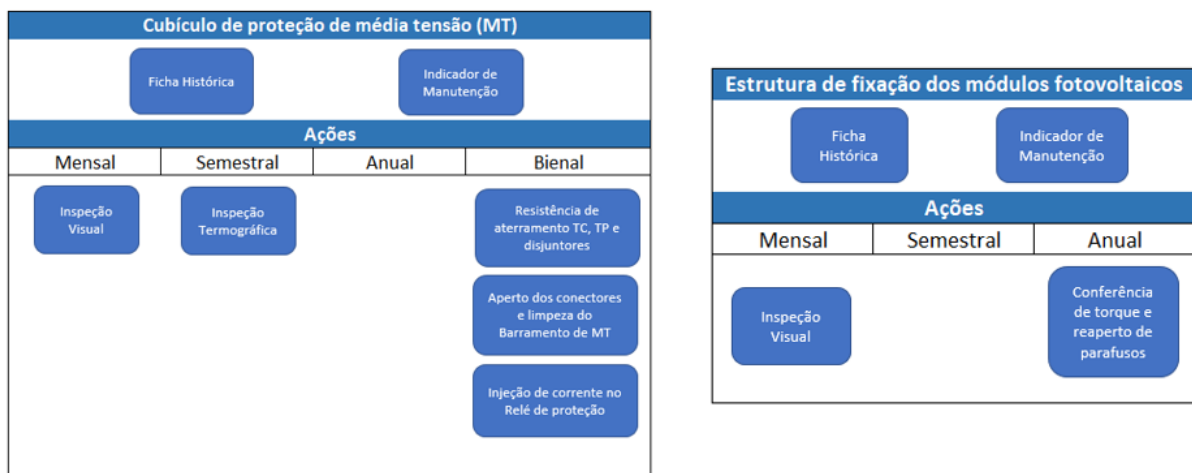


Figura 18 – Aba da planilha com os ensaios para o cubículo de proteção e estrutura.

4.2 Ficha Histórica

A planilha desenvolvida possui em uma das suas abas a Ficha Histórica por equipamento conforme a Figura 19. O responsável pela execução da ação preenche as seguintes informações ao final da ação de manutenção:

- Estado do equipamento: operação, pane ou falha;
- Tipo de manutenção realizada: preventiva, corretiva planejada, corretiva não-planejada e preditiva;

- Datas de início e finalização da ação;
- Técnico responsável pela ação;
- Conclusão da manutenção: aguardando peça de reposição, equipamento em plena operação.

FICHA HISTÓRICA						
DATA DA INSTALAÇÃO		CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO		EQUIPAMENTO	FABRICANTE	
28/10/2020		FV-01-01-01		Módulo Fotovoltaico	Canadian Solar	
ESTADO DO EQUIPAMENTO	TIPO DE MANUTENÇÃO	DATA DE INÍCIO	DATA DE FINALIZAÇÃO	TÉCNICO RESPONSÁVEL	CONCLUSÃO DA MANUTENÇÃO	DURAÇÃO DA AÇÃO
OPERAÇÃO	PREVENTIVA	23/11/2020 10:00	23/11/2020 10:30		OPERAÇÃO	0,50
PANE	CORRETIVA PLANEJADA	24/11/2020 10:00	25/11/2020 10:30		OPERAÇÃO	24,50
OPERAÇÃO	PREVENTIVA	25/11/2020 10:00	27/11/2020 10:30		EM REPARO	48,50
PANE	CORRETIVA PLANEJADA	26/11/2020 10:00	29/11/2020 10:30		OPERAÇÃO	72,50
OPERAÇÃO	PREVENTIVA	27/11/2020 10:00	01/12/2020 10:30		OPERAÇÃO	96,50
PANE	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	28/11/2020 10:00	03/12/2020 10:30		OPERAÇÃO	120,50

Figura 19 – Aba de exemplo da ficha histórica para módulo fotovoltaico.

4.3 Indicadores de Manutenção

Os indicadores de manutenção são calculados com base nas informações da ficha histórica por equipamento, desta forma, em aba própria e expostos na Figura 20, os indicadores são mostrados por equipamento:

- Tempo médio entre falhas;
- Tempo médio de reparo (MTTR);
- Tempo médio entre falhas (MTTF);
- Disponibilidade.

	MTBF em horas	MTRR em horas	MTTF em horas	Disponibilidade
Módulos Fotovoltaicos	183	73	Não aplicável	
Cabos e conectores	671	97	Não aplicável	
Stringbox	335	49		
Inversores Fotovoltaicos	647	121	Não aplicável	
Quadro Geral de Baixa Tensão	767	1		
Transformador	745	23	Não aplicável	
Cabine de Média Tensão	183	73	Não aplicável	
Estrutura de Fixação	768	0	Não aplicável	

Figura 20 – Indicadores de Manutenção calculados pela planilha.

5 Considerações Finais

Este trabalho apresentou estratégias de manutenção em usinas fotovoltaicas de minigeração baseada na união das normas vigentes, recomendações dos fabricantes dos equipamentos e literaturas. Tais estratégias orientam os proprietários dos empreendimentos para obtenção de maior disponibilidade do conjunto fotovoltaico aliada à minimização dos custos de operação e manutenção do mesmo.

A determinação das periodicidades das manutenções contempla o impacto de panes e falhas nos equipamentos dentro do processo de geração da USF, ainda, traz como aspecto relevante a possibilidade de armazenamento de materiais de baixo custo de aquisição para troca imediata e, para os itens onde não há essa possibilidade, ações de manutenção preventiva. O avanço tecnológico dos equipamentos e disponibilização de sistema supervisão na planta propicia também ações de manutenção preditiva, cabe ao responsável pela manutenção da USF avaliar se os parâmetros monitorados permitem aplicar esse tipo de estratégia.

Os ensaios e inspeções da estratégia desenvolvida já são utilizados para comissionamento das plantas fotovoltaicas e amplamente conhecidos pelos agentes do setor elétrico para manutenção de sistemas de potência, como por exemplo linhas de transmissão, subestações e centrais de geração. É comum em órgãos públicos e indústrias a existência de uma equipe específica para realização das manutenções dos equipamentos, muitas vezes trabalhando com procedimentos gerais para todas as instalações. A sistematização das rotinas de manutenção e principais ensaios orientam estas equipes à manter a planta fotovoltaica em sua plena operação.

A aplicação da planilha automatizada irá auxiliar na gestão destas manutenções com as rotinas de manutenção, registro por meio da ficha histórica e cálculo dos indicadores de confiabilidade. As rotinas de manutenção foram elaboradas como procedimentos generalizados com a intenção de atender de forma ampla a maior quantidade de equipamentos e tecnologias. Recomenda-se a avaliação da aplicabilidade das rotinas, uma vez que o objetivo deste trabalho foi apresentar qual o ensaio deve ser feito e em qual periodicidade. De forma equivalente, também há o cálculo pela planilha dos indicadores para medição do tempo de reparo, tempo entre falhas dos equipamentos e disponibilidade. O cálculo destes indicadores com base na ficha histórica de cada equipamento e utilização da planilha permite a visualização do proprietário da eficácia das manutenções e confiabilidade do ativo em si.

Como ponto de melhoria do trabalho desenvolvido, esta a inclusão de funcionalidades importantes na gestão de equipes como a emissão automática de Ordem de Serviço

para início das atividades em campo, estruturação de relatório fotográfico conjuntamente à Ordem de Serviço e, principalmente, integração do sistema de monitoramento da USF para alarmes dos inversores e demais equipamentos. O uso da planilha no cotidiano da equipe de manutenção irá transparecer outros pontos de melhoria e de mudanças em sua estrutura principal.

Referências

- AGENCY, I. R. E. *Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://www.irena.org/DigitalArticles/2019/Apr/-/media/652AE07BBAAC407ABD1D45F6BBA8494B.ashx>>. Citado na página 19.
- ANEEL. *Resolução Normativa nº687/2015*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Citado na página 20.
- ARTUR, G. d. S. C.; RENILSON, S. R.; AL et. Análise da aplicação da inspeção termográfica preditiva nos sistemas elétricos industriais. *ResearchGate*, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 11, 40 e 41.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade*. Rio de Janeiro, 1994. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 26.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5674: Manutenção de edificações*. Rio de Janeiro, 1999. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27 e 38.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15749: Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento*. Rio de Janeiro, 2009. Citado na página 43.
- BRUNISHOLZ, I. P. M. Snapshot of global photovoltaic markets. 2016. Disponível em: <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf>. Citado na página 19.
- DEPUTADOS, C. dos. *ENERGIA SOLAR NO BRASIL: SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://cutt.ly/7hPcu83>>. Citado na página 20.
- ECORI ENERGIA SOLAR. *Módulos Fotovoltaicos - Perdas por Mismatch em Sistemas Fotovoltaicos*. 2019. Disponível em: <<https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/modulos-fotovoltaicos---perdas-por-mismatch-em-sistemas-fotovoltaicos>>. Acesso em: 28 Jan. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 29.
- ENERGÉTICA, E. de P. Variabilidade da produção fotovoltaica em usinas centralizadas. In: . [s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-en/sala-de-imprensa/noticias/PublishingImages/Paginas/Forms/AllItems/Fact_sheet_FV.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- E.SKOPLAKI; J.A.PALYVOS. Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. 2009. Citado na página 30.
- GETROTECH. *Termografia*. 2017. Disponível em: <<https://www.getrotech.com.br/loja/Artigos/termografia-/>>. Acesso em: 13 Out. 2020. Citado na página 41.
- GNOATTO, E. et al. Determinação da curva característica de um painel fotovoltaico em condições reais de trabalho. 2005. Citado na página 42.

- GREENER. Estudo estratégico gd 2020. In: . [s.n.], 2021. Disponível em: <<https://www.greener.com.br>>. Citado na página 21.
- HUAWEI. *Guia de instalação Huawei SUN2000-33kTL*. 2020. Disponível em: <<https://cutt.ly/AhFyPEc>>. Acesso em: 13 Out. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 11, 33 e 34.
- KARDEC, J. N. A. Manutenção: Função estratégica. In: . [S.l.]: Quality Mark, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- LOCH, C. A. *Estudo da Gestão da Manutenção em uma Empresa do segmento Logístico*. Dissertação (Mestrado), Universidade do Estado de Santa Catarina, 2007. Citado na página 24.
- MME. *Plano Nacional de Energia - 2050*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Citado na página 20.
- MOREIRA, A. V. S. *Desempenho do Método Perturba e Observa com passo adaptativo e agrupamento de pontos em módulo fotovoltaico com diodo de passagem inteligente perante o sombreamento parcial*. Dissertação (Mestrado) — Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2019. Acesso em: 11 Set. 2020. Citado 4 vezes nas páginas 11, 30, 31 e 33.
- MURÇA, V. A. de A. *Aplicação da Filosofia Lean na área da Manutenção*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012. Citado na página 23.
- OLIVEIRA, F. P. de. *Estratégia de manutenção: estrutura, ferramentas, benefícios, custos e melhoria contínua*. Dissertação (Mestrado), 2009. Disponível em: <www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/v6n1a3.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- PERIN, A. L. *Análise da influência de diferentes estratégias de arrefecimento no desempenho e durabilidade de inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, 2014. Citado 6 vezes nas páginas 11, 29, 30, 31, 39 e 42.
- REIS, J. M. dos. *Gestão estratégica de manutenção aplicada a sistemas elétricos de potência*. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 44.
- REZENDE, V. G. S. de. *Análise das perdas de produtividade em geradores fotovoltaicos por efeito de sujidade*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, Santa Catarina, Brasil, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 32.
- SAKO, E. Y.; SILVA, J. L. de S. Concepts and case study of mismatch losses in photovoltaic modules. *IEEE*, 2019. Acesso em: 15 Set. 2020. Citado na página 29.
- TODESCHINI, G. Control and derating of a pv inverter for harmonic compensation in a smart distribution system. *2017 IEEE Power Energy Society General Meeting*, Chicago, USA, 2017. Acesso em: 13 Set. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 35.

VIANA, H. R. G. *Planejamento e Controle da Manutenção*. Dissertação (Mestrado), Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 25.

WEG. Soluções em energia solar. In: . [s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.weg.net/solar>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 28.

Apêndices

APÊNDICE A – Rotina de Limpeza Periódica para o Módulo Fotovoltaico

Este documento trata de como deve ser realizada a limpeza dos módulos fotovoltaicos de uma Usina Solar Fotovoltaica.

A.1 Periodicidade de realização

Esta limpeza deve ser realizada a cada 6 (seis) meses, em momentos de temperatura ambiente baixa.

A.2 Normas relacionadas

Norma Regulamentadora 6.

Norma Regulamentadora 10.

A.3 Ferramentas necessárias

Vassoura com flanela limpa.

Equipamentos de proteção individual – EPI.

A.4 Procedimento de realização da rotina de manutenção

Esta ação de manutenção deve ser realizada em dias nublados ou em momentos onde a temperatura ambiente é baixa, priorizando início e fim do dia. Encharcar a flanela com água comum, colocar na superfície superior do módulo e remover a sujeira superficial.

Em casos de sujeiras que não forem removidas pelo procedimento anterior, utilizar detergente líquido neutro somente no módulo o qual a sujeira persistir.

APÊNDICE B – Rotina de Inspeção Visual para o Módulo Fotovoltaico

Este documento trata de como deve ser a realizada a inspeção visual nos módulos fotovoltaicos de uma Usina Solar Fotovoltaica.

B.1 Periodicidade de realização

Esta inspeção deve ser realizada mensalmente no período diurno.

B.2 Normas relacionadas

Norma Regulamentadora 6.

Norma Regulamentadora 10.

B.3 Ferramentas necessárias

Equipamentos de proteção individual – EPI.

B.4 Procedimento de realização da rotina de manutenção

Este procedimento deve ser realizado por profissional para observar danos visuais que comprometam o pleno funcionamento em segurança do equipamento. Observando se o módulo fotovoltaico possui descoloração, trincas e delaminações nas células fotovoltaicas.

B.5 Checklist

Item	Conforme	Não Conforme	N.A
Estado da caixa de junção			
Encaixe dos conectores MC4			
Presença de roedores/animais ou cobertura vegetal			
Nível de poeira na superfície frontal do módulo			

Tabela 11 – Checklist após realização da inspeção visual no módulo fotovoltaico.

APÊNDICE C – Rotina de Inspeção Termográfica para o Módulo Fotovoltaico

Este documento trata de como deve ser realizada a inspeção termográfica nos módulos fotovoltaicos de uma Usina Solar Fotovoltaica.

C.1 Periodicidade de realização

Esta inspeção deve ser realizada a cada 6 (seis) meses em dias de irradiância superior a $800\text{W}/\text{m}^2$.

C.2 Normas relacionadas

ABNT NBR 15572:2013.

Norma Regulamentadora 6.

Norma Regulamentadora 10.

C.3 Ferramentas necessárias

Drone(item opcional).

Câmera termográfica de mão.

Equipamentos de proteção individual – EPI.

C.4 Procedimento de realização da rotina de manutenção

Esta ação de manutenção deve ser realizada em dias de alta irradiância, preferencialmente com poucas nuvens, priorizando o meio dia. A Usina Solar Fotovoltaica deve estar em plena operação para realização do ensaio.

Deve ser realizada primeiramente termografia aérea com utilização de drone equipado com câmera termográfica. Ao sobrevoar os módulos fotovoltaicos e identificada uma anomalia na distribuição de temperatura destes, com uma câmera termográfica de mão deve ser realizada novamente o ensaio na parte frontal e traseira do módulo detectado.

Caso não opte-se por realizar o procedimento sem drone, cada módulo deve ser avaliado com câmera termográfica de mão.

APÊNDICE D – Rotina de levantamento de Curva I-V para o Módulo Fotovoltaico

Este documento trata de como deve ser obtida a curva I-V dos módulos fotovoltaicos de uma Usina Solar Fotovoltaica.

D.1 Periodicidade de realização

Este procedimento deve ser realizado a cada 12 (doze) meses, em dias de irradiância superior a $800\text{W}/\text{m}^2$.

D.2 Normas relacionadas

Norma Regulamentadora 6.

Norma Regulamentadora 10.

D.3 Ferramentas necessárias

Traçador de Curva I-V.

Jogo de ferramentas em geral.

Equipamentos de proteção individual – EPI.

D.4 Procedimento de realização da rotina de manutenção

Esta ação de manutenção deve ser realizada em dias de alta irradiância, preferencialmente com poucas nuvens, priorizando o meio dia. Deve-se realizar o desligamento do Inversor Fotovoltaico para a realização do teste, em seguida desconecta-se a string a qual o teste será realizado e conecta-se os cabos no Traçador de Curva I-V.

Caso haja a necessidade, o mesmo procedimento pode ser feito a nível do módulo fotovoltaico, retirando os elementos conectores dos módulos e conectando no Traçador de Curva I-V.

Após a conclusão do teste os elementos devem ser reconectados e o inversor fotovoltaico em operação novamente.