UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

LEONARDO DE CASTRO FERREIRA

ELABORAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM USINA DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

VITÓRIA
2019

LEONARDO DE CASTRO FERREIRA

ELABORAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM USINA DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Leonardo de Castro Ferreira**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Eng. José Luiz Borba

VITÓRIA
2019

LEONARDO DE CASTRO FERREIRA

ELABORAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM USINA DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Leonardo de Castro Ferreira**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 17 de dezembro de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Eng. José Luiz Borba
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Paulo José Mello Menegáz
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Prof. Esp. Herbert Barbosa Carneiro
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

À minha querida mãe, Izabel.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e a vocação para a ciência.

Agradeço ao Professor Eng. José Luiz Borba que aceitou prontamente o desafio de me orientar neste trabalho.

Agradeço à empresa ESSolar que disponibilizou os dados do Parque Solar *Sun Invest* e se mostrou disponível para elaboração deste projeto.

Agradeço à minha família que sempre me apoiou nos estudos. À minha mãe, Izabel, minha primeira professora, que desde criança me ensinou a importância do estudo. À minha irmã, Marcelly, que sempre se dedicou a me apoiar, sacrificando-se muitas vezes para que eu pudesse me dedicar ao curso de engenharia. Meu tio Sérgio, que com muita paciência durante esses longos anos de formação acadêmica teve a difícil missão de me acordar pela manhã. Minha tia Maria José, que com muito carinho sempre foi solidária com minhas tarefas diárias. Aos meus padrinhos Penha e Gaudêncio, que desde criança sempre zelaram por meu material escolar. Às minhas sobrinhas Beatriz e Isabela, por me receberem todos os dias com um sorriso no rosto. Também agradeço a meu pai José Carlos pelo apoio financeiro durante a graduação.

Agradeço ainda à minha namorada Letícia por todo companheirismo, compreensão e apoio ao longo dessa jornada.

Por fim, agradeço aos amigos que fiz na Universidade ao longo da graduação.

A todos, meu sincero obrigado.

RESUMO

A matriz energética brasileira apresenta diversas formas de geração de energia, sendo que a geração compartilhada de energia através de fazendas ou parques solares através de cooperativas e consórcios tem-se mostrado como uma alternativa interessante para aqueles que não possuem condições para instalação de um sistema fotovoltaico local. Dessa maneira, esse novo tipo de negócio apresenta peculiaridades com relação à operação dessas usinas. Neste trabalho é proposto um plano de manutenção que contemple a definição de quais, quando e como devem ser realizadas intervenções preventivas nos principais equipamentos de uma usina dessa modalidade, em funcionamento no Espírito Santo. Na literatura são encontradas diversas ferramentas para utilização em processos de gestão de manutenção. Para a estruturação do plano de manutenção são utilizados trabalhos anteriores como referências e ao longo de sua construção são abordados temas relativos à gestão da manutenção, em específico, a análise FMEA e definição de criticidade a partir da curva ABC.

Palavras-chave: Geração compartilhada. Manutenção de sistemas fotovoltaicos. Plano de manutenção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do Parque Solar *Sun Invest* 16
Figura 2 – Vista aérea da instalação do Parque Solar *Sun Invest* 17
Figura 3 – Diagrama de blocos do processo de geração de energia do Parque Solar *Sun Invest* 18
Figura 4 – Irradiância solar - célula de referência suja (*Gdc*) e limpa (*Gcc*) 23
Figura 5 – Fluxograma de elaboração de Plano de Manutenção 26
Figura 6 – Fluxograma para decisão de criticidade 31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade anual de usinas de geração compartilhada conectadas no Brasil 14

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Listagem de equipamentos do Parque Solar *Sun Invest* 27
Quadro 2 – Critério para avaliação de criticidade de cada equipamento 30
Quadro 3 – Definição do tipo de manutenção a partir da criticidade 32
Quadro 4 – Critério de análise de ocorrência da falha..... 34
Quadro 5 – Critério de análise para detecção da causa da falha..... 35
Quadro 6 – Critério para severidade dos efeitos de falha 35
Quadro 7 – Modelo de planilha para FMEA 36
Quadro 8 – Periodicidade sugerida de manutenção a partir do cálculo do RPN..... 36
Quadro 9 – Análise FMEA com indicação de periodicidade e procedimentos de manutenção 44
Quadro 10 – Cronograma de manutenção anual do Parque Solar *Sun Invest* 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Falhas típicas nos sistemas do programa 1.000 Telhados 19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EDP	Energias de Portugal
ES	Espírito Santo
FMEA	Análise do Modo de Falha e Seus Efeitos
kWp	Quilowatt pico
MT	Média Tensão
MTFB	Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	Tempo Médio de Reparo
MW	Megawatt
MWp	Megawatt pico
O&M	Operação e Manutenção
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
REN	Resolução Normativa
RPN	Número de Prioridade de Risco
SFV	Sistema Solar Fotovoltaico
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **13**
2 O PARQUE SOLAR *SUN INVEST* **16**
2.1 Apresentação **16**
2.2 Caracterização da usina **17**
2.3 Setorização da usina **17**
2.4 Principais falhas em sistemas fotovoltaicos **19**
3 MANUTENÇÃO **20**
3.1 Tipos de manutenção **20**
3.1.1 Manutenção corretiva 20
3.1.2 Manutenção preventiva 20
3.1.3 Manutenção preditiva 21
3.2 Boas práticas de manutenção em cabines de média tensão **21**
3.3 Boas práticas de manutenção em sistemas fotovoltaicos **22**
3.3.1 Uma breve abordagem acerca da limpeza de painéis fotovoltaicos 23
3.3.2 Manutenção aplicada ao Parque Solar *Sun invest* 24
4 PLANO DE MANUTENÇÃO **25**
4.1 Estrutura do plano de manutenção **25**
4.2 Levantamento dos equipamentos **27**
4.3 Classificação quanto a criticidade **28**
4.3.1 Classificação ABC para definição de criticidade dos equipamentos 29
4.3.2 Critérios para avaliação da criticidade 29
4.4 Periodicidade da manutenção **33**
4.4.1 Análise do modo de Falha e seus Efeitos (FMEA) 33
4.4.2 FMEA aplicado ao Parque Solar *Sun Invest* 33
4.5 Cronograma de manutenção **37**
4.6 Acompanhamento do plano de manutenção **37**
4.7 Controle da manutenção **38**
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS **39**
5.1 Conclusões **39**
5.2 Trabalhos futuros **40**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **41**

APÊNDICE A – ANÁLISE FMEA COM DEFINIÇÃO DE PERIODICIDADE E PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO 44
APÊNDICE B – CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO 48

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia do Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano. Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras formas de energia na Terra. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol (PINHO; GALDINO, 2014).

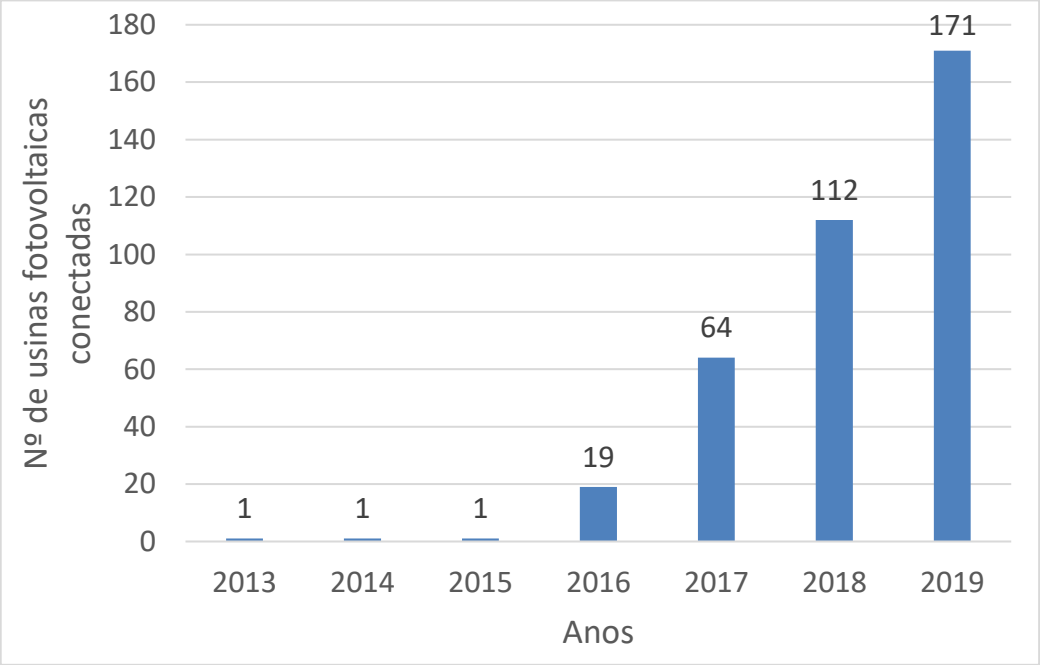
Pinho e Galdino (2014) definem a energia solar fotovoltaica como sendo a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão.

Desde 2012, qualquer pessoa no Brasil pode gerar a própria eletricidade a partir de fontes renováveis e reduzir a conta de energia, ao participar do sistema de compensação de energia. Essa possibilidade se deu por meio da Resolução Normativa (REN) n° 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual estabeleceu regras para a micro e mini geração distribuída de energia solar por particulares. Esta resolução foi o primeiro ato regulatório a permitir o sistema de compensação no Brasil.

A maneira mais simples de geração de energia elétrica é com a instalação de um Sistema Solar Fotovoltaico (SFV) diretamente sobre o telhado, o qual é conectado à rede elétrica pública por meio da instalação elétrica da casa (LIMA, 2018). Dessa maneira é aberta a possibilidade do consumidor residencial ou comercial de acumular créditos de energia quando há excesso de geração, utilizando a rede elétrica da concessionária como uma grande bateria, em horários de menor geração. Essa possibilidade, porém, estava restrita àqueles que possuíam espaço físico e capital disponível para adquirir os equipamentos. Esse cenário mudou a partir de 2016, quando a ANEEL revisou a REN 482/2012 por meio da REN 687 de 2015 da própria ANEEL e passou a permitir outras modalidades na geração distribuída: em condomínios, consórcios e cooperativas (LIMA, 2018).

O modelo de geração compartilhada de energia elétrica através de cooperativas e consórcios cresceu nos últimos anos em escala e em escopo (LIMA, 2018). Segundo dados da ANEEL, no ano de 2019 existem 171 usinas fotovoltaicas na modalidade de geração compartilhada conectadas à rede, ao passo em que no ano de 2018 existiam somente 112 conexões. Um aumento de 53% com relação ao ano anterior (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2019). Nesse cenário, surgem diversas empresas do setor de energia elétrica aderindo a esse modelo de negócio, onde a partir da captação de investidores constroem parques, ou condomínios solares.

Gráfico 1 - Quantidade anual de usinas de geração compartilhada conectadas no Brasil



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2019).
Nota: Adaptado pelo autor.

Se bem assistidos por uma boa política de Operação e Manutenção (O&M) os SFV conectados à rede possuem vida útil entre 20 e 30 anos. Essa política de O&M é responsável pelo pleno funcionamento do sistema de forma segura e adequada durante esse período (JÚNIOR; RÜTHER; VERGARA, 2017).

Quando comparada a outras tecnologias de geração de energia elétrica, as usinas solares apresentam baixo nível de manutenção e de requisitos de intervenção. Porém, a manutenção adequada da instalação solar fotovoltaica é essencial para potencializar tanto o resultado energético, quanto a sua vida útil. A operação ótima da instalação precisa alcançar o equilíbrio

entre a maximização da produção e a minimização dos custos de conservação, manutenção e operação.

Todo SFV deve passar por inspeção e manutenção regularmente, de forma a garantir uma operação eficiente e impedir a ocorrência de problemas futuros (PINHO; GALDINO, 2014). Para isso, recomenda-se elaborar e seguir um plano de operação e manutenção, baseando-se nas recomendações feitas pelos fabricantes e nas normas pertinentes à segurança e à utilização dos equipamentos envolvidos na instalação do SFV.

Dessa maneira, motivado com a relevância do Parque Solar *Sun Invest* para o advento da geração compartilhada no estado do Espírito Santo, este trabalho estrutura um Plano de Manutenção, definindo, através de ferramentas adequadas, a necessidade da realização de intervenções programadas ou corretivas nos equipamentos dessa usina solar, assim como a criação do cronograma dessas manutenções ao longo do ano.

O Capítulo 2 deste trabalho faz uma apresentação do Parque Solar *Sun Imvest* e já são abordadas as principais falhas em SFV. O Capítulo 3 aborda os temas relativos à manutenção em geral, além disso, são abordadas as boas práticas de manutenção em sistemas elétricos de média tensão e em sistemas fotovoltaicos. Já no Capítulo 4 são utilizadas ferramentas de classificação de criticidade e Análise do Modo de Falha e Seus Efeitos (FMEA), de tal maneira em que nesse capítulo é estruturado o Plano de Manutenção da usina. Por fim, no Capítulo 5, serão discutidas as conclusões obtidas a partir do Plano de Manutenção estruturado e as possíveis propostas de continuidade do trabalho.

2 O PARQUE SOLAR *SUN INVEST*

2.1 Apresentação

No Espírito Santo, a primeira usina a funcionar na modalidade de geração compartilhada é o Parque Solar *Sun Invest*. Ele fica localizado na cidade de Linhares e está instalado em um terreno com 50.000 m² às margens da rodovia que liga o centro da cidade ao distrito de Pontal do Ipiranga, a Figura 1 mostra sua localização (GOOGLE EARTH, 2019) e a Figura 2, uma imagem aérea da sua área total.

Figura 1 - Localização do Parque Solar *Sun Invest*

Fonte: Google Earth (2019).
Nota: Adaptado pelo autor.

Figura 2 - Vista aérea da instalação do Parque Solar *Sun Invest*

Fonte: Produção do próprio autor.

2.2 Caracterização da usina

A usina está em funcionamento parcial desde março de 2019 com 480 quilowatts pico (kWp) de potência instalada. A previsão de funcionamento total da planta é para o segundo semestre de 2020 e possuirá capacidade instalada de 3 Megawatts pico (MWp). Para isso, contará com aproximadamente 9.000 painéis solares, 1 subestação de média tensão (MT) principal para interligação com a rede da Energias de Portugal (EDP) ES e 3 subestações secundárias com 1 transformador de 1 megawatts (MW) cada, além dos sistemas auxiliares de monitoramento e gestão da energia. Na Figura 3 é apresentado um diagrama de blocos que ilustra a planta da usina.

2.3 Setorização da usina

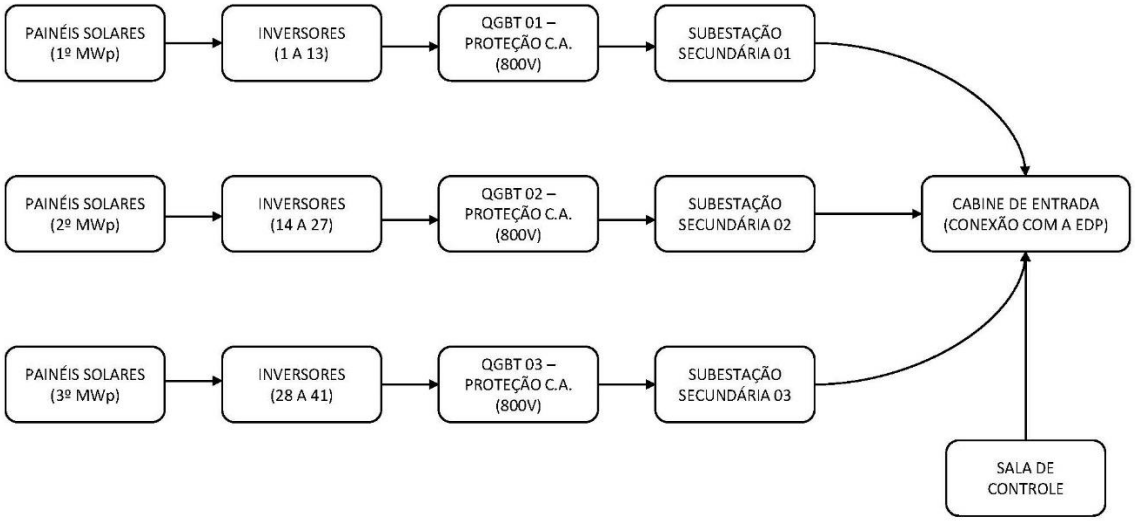
Para uma melhor organização do trabalho, a usina é setorizada nas seguintes áreas:

- Cabine de entrada: onde se encontram os equipamentos de Média Tensão (MT) destinados à interligação do sistema com a rede elétrica da EDP ES;

- Subestações secundárias: onde se encontram os equipamentos de MT destinados a elevar a tensão fornecida pelos inversores de frequência conectados aos painéis solares para a cabine de entrada;
- Painéis solares: equipamentos destinados a captar a energia solar e seus demais equipamentos auxiliares, como inversores de frequência;
- Sala de controle: local destinado à supervisão do sistema da usina, também funciona como abrigo para demais colaboradores;
- Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA): equipamentos destinados à condução de corrente provocada por ocorrências de descargas atmosféricas ao solo, evitando danos aos equipamentos e pessoas;
- Área externa: toda a área do lote onde se encontra instalada a usina.

O diagrama de blocos na Figura 3 ilustra o processo de produção de energia a partir desses setores.

Figura 3 - Diagrama de blocos do processo de geração de energia do Parque Solar *Sun Invest*



Fonte: Produção do próprio autor.

Cada uma das áreas possui especificidades com relação à manutenção e o impacto de paradas, programadas ou não, na geração de energia. Por exemplo, uma falha total no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) 01 implica na perda de 1/3 da energia gerada na usina no período em que a falha não for sanada.

2.4 Principais falhas em sistemas fotovoltaicos

A falha completa de um SFV é muito rara. Quando bem projetado e instalado, funciona por muitos anos, e eventuais falhas geralmente estão associadas a reparos simples (PINHO; GALDINO, 2014).

A principal referência com relação a falhas de SFV é o programa "1.000 Telhados", que aconteceu na Alemanha entre os anos 1991 e 1995, onde foram registrados o comportamento operacional, o tipo e o número de falhas dos vários sistemas. Os principais resultados são:

- O componente mais confiável de um sistema fotovoltaico é o próprio gerador fotovoltaico. No caso de avarias, as principais causas foram os efeitos de descargas atmosféricas, as falhas dos diodos e as deficiências nos módulos e na cablagem de corrente contínua (CC).
- As falhas mais frequentes ocorrem no inversor. As principais causas foram os danos provocados pelo dimensionamento incorreto do inversor, pelo efeito de descargas atmosféricas e por falha do circuito eletrônico.
- Os fenômenos de corrosão provocados pela combinação de diferentes materiais foram recorrentes, como, por exemplo, parafusos de bronze numa montagem galvanizada.
- Outras falhas estavam relacionadas com os fusíveis e com os distúrbios no fornecimento de energia à rede (ALTENER, 2004).

A Tabela 1 traz o levantamento percentual das falhas em 200 SFV analisados pelo programa 1.000 Telhados.

Tabela 1 – Falhas típicas nos sistemas do programa 1.000 Telhados

Falha	%
GERADOR FOTOVOLTAICO	
Sombreamento parcial	41
Condutores não isolados	24
Corrosão e defeitos na estrutura de suporte	19
Grampos de conexão à estrutura soltos ou perdidos	5
Módulos defeituosos	< 2
EQUIPAMENTOS NA CAIXA DE JUNÇÃO	
Dissipação de calor dos diodos ineficiente ou inexistente	60
Dispositivos de isolamento inadequados	56
Fusíveis e Dispositivo de proteção contra surtos (DPS) inadequados	15
Fusíveis defeituosos	4
Diodos de bloqueio defeituosos	< 2
DPS defeituosos	< 1
INVERSOR	
Proteção ineficiente contra sobretensão	8

Fonte: Pinho e Galdino (2014).

3 MANUTENÇÃO

Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Além disso, a manutenção pode incluir uma modificação do item (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). Dessa maneira, pode-se considerar a manutenção como sendo o conjunto de tarefas que visam o bom funcionamento de um determinado item.

3.1 Tipos de manutenção

Segundo Kardec e Nascif (2009), os tipos de manutenção podem ser classificados como corretiva, preventiva ou preditiva. Entretanto, este trabalho basear-se-á nos dois primeiros tipos de manutenção, de tal maneira que se consiga definir quais equipamentos necessitam de uma rotina de manutenção preventiva e quais são aqueles em que a manutenção só seja necessária na ocorrência de uma correção. Sendo assim, não é o foco deste trabalho determinar procedimentos de manutenção preditiva.

3.1.1 Manutenção corretiva

A Manutenção Corretiva é o conjunto de ações desenvolvidas com objetivo de fazer retornar às condições especificadas, um equipamento ou sistema após a ocorrência de baixo rendimento, defeitos ou falhas (BARBOSA, 2009). Pode ter a sua execução programada quando a anormalidade for detectada dentro de uma manutenção preventiva.

Estratégias são elaboradas pelas equipes de manutenção para que essa prática não ocorra, pois, esse tipo de manutenção acaba ocasionando paradas imprevistas causadas por indisponibilidade de máquinas, além de influenciar negativamente os indicadores de manutenção os aspectos de segurança do trabalho a serem considerados (BARBOSA, 2009).

3.1.2 Manutenção preventiva

A Manutenção Preventiva é o conjunto de medidas que são planejadas antecipadamente para prevenir a ocorrência de potenciais falhas, bem como assegurar a máxima disponibilidade e a operação da instalação em nível ótimo.

Barbosa (2009) diz que esse tipo de manutenção deve obedecer a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. Ainda complementa que, dentre estas atividades, incluem-se ensaios, ajustes e testes de rotina, limpeza geral, lubrificação, inspeções, coleta de dados, pintura, reconstituição de partes com características alteradas, substituição de peças ou componentes desgastados, reorganização interna e externa de componentes e cablagem de equipamentos ou sistemas, adaptação de componentes, entre outras coisas.

3.1.3 Manutenção preditiva

Esse tipo de manutenção se baseia em planejamentos exímios e elaborados onde os componentes de uma máquina são substituídos em períodos pré-programados, baseados em estudos e históricos de cada componente, aproveitando ao máximo sua vida útil, e trocando-os antes de entrarem em colapso (BARBOSA, 2009).

3.2 Boas práticas de manutenção em cabines de média tensão

A principal norma para instalações de MT no Brasil é a NBR 14039 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Ela define as condições gerais de procedimentos de operação e manutenção para sistemas que operam entre 1,0 kV a 36,2 kV.

Antes de tudo, a NBR 14039 orienta que, durante os serviços de manutenção em sistemas de média tensão, estes devem ser desenergizados sempre que possível, com seus dispositivos de proteção e seccionamento bloqueados e sinalizados. Além disto, “A periodicidade da manutenção deve adequar-se a cada tipo de instalação, considerando-se, entre outras, a sua complexidade e importância, as influências externas e a vida útil dos componentes.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Ainda segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005), os seguintes pontos devem ser observados:

> [...] 8.2.2.1 Cabos e acessórios - Devem ser inspecionados o estado dos cabos e seus respectivos acessórios, assim como os dispositivos de fixação e suporte, observando sinais de aquecimento excessivo, rachaduras, ressecamento, fixação, identificação e limpeza.
>
> 8.2.2.2 Conjunto de manobra e controle - Deve ser verificada a estrutura do conjunto de manobra e controle, observando seu estado geral quanto a fixação, danos na estrutura, pintura, corrosão, fechaduras e dobradiças. Deve ser verificado o estado geral dos condutores e dispositivos de aterramento.

> No caso de componentes com partes internas móveis, devem ser inspecionados, quando o componente permitir, o estado dos contatos e das câmaras de arco, sinais de aquecimento, limpeza, fixação, ajustes e aferições. Se possível, devem ser realizadas algumas manobras no componente, verificando seu funcionamento. No caso de componentes fixos, deve ser inspecionado o estado geral, observando sinais de aquecimento, fixação, identificação, ressecamento e limpeza.
>
> 8.2.2.3 Equipamentos móveis - As ligações flexíveis que alimentam equipamentos móveis devem ser verificadas conforme 8.2.2.2, bem como a sua adequada articulação.
>
> 8.2.2.4 Ensaio geral - Ao término das verificações e ensaios deve ser efetuado um ensaio geral de funcionamento, simulando todas as situações de comando, seccionamento, proteção e sinalização, observando também os ajustes e aferições dos componentes (relés, sensores, temporizadores etc.), bem como a utilização de fusíveis, disjuntores, chaves seccionadoras etc., em conformidade com o projeto. [...] (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

3.3 Boas práticas de manutenção em sistemas fotovoltaicos

Como já citado na Seção 2.4, a falha total de um SFV é muito rara, isso significa que comparado a outros tipos de instalação elétrica, exigem menores exigências de manutenção. Segundo Minori e Souza (2018), essa condição se deve ao fato desse tipo de sistemas não possuírem partes móveis, sujeitas a desgastes e que necessitam de lubrificação. Há de se ressaltar que existem dispositivos fotovoltaicos com *tracking day*, sistema eletrônico de posicionamento de painéis, porém, tais equipamentos não são utilizados na usina deste trabalho.

As ações de manutenção preventiva devem estar devidamente registradas em um Plano de Manutenção. Minori e Souza (2018) indicam como ações de manutenção a serem tomadas, como limpeza dos painéis e entorno de onde estão instalados, inspeção dos inversores, inspeção das conexões, verificação de vedação dos conectores, inspeção dos painéis solares, inspeção do cabeamento, inspeção do aterramento do sistema e inspeções termográficas. A periodicidade das manutenções será discutida no Capítulo 4.

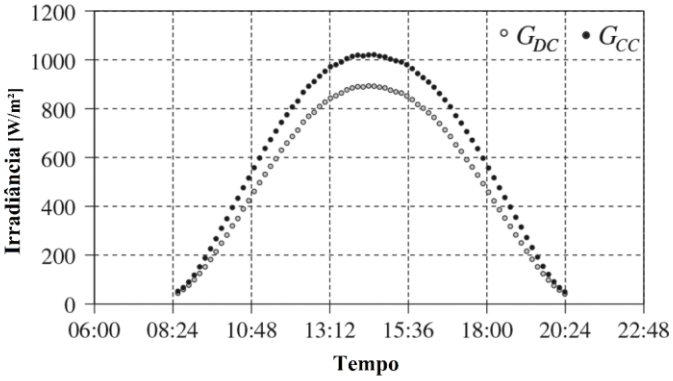
Vale ressaltar que atividades de manutenção devem, sempre que possível, ser realizadas nas primeiras horas do dia ou após o pôr do Sol. Especificamente no caso de limpeza dos painéis, deve-se optar que seja realizada nas primeiras horas do dia, haja vista que o orvalho na superfície dos painéis após a madrugada auxilia na retirada das sujidades da superfície dos módulos. Dessa maneira inclusive, economiza-se em esforço e quantidade de água para limpeza.

3.3.1 Uma breve abordagem acerca da limpeza de painéis fotovoltaicos

Por se tratar de uma instalação que deve ficar exposta às intempéries do tempo, o SFV fica exposto a diversos tipos de sujidades. Segundo Comerio (2017), em geral, as sujidades são oriundas de "[...] poeira, partículas originárias da poluição do ar, atividade agrícola, construção, excremento de animais, carbono amorfo resultante de queima de combustíveis e de vegetação, resíduos oriundos de processos produtivos e tráfego de veículos."

Comerio (2017) ainda ressalta que além de causar danos à saúde, a poluição atmosférica também é responsável pela diminuição da capacidade de geração de um painel fotovoltaico. Outra questão é que a disposição uniforme de sujeira sobre os módulos fotovoltaicos atenua a radiação incidente nas células fotovoltaicas (HICKEL et al., 2016, citado por COMERIO, 2017). O decréscimo de energia gerada pelo aparelho afeta negativamente seu desempenho. A Figura 4 apresenta como acontece a atenuação da irradiância incidente sobre o módulo fotovoltaico provocada por depósito de sujeira em sua superfície.

Figura 4 - Irradiância solar - célula de referência suja (*Gdc*) e limpa (*Gcc*)



Fonte: Comerio (2017).

Essa diminuição na geração das células devido a sujidades pode chegar até 25%, indica um estudo da *Duke University*, em pesquisa realizada nos países da China, Índia e na Península Ibérica (BERGIN et al., 2017).

A limpeza dos painéis deve ser realizada sempre com água livre de impurezas, sem o uso de componentes abrasivos e/ou corrosivos.

3.3.2 Manutenção aplicada ao Parque Solar *Sun Invest*

Minori e Souza (2018) apontam que o planejamento das atividades de manutenção e a sua frequência de realização são determinados por muitos fatores que vão desde a tecnologia selecionada, condições ambientais no local da instalação e termos da garantia, até as eventuais variações sazonais das condições do local. Neste sentido, as recomendações dos fabricantes são uma primeira orientação acerca das atividades e seus intervalos a serem observados, ainda que, eventualmente, necessitem de adaptação às condições do local e da instalação. A política atual da empresa a troca dos equipamentos quando os mesmos apresentam falhas, visto que é possível o acionamento de garantia.

No próximo capítulo serão abordados os tópicos essenciais para a elaboração de um plano de manutenção de uma usina solar.

4 PLANO DE MANUTENÇÃO

Quando bem adotado e executado de maneira regular e planejada, o plano de manutenção minimiza a necessidade de intervenções corretivas não programadas, ainda que, inevitavelmente, alguma falha não prevista possa vir a ocorrer. De qualquer forma, o planejamento adequado das intervenções é essencial para um resultado satisfatório a médio e longo prazos.

O plano de manutenção deve ser elaborado a partir das recomendações dos fabricantes dos equipamentos (XENOS, 1998). Além disso, devem ser levados em consideração a experiência da equipe que elabora o mesmo e o histórico de falhas, quando este existe.

De uma forma geral, a meta do plano de manutenção é eliminar ou reduzir a incidência de falhas, paradas não planejadas e a degradação das funções de um equipamento, bem como manter o processo de manutenção organizado, padronizado e com um fluxo contínuo de melhoria e monitoramento (BARBOSA, 2009).

Para o Parque Solar *Sun Invest*, por se tratar de uma instalação nova, não existe um histórico de falhas. Portanto, este trabalho se norteia principalmente pelas recomendações dos fabricantes dos equipamentos e por algumas técnicas de gestão de manutenção que são abordadas nas próximas seções.

4.1 Estrutura do plano de manutenção

De acordo com Xenos (2004), um plano de manutenção consiste em:

- Realizar a classificação dos equipamentos quanto a sua importância dentro do sistema de produção;
- Definir a forma e frequência de manutenção para cada equipamento/sistema; sendo a execução da manutenção baseada em inspeções periódicas e, se necessário, reformas ou trocas de peças de equipamentos;
- Verificar a eficácia do plano de manutenção através de itens de controle e tomar decisões corretivas se necessário.

Essa estrutura pode ser representada pelo fluxograma apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma de elaboração de Plano de Manutenção

Fonte: Produção do próprio autor

Em resumo, um bom plano de manutenção pode ter as seguintes etapas de elaboração:

- Levantamento dos equipamentos;
- Classificação quanto à criticidade;
- Definir o tipo de manutenção para cada equipamento;
- Documentação do plano;
- Acompanhamento do plano de manutenção.

Tais etapas serão abordadas nas seções a seguir.

4.2 Levantamento dos equipamentos

Nessa primeira etapa são listados os equipamentos existentes na usina. Todos eles devem possuir um nome único, comumente chamado de *Tag.* Isso é importante para o controle de manutenção, visto que é essencial para criar o histórico de falhas e intervenções de cada equipamento.

A lógica seguida para criação das *Tags* é feita utilizando duas letras para identificar a qual área pertence, seguida de três letras para identificação do tipo de equipamento e, por fim, 4 números para identificação sequencial do equipamento. Para exemplificar, o *No Break*, pertencente à Cabine de Entrada, possui a s *Tag* CE-NBK-0001.

O Quadro 1 - Listagem de equipamentos do Parque Solar *Sun Invest* apresenta a listagem dos equipamentos bem como as *Tags* aplicadas a cada um.

Quadro 1 - Listagem de equipamentos do Parque Solar *Sun Invest*

(continua)

ITEM	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	TAG
1. CABINE DE ENTRADA			
1.1	Poste de entrada	01	CE-PST-0001
1.2	Muflas	08	CE-MUF-0001 a 0008
1.3	Caixas de passagem	01	CE-CXP-0001
1.4	Chaves seccionadoras	05	CE-CHS-0001 a 0005
1.5	*No break*	01	CE-NBK-0001
1.6	Iluminação e tomadas	n/a*	n/a*
1.7	Transformador Auxiliar	01	CE-TFX-0001
1.8	Buchas e isoladores	30	CE-BUS-0001 a 0030
1.9	Barramento	03	CE-BAR-0001 a 0003
1.10	Cabos de MT	04	CE-CMT-0001 a 0004
1.11	Disjuntor de MT	01	CE-DMT-0001
1.12	Pára-raios	03	CE-PAR-0001 a 0003
2. SUBESTAÇÕES SECUNDÁRIAS			
2.1	Transformador	03	SS-TRF-0001 a 0003
2.2	Quadro Geral de Baixa Tensão	03	SS-QGB-0001 a 0003
2.3	Cabos de MT	12	SS-CMT-0001 a 0012
2.4	Cabos de BT	03	SS-CBT-0001 a 0003
3. PAINÉIS SOLARES			
3.1	Inversores	04	PS-INV-0001 a 0004
3.2	Painéis Solares	1940	PS-PAS-0001 a 1940
3.3	Estrutura Metálica	var**	n/a*
4. SALA DE CONTROLE			
4.1	Portas e Janelas	var**	n/a*
4.2	Quadro Elétrico de BT	01	SC-QGB-0001
4.3	Sistemas de Segurança	var**	n/a*

Quadro 1 - Listagem de equipamentos do Parque Solar *Sun Invest*

(conclusão)

ITEM	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	TAG
5. SPDA			
5.1	Malha de Aterramento	01	n/a*
5.2	Captores	01	n/a*
5.3	Descidas	var**	n/a*
6. ÁREA EXTERNA			
6.1	Caixa d'água	01	AE-CXD-0001
6.2	Terreno	01	n/a*
6.3	Cercas	var**	n/a*
6.4	Barreiras de Segurança	var**	n/a*
6.5	Câmeras	var**	n/a*

Fonte: Produção do próprio autor.
Nota: * itens não aplicáveis; ** quantidade variável.

4.3 Classificação quanto a criticidade

A criticidade de equipamentos está ligada a diferentes interpretações (MOSS; WOODHOUSE, 1999), "[...]dependendo do objetivo e contexto no qual ela é analisada, definindo criticidade como o **atributo que expressa à importância da função de um equipamento ou sistema dentro de um processo produtivo** [...]" (BARAN; TROJAN, 2015, grifo nosso) de tal maneira que se deve levar em consideração aspectos relativos ao meio ambiente, segurança, qualidade ou algum outro critério específico.

Baran e Trojan (2015) afirmam que a manutenção deve ser capaz de trazer maior confiabilidade ao sistema. Ainda ressaltam que o foco das manutenções deve ser nos equipamentos que se mostram mais críticos ao sistema. Sendo assim, o ponto de partida para priorização e alocação de recursos de manutenção deve ter como ponto de partida a classificação dos equipamentos quanto a sua criticidade.

Segundo Smith e Hinchcliffe (2004), a análise de criticidade tem com finalidade classificar e identificar efeitos e eventos a partir dos seus impactos e importância no sistema, de tal maneira que pode ser aplicada em estudos de risco, plantas em operação ou confiabilidade de projetos. Além disso, Baran e Trojan (2015) dizem que a análise de criticidade pode ser conduzida de forma quantitativa ou qualitativa.

4.3.1 Classificação ABC para definição de criticidade dos equipamentos

Existem diversas ferramentas e técnicas para definição de criticidade de equipamentos e sistemas, a maioria delas baseadas em métodos empíricos, a partir da experiência dos gestores e técnicos de manutenção (BARAN; TROJAN, 2015). Porém, mesmo que sirva como referência no planejamento da manutenção, não é completo em sua totalidade, de tal maneira que se contemple todos os aspectos e cenários, como segurança e meio ambiente, qualidade do produto, condição de operação, condições de entrega, índice de paradas - confiabilidade e manutenabilidade.

A classificação ABC é indicada para esse tipo de análise (JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE, 1995), cuja metodologia se utiliza do fluxograma decisório apresentado na Figura 6 para tomada de decisão quanto à criticidade dentro do processo. Essa classificação se baseia no princípio de Pareto, que considera a importância dos equipamentos quanto à sua participação no processo produtivo da planta.

4.3.2 Critérios para avaliação da criticidade

Segundo Siqueira (2009), critérios puramente técnicos não são capazes de definir totalmente o quão crítico um equipamento é. Além disso, devem ser levados outros critérios em consideração, tais como: ”[..] relações interfuncionais dos equipamentos-processo; risco derivado do potencial de falha; impactos financeiros, políticas ambientais; segurança; aspectos econômicos; qualidade, além de critérios específicos de cada segmento industrial” (BARAN; TROJAN, 2015). O Quadro 2 apresenta critérios para definição do nível de criticidade dos equipamentos do Parque Solar *Sun Invest.*

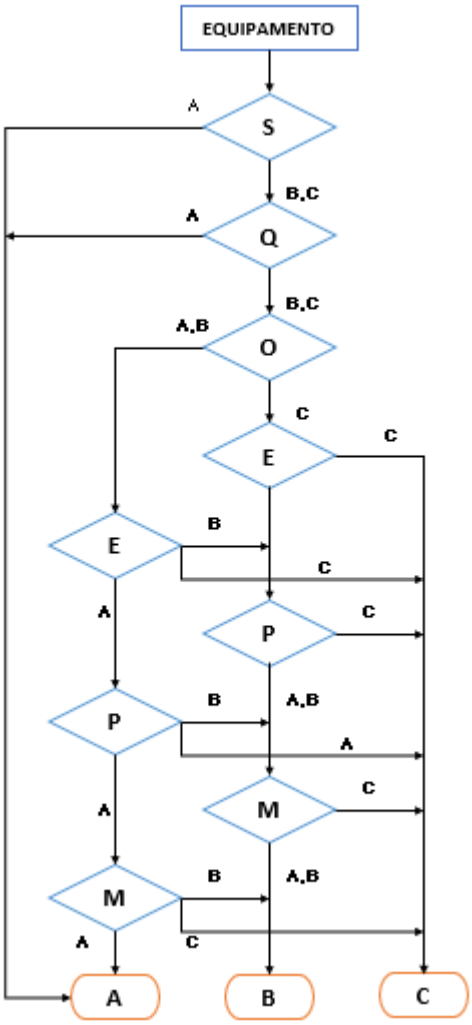
Quadro 2 - Critério para avaliação de criticidade de cada equipamento

FATORES DE AVALIAÇÃO		CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO		
		A	**B**	**C**
S	Segurança e Meio Ambiente	Caso sofra parada, provoca acidente grave e problemas de contaminação com meio ambiente	Caso sofra parada, pode provocar algum tipo de acidente, porém só material, mas não com o meio ambiente	Caso sofra parada, sem probabilidade de provocar qualquer tipo de acidente, nem tampouco com o meio ambiente
Q	Qualidade do produto	Caso sofra parada, haverá com certeza queda de qualidade e geração de refugos podendo gerar reclamações de clientes	Caso sofra parada, haverá possíveis queda de qualidade e poucos refugos, sem possibilidade de reclamação dos clientes	Caso sofra parada, não haverá queda de qualidade e poucos refugos, sem possibilidade de reclamação dos clientes
O	Condição de operação	Tempo de utilização do equipamento acima de 90% ao mês	Tempo de utilização do equipamento entre 50% e 90% no mês	Tempo de utilização do equipamento abaixo de 50% no mês
E	Condições de entrega	Caso sofra uma parada, pode parar a produção de energia sem nenhuma alternativa a curto prazo	Caso sofra uma parada, pode parar a produção de energia, porém com soluções alternativas imediatas	Caso sofra uma parada não interfere na produção de energia e com alternativas imediatas
P	Índice de paradas - Confiabilidade	Período Médio Entre Falhas (MTBF) abaixo de 15 dias	MTBF entre 15 e 60 dias	MTBF acima de 60 dias
M	Manutenabilidade	Tempo Médio para Reparo (MTTR) acima de 24h	MTTR entre 12h e 24h	MTTR abaixo de 12h

Fonte: Baran e Trojan (2015).
Nota: Adaptado pelo autor.

O fluxo de decisão da Figura 6 apresenta as escolhas são tomadas quanto ao nível de criticidade para cada fator de avaliação, onde as letras no interior do losango significam os fatores de avaliação, sendo S (segurança e meio ambiente), Q (qualidade do produto), O (condição de operação), E (condições de entrega), P (índice de paradas – confiabilidade), M (manutenabilidade). Assim, as tomadas de decisão são baseadas nos critérios apresentados no Quadro 2.

Figura 6 - Fluxograma para decisão de criticidade



Fonte: Baran e Trojan (2015).
Nota: Adaptado pelo autor.

A partir do resultado do fluxograma da Figura 6 chega-se a uma especificação de criticidade do equipamento em questão:

a) Classe A: equipamentos altamente críticos para o processo, sendo necessária uma política preventiva com: preditiva e preventiva, análise das falhas manutenção e operação, equipes de melhoria focada, equipes focadas na redução de falhas, aplicação de metodologias FMEA.

b) Classe B: equipamentos importantes para o processo, sendo aceitável aplicação de alguma das seguintes técnicas: preventiva ou preditiva, equipes e times de melhoria, análise das falhas pela manutenção, e aconselhável análise FMEA.

c) Classe C: equipamentos com baixo impacto no processo, com as seguintes políticas de manutenção: corretiva em equipamentos utilitários, monitoramento de falhas para evitar recorrências.

O resultado obtido após análise da criticidade dos equipamentos da usina encontra- se resumido no Quadro 3.

Quadro 3 - Definição do tipo de manutenção a partir da criticidade

ITEM	EQUIPAMENTO	NÍVEL DE CRITICIDADE						CRITICIDADE	MANUTENÇÃO
		S	Q	O	E	P	M		
1. CABINE DE ENTRADA									
1.1	Poste de entrada	B	B	A	A	C	A	C	Corretiva
1.2	Muflas	C	B	A	A	B	B	B	Preventiva
1.3	Caixas de passagem	C	C	A	C	C	C	C	Corretiva
1.4	Chaves seccionadoras	C	B	A	A	B	B	B	Preventiva
1.5	*No break*	C	C	C	C	C	C	C	Preventiva
1.6	Iluminação e tomadas	C	C	C	C	C	C	C	Corretiva
1.7	Transformador Auxiliar	B	A	A	A	C	A	A	Preventiva
1.8	Buchas e isoladores	C	B	A	B	B	B	B	Preventiva
1.9	Barramento	C	B	A	B	B	A	B	Preventiva
1.10	Cabos de MT	C	B	A	B	B	A	B	Preventiva
1.11	Disjuntor de MT	A	A	A	A	C	A	A	Preventiva
1.12	Pára-raios	B	B	B	C	C	C	C	Preventiva
2. SUBESTAÇÕES SECUNDÁRIAS									
2.1	Transformador	B	A	A	A	C	A	A	Preventiva
2.2	Quadro Geral de Baixa Tensão	C	A	A	A	B	B	A	Preventiva
2.3	Cabos de MT	C	B	A	B	B	A	B	Preventiva
2.4	Cabos de BT	C	B	A	B	B	A	B	Preventiva
3. PAINÉIS SOLARES									
3.1	Inversores	C	A	B	A	B	A	A	Preventiva
3.2	Painéis Solares	A	A	A	A	A	C	A	Preventiva
3.3	Estrutura Metálica	B	B	B	B	B	B	B	Preventiva
4. SALA DE CONTROLE									
4.1	Portas e Janelas	C	A	A	A	B	B	A	Preventiva
4.2	Quadro Elétrico de BT	C	A	A	A	B	B	A	Preventiva
4.3	Sistemas de Segurança	C	A	A	A	B	B	A	Preventiva
5. SPDA									
5.1	Malha de Aterramento	B	B	A	B	C	C	C	Preventiva
5.2	Captores	B	B	C	C	C	C	C	Preventiva
5.3	Descidas	B	B	C	C	C	C	C	Preventiva
6. ÁREA EXTERNA									
6.1	Caixa d'água	C	B	B	C	C	C	C	Corretiva
6.2	Terreno	C	C	C	C	C	C	C	Corretiva
6.3	Cercas	C	C	A	A	A	A	A	Preventiva
6.4	Barreiras de Segurança	C	C	A	A	A	A	A	Preventiva
6.5	Câmeras	C	C	A	A	A	A	A	Preventiva

Fonte: Produção própria do autor.

4.4 Periodicidade da manutenção

Os equipamentos, que através da análise de criticidade, devem sofrer manutenções preventivas, necessitam passar por uma análise para se determinar a periodicidade dessas manutenções a fim de se elaborar um cronograma anual de intervenções.

Para se determinar o intervalo entre manutenções preventivas de cada equipamento este trabalho propõe a utilização da ferramenta de Análise do Modo de Falha e Seus Efeitos (FMEA), para obtenção do Número de Prioridade de Risco (RPN) e, a partir dele se definir a periodicidade das manutenções.

4.4.1 Análise do modo de falha e seus efeitos (FMEA)

Esta é uma técnica de análise que foi desenvolvida para ser aplicada principalmente a componentes, cujo objetivo primordial é analisar 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).

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 (CHRYSLER, 2001). É uma das técnicas consideradas de baixo risco mais eficientes para prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes em termos de custos (COUTO; CARVALHO, 2015).

4.4.2 FMEA aplicado ao Parque Solar *Sun Invest*

O FMEA possui três fatores que são utilizados para definição da prioridade de falhas: ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D).

- 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 (ARAÚJO, 2018).

Paiva e Almeida (2007) definem o RPN como indicativo de grau de risco e uma prioridade para as contramedidas a serem adotadas contra as falhas. Ele é calculado a partir de (1).

$$RPN = O \; x \; S \; x \; D \tag{1}$$

Sendo,
O – Probabilidade de ocorrência
S – Severidade
D – Detecção

O Quadro 4, o Quadro 5 e o Quadro 6 mostram como os fatores O, S e D podem ser classificados num sistema de pontuação neste trabalho, a fim de se obter o resultado do RPN para os equipamentos da usina.

Quadro 4 - Critério de análise de ocorrência da falha

PROBABILIDADE DE FALHA	POSSÍVEIS TAXAS DE FALHAS	GRAU (O)
Extremamente alta (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: Leal, Pinho e Almeida (2006).
Nota: Adaptado pelo autor.

Quadro 5 - Critério de análise para detecção da causa da falha

DETECÇÃO	PROBABILIDADE DE DETECÇÃO DA CAUSA DA FALHA	GRAU (D)
Absolutamente incertas	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 alta	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: Leal, Pinho e Almeida (2006).
Nota: Adaptado pelo autor.

Quadro 6 - Critério para severidade dos efeitos de falha

EFEITO	SEVERIDADE DO EFEITO	GRAU (S)
Perigoso	A manutenção não detecta a causa da falha potencial, ou não existe manutenção	10
Sério	Chance muito remota de se detectar a causa da falha	9
Importante	Chance remota de se detectar a causa da falha	8
Impactante	Chance muito baixa de se detectar a causa da falha	7
Significativo	Chance baixa de se detectar a causa da falha	6
Moderado	Moderada chance de se detectar a causa da falha	5
Baixo	Moderadamente alta a chance de se detectar a causa da falha	4
Desprezível	Chance alta de se detectar a causa da falha	3
Muito desprezível	Chance muito alta de se detectar a causa da falha	2
Nenhum	A manutenção quase certamente detectará a causa da falha	1

Fonte: Leal, Pinho e Almeida (2006).
Nota: Adaptado pelo autor.

Um modelo para elaboração do FMEA foi elaborado por Palady (1997). Este modelo contém 11 elementos que devem estar presentes na maioria das tabelas resultantes do FMEA.

- Cabeçalho: possui informações para identificação do documento.
- Funções: é aquilo que o usuário espera que o produto faça.
- Modos de falha: são os modos que uma função pode falhar.

- Efeitos: é o que acontece ao usuário quando a falha ocorre.
- Severidade: é a gravidade dos efeitos do modo de falha.
- Causas: é o que provoca a ocorrência do modo de falha.
- Ocorrência: é a frequência que se espera que o modo de falha ocorra.
- Controles: são os mecanismos para verificar a qualidade do item analisado.
- Detecção: é a probabilidade de o modo de falha ser detectado pelo usuário antes da falha ocorrer.
- Ações recomendadas: aquilo que pode ser feito para prevenir as falhas potenciais, reduzir a severidade e/ou aumentar a chance de detecção.
- Status: é o estado das ações recomendadas (ARAÚJO, 2018).

O Quadro 7 apresenta, como exemplo, uma proposta de análise FMEA para o *No Break* da Cabine de Entrada. Para este trabalho, não foi considerada a construção do cabeçalho e de ações recomendadas. Este último, por ainda não haver sido implantada a rotina de manutenção.

Quadro 7 - Modelo de planilha para FMEA

EQUIPAMENTO	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DO MODO DE FALHA	SEVERIDADE (S)	CAUSAS DO MODO DE FALHA	OCORRÊNCIA (O)	DETECÇÃO (D)	RPN (S.O.D)
No break	Alimentação de backup dos sistemas de monitoramento e proteção	Não fornece energia para os sistemas	Não liga	Sistemas de monitoramento e proteção inoperantes na falta de energia	7	Baterias descarregadas	5	4	140

Fonte: Produção do próprio autor.

A partir do RPN calculado é definida a periodicidade de manutenção. A regra para aplicação desse valor é mostrada no Quadro 8.

Quadro 8 – Periodicidade sugerida de manutenção a partir do cálculo do RPN

RPN	Periodicidade
<150	Anual (A)
>151 e <250	Semestral (SE)
>251 e <500	Trimestral (T)
>501 e <750	Mensal (M)
>751 e <900	Semanal (S)
>901 e <1000	Diária (D)

Fonte: Produção do próprio autor.

Dessa maneira é possível se obter de forma objetiva uma métrica para elaboração do cronograma de manutenção. Para o exemplo anterior, recomenda-se a verificação do No break a cada seis meses.

O FMEA foi elaborado para todos os equipamentos da usina, exceto aqueles que de acordo com o Quadro 3 tiveram sua manutenção classificada somente como corretiva por apresentarem baixa criticidade. A análise completa se encontra no APÊNDICE A.

4.5 Cronograma de manutenção

Baseado nos dados obtidos a partir das análises de classificação ABC e FMEA, para criticidade e periodicidade, respectivamente, é possível realizar a elaboração do cronograma de manutenção ao longo do ano dos equipamentos da usina. Ele se encontra no Apêndice B e sua construção levou em consideração os seguintes fatores:

- Procedimentos que exigem o desligamento total da usina (como manutenções na Cabine de Entrada) foram colocados em épocas de menor geração de energia, como junho e julho, para haver um impacto menor na produção mensal;
- O cronograma leva em consideração a contratação de uma empresa para execução dos serviços que exigem intervenção;
- Serviços de simples de inspeção podem ser realizados pelos próprios mantenedores da usina, obedecendo as regras de segurança.

4.6 Acompanhamento do plano de manutenção

Xenos (2004) afirma que o melhoramento de processo é feito pela definição de metas para manter e metas para melhorar. O método mais utilizado para isso é o ciclo PDCA. De acordo com Barbosa (2009), as etapas do PDCA são:

- P - *PLAN* (planejamento) - Define-se a meta de interesse e se estabelecem os meios (planos de ação) necessários para se atingir a meta proposta;
- D - *DO* (execução) - Para a execução dos planos de ação, as pessoas são treinadas. A seguir, os mesmos são implementados e são coletados dados que possam fornecer informações sobre a obtenção da meta;

- C - *CHECK* (verificação) - Por meio dos dados coletados na etapa de execução, é feita uma avaliação dos resultados obtidos em relação ao alcance da meta;
- A - *ACTION* (ação) -Se as metas foram alcançadas, são estabelecidos meios de manutenção dos bons resultados obtidos. Se a meta não foi alcançada, inicia-se um novo giro do PDCA.

Nesse sentido, o plano de manutenção elaborado neste trabalho deve ser sempre aprimorado, de tal maneira a se obter uma melhoria contínua do planejamento anual de manutenção.

4.7 Controle da manutenção

Kardec e Nascif (2009) afirmam que a existência de um Sistema de Controle da Manutenção é fundamental, haja vista que é ele quem determina que serviços devem ser executados, quando e como serão feitos, quanto tempo será gasto para execução do serviço e que materiais, ferramentas e dispositivos serão utilizados.

Segundo Barbosa (2009), os principais processos que compõem a estrutura do controle e planejamento da manutenção (PCM) são os seguintes:

I. Processamento de solicitação de serviço;
II. Planejamento de serviços;
III. Programação dos serviços;
IV. Gerenciamento da execução dos serviços;
V. Registro de serviços e recursos;
VI. Gerenciamento de equipamentos;
VII. Administração da carteira de serviços;
VIII. Gerenciamento dos padrões de serviço;
IX. Gerenciamento de recursos;
X. Administração de estoques.

Entretanto, não é escopo deste trabalho desenvolver o sistema de controle da manutenção.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

A manutenção de sistemas fotovoltaicos historicamente está associada à simples limpeza dos painéis solares. Essa associação simplória tem sido deixada de lado à medida em que surgem novas modalidades de geração solar, como no caso da geração compartilhada de energia.

Nesse contexto, surgem grandes usinas solares no território brasileiro, tais usinas necessitam de uma atenção maior que os simples sistemas instalados nos telhados das residências. Dessa maneira, o resultado desse trabalho trouxe como solução o planejamento de manutenção para uma usina solar de porte considerável. A usina em questão é apresentada no Capítulo 2 deste trabalho.

Os aspectos relativos à manutenção em geral foram discutidos no Capítulo 3. Nele foram definidos os conceitos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva. Além disso, neste capítulo foram apresentadas as principais práticas de manutenção em sistemas elétricos de média tensão e fotovoltaicos.

O Capítulo 4 mostrou como foi elaborado o plano de manutenção do Parque Solar *Sun Invest*. Para sua elaboração, foram estudadas diferentes ferramentas de gestão de manutenção, pois a literatura sobre o assunto é muito extensa, que se toda explicitada neste texto tornaria a leitura cansativa e tediosa. Além disso, não agregaria tanto à confecção deste plano de manutenção. Foram escolhidas as ferramentas de Classificação ABC e FMEA, das quais foi possível obter métricas bastante objetivas com relação à criticidade, definição e periodicidade das manutenções.

O propósito desse trabalho foi alcançado e está resumido no APÊNDICE A – ANÁLISE FMEA COM DEFINIÇÃO DE PERIODICIDADE E PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃOe no APÊNDICE B – CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO, com os quadros relativos à definição de manutenção e seu cronograma anual.

5.2 Trabalhos futuros

O plano de manutenção elaborado não se encontra esgotado. Como explicitado na Seção 4.6 é necessário que o plano seja acompanhado e que periodicamente seja reavaliado, como rotina do PDCA. Portanto, ficam como sugestões para trabalhos futuros os seguintes itens:

a) Avaliação econômica da manutenção de sistemas fotovoltaicos;

b) Estudo de quantitativo de peças sobressalentes e gestão de estoque;

c) Implementação de manutenções preditivas com utilizações de sensores;

d) Desenvolvimento de um sistema de gestão e controle da manutenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília: ANEEL, 2012. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf. Acesso em: 12 ago. 2019.

_____. **Unidades consumidoras com geração distribuída**. Brasília, 2019. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKIi7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKIi7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2. Acesso em: 21 nov. 2019.

ARAÚJO, M. V. M. **Aplicação do FMEA como suporte para a gestão da manutenção de placas fotovoltaicas.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Unidade Acadêmica de Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, Sumé, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:** Confiabilidade e Mantenabilidade. Rio de Janeiro: ABNT,1994.

_____. **NBR 14039:** Instalações elétricas de média tensão de 1 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BARAN, L. R.; TROJAN, F. Uma revisão e análise comparativa das técnicas para determinar a criticidade dos sistemas e equipamentos em plantas industriais. **Espacios,** v. 37, n. 08, p. 1, 2016.

BARBOSA, I. O. Proposta de um modelo sistemático de planejamento da manutenção para empresa que não possua sistema integrado de manutenção. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2016, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: ABEPRO, 2016. 19 p. Tema: Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil.

BERGIN, M. H.; GHOROI, C.; DIXIT, D.; SCHAUER, J. J.; SHINDELL, D. T. Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution. **Environmental Science and Technology Letters**, v. 4, n. 8, p. 339–344, 2017.

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.

CHRYSLER, D.; MOTOR, F.; MOTOR, G. **Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**. Reference Manual to QS-9000 (Quality System). Estados Unidos, v. 3, n. 5, p. 13-17, 2001.

COMERIO, A. **Avaliação do impacto de sujidade de módulos fotovoltaicos na geração de energia elétrica**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

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

GOOGLE EARTH. Parque Solar Sun Invest, Linhares. Coordenadas: lat. -19.352246 lon. -39.900747, visão de mapa. Versão 7.3.2. Acesso em: 21 nov. 2019.

GREENPRO, A. P. C. **Energia Fotovoltaica** - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Portugal: Comissão Europeia, 2004.

HICKEL, B. M.; DESCHAMPS, E. M.; NASCIMENTO, L. R.; RÜTHER, R.; SIMÕES, G. C. Análise da influência do acúmulo de sujeira sobre diferentes tecnologias de módulos FV: revisão e medições de campo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 6., 2016, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: 2016. 1 CD-ROM.

JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE. **600 Forms Manual**. Japão: JIPM, 1995.

JÚNIOR, E. F. M.; RÜTHER, R.; VERGARA, L. G. L. Avaliação do conhecimento em O&M de sistemas fotovoltaicos por profissionais do mercado de energia solar Brasileiro. **Revista Brasileira de Energia Solar**, Florianópolis, v. 8, n. 2, p. 131-139, 2017.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção**: Função Estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LIMA, D. L. **Cooperativas de energia**: Guia de constituição de cooperativas de geração distribuída fotovoltaica. Brasília, DF: Sistema OCB, Cooperação Alemã, Giz, DGRV, 2018. Disponível em: https://www.somoscooperativismo.coop.br/publicacao/33/guia-de-constituicao-de-cooperativas-de-geracao-distribuida-fotovoltaica. Acesso em: 12 ago. 2019.

MOSS, T. R.; WOODHOUSE, J. Criticality analysis revisited. **Quality and Reliability**. England: Engineering International, v. 15, n. 2, p. 117-121, mar. 1999.

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**, v. 20, n. 1, p. 77- 91, jan./mar. 2010.

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

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos** - Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). Rio de Janeiro: CRESESB, 2014.

SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM Gateway to world class maintenance**. 2. ed. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, v. 1, 2004.

SOUZA, W.; SOUZA, R; MINORI, A. Boas práticas de manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2018, Maceió. **Anais** [...]. Maceió: ABEPRO 2018. 26 p. Tema: A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil.

XENOS, H. G. P. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, v. 171, 1998.

APÊNDICE A – ANÁLISE FMEA COM DEFINIÇÃO DE PERIODICIDADE E PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO

Quadro 9 - Análise FMEA com indicação de periodicidade e procedimentos de manutenção

(continua)

ÁREA	EQUIPAMENTO	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DO MODO DE FALHA	SEVERIDADE (S)	CAUSAS DO MODO DE FALHA	OCORRÊNCIA (O)	DETECÇÃO (D)	RPN (S.O.D)	PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO	PRIODICIDADE SUGERIDA	PERIODICIDADE APLICADA					
													D	S	M	T	SE	A
1. CABINE DE ENTRADA	Muflas	Conexão de cabos de MT	Falha de isolação	Queima	Curto circuito na MT	7	Sujeira, desgaste do material	4	6	168	Inspeção visual	SEMESTRAL					x	
											Limpeza							x
											Reaperto de conexões							x
	Chaves seccionadoras	Seccionamento do circuito de MT	Contatos não fecham/abrem	Queima	Curto circuito na MT	7	Sujeira, desgaste	3	7	147	Inspeção visual	ANUAL					x	
											Inspeção termográfica						x	
											Limpeza							x
											Lubrificação							x
											Reaperto de conexões							x
											Manobras de abertura e fechamento							x
											Medição da resistência de contatos							x
											Medição da resistência de isolamento							x
	No break	Alimentação de backup dos sistemas de monitoramento e proteção	Não fornece energia para os sistemas	Não liga	Sistemas de monitoramento e proteção inoperantes na falta de energia	7	Baterias descarregadas	5	4	140	Verificar estado das baterias	ANUAL				x		
	Transformador Auxiliar	Abaixar a tensão para 220V	Tensão fornecida fora do padrão	Não fornece tensão	Circuitos secundários não funcionam, no break em funcionamento	10	Falha de isolação	4	5	200	Inspeção visual	SEMESTRAL			x			
											Inspeção termográfica				x			
											Limpeza							x
											Reaperto de conexões							x
											Medição da relação do número de espiras							x
											Medição da resistência dos enrolamentos							x
											Medição da resistência de isolamento							x
	Buchas e isoladores	Isolar componentes energizados	Não isolamento	Fuga de corrente	Curto circuito	8	Sujeira, desgaste do material, quebra	6	4	192	Inspeção visual	SEMESTRAL			x			
											Inspeção termográfica				x			
											Limpeza							x
	Barramento	Conexão dos equipamentos	Quebra	Queda	Interrupção do fornecimento de energia	8	Corrosão, desgaste, curto circuito	2	7	112	Inspeção visual	ANUAL			x			
											Limpeza							x
											Reaperto de conexões							x
	Cabos de MT	Transportar energia elétrica	Rompimento	Não entrega energia	Interrupção do fornecimento de energia, risco de incêndio	10	Falha na isolação, sobrecarga	6	7	420	Inspeção visual	TRIMESTRAL			x			
											Limpeza							x
											Reaperto de conexões							x
											Medição da resistência de isolamento							x

Quadro 9 - Análise FMEA com indicação de periodicidade e procedimentos de manutenção

(continuação)

ÁREA	EQUIPAMENTO	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DO MODO DE FALHA	SEVERIDADE (S)	CAUSAS DO MODO DE FALHA	OCORRÊNCIA (O)	DETECÇÃO (D)	RPN (S.O.D)	PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO	PRIODICIDADE SUGERIDA	PERIODICIDADE APLICADA					
													D	S	M	T	SE	A
	Disjuntor de MT	Abertura do circuito de MT em caso de sobrecarga/ curto circuito	Perda de comando	Não abre/fecha	Circuito de MT fica sem abertura/ fechamento	8	Sujeira, desgaste dos contatos	2	7	112	Inspeção visual	ANUAL			x			
											Inspeção termográfica				x			
											Limpeza							x
											Lubrificação							x
											Reaperto de conexões							x
											Manobras de abertura e fechamento							x
											Medição da resistênca de contatos							x
											Medição da resistência de isolamento							x
	Pára-raios	Proteção contra descargas atmosféricas	Não descarrega sobrecarga	Perda de isolação	Fuga de corrente, sobrecarga nos componentes internos	7	Sujeira, desgaste, atuações anteriores	8	5	280	Inspeção visual	SEMESTRAL			x			
											Limpeza							x
											Reaperto de conexões							x
2. SUBESTAÇÕES SECUNDÁRIAS	Transformador	Elevar tensão para 13.800 V	Tensão fornecida fora do padrão	Não fornece tensão	Circuitos secundários não funcionam, no break em funcionamento	10	Falha de isolação	4	5	200	Inspeção visual	SEMESTRAL			x			
											Inspeção termográfica				x			
											Limpeza							x
											Reaperto de conexões							x
											Reposição de óleo							x
											Medição da relação do número de espiras							x
											Medição da resistência dos enrolamentos							x
											Medição da resistência de isolamento							x
	Quadro Geral de Baixa Tensão	Distribuição de energia	Disjuntor geral aberto	Curto circuito	Diminuição da energia entregue à rede de MT	8	Sobrecarga, falha nos apertos	8	8	512	Inspeção visual	MENSAL	x					
											Inspeção termográfica			x				
											Reaperto de conexões					x		
	Cabos de MT	Transportar energia elétrica	Rompimento	Não entrega energia	Interrupção do fornecimento de energia, risco de incêndio	10	Falha na isolação, sobrecarga	6	7	420	Inspeção visual	TRIMESTRAL			x			
											Limpeza							x
											Reaperto de conexões							x
											Medição da resistência de isolamento							x
	Cabos de BT	Transportar energia elétrica	Rompimento	Não entrega energia	Interrupção do fornecimento de energia, risco de incêndio	10	Falha na isolação, sobrecarga	6	7	420	Inspeção visual	TRIMESTRAL			x			
											Limpeza							x
											Reaperto de conexões							x
											Medição da resistência de isolamento							x
	Inversores	Converter a tensão CC dos painéis para CA	Queda na geração de energia	Abertura de circuito	Inversor não fornece tensão nos padrões	8	Falha de parametrização, curto circuito	4	8	256	Limpeza	SEMESTRAL					x	

Quadro 9 - Análise FMEA com indicação de periodicidade e procedimentos de manutenção

(continuação)

ÁREA	EQUIPAMENTO	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DO MODO DE FALHA	SEVERIDADE (S)	CAUSAS DO MODO DE FALHA	OCORRÊNCIA (O)	DETECÇÃO (D)	RPN (S.O.D)	PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO	PRIODICIDADE SUGERIDA	PERIODICIDADE APLICADA					
													D	S	M	T	SE	A
3. PAINÉIS SOLARES											Status de funcionamento do sistema		x					
											Conexões dos cabos						x	
											Aterramento						x	
	Painéis Solares	Converter energia solar em energia elétrica	Queda na produção de energia	Queima do painel	Gerador não fornece potência para os inversores	10	Sombreamento, sujeira, ligação errada	8	8	640	Limpeza	MENSAL			x			
											Reaperto de conexões						x	
											Inspeção visual				x			
											Inspeção termográfica				x			
	Estrutura Metálica	Sustentar os painéis solares	Queda na produção de energia	Quebra da estrutura	Queda de painéis solares e cabos	10	Oxidação, ventos	2	6	120	Inspeção visual	ANUAL						x
											Reaperto de fixações							x
4. SALA DE CONTROLE	Portas e Janelas	Acessos e ventilação da sala	Impedimento de acesso e ventilação	Quebra da estrutura, quebra de chaves	Aumento de temperatura, impedimento de acesso	2	Mal-uso de chave, falha na lubrificação das dobradiças	1	1	2	Inspeção visual	ANUAL						x
	Quadro Elétrico de BT	Distribuição de energia	Disjuntor geral aberto	Curto circuito	Sala de controle sem energia	6	Sobrecarga, falha nos apertos	8	8	384	Inspeção visual	TRIMESTRAL	x					
											Inspeção termográfica			x				
											Reaperto de conexões					x		
	Sistemas de Segurança	Armazenamento e transmissão de imagens e tratamento dos sinais dos sensores do parque.	Sistemas não funcionam	Acesso ás imagens de segurança negados, sensores não alarmam presença	Segurança do parque comprometida	10	Queda de energia, perda do servidor	3	6	180	Inspeção visual	SEMESTRAL					x	
											Teste de no break						x	
5. SPDA	Malha de Aterramento	Diminuir a resistência de terra	Aumento da resistência de terra	Rompimento de cabos	Superaquecimento em caso de queda de raio, dano a equipamentos	10	Corrosão, rompimento de cabos, hastes mal apertadas	3	7	210	Medição da resistência de aterramento	SEMESTRAL					x	
											Testes de continuidade						x	
											Reaperto de conexões						x	
	Captores	Captar descargas atmosféricas	Não condução da corrente de surto	Má conexão com o sistema de descida	Superaquecimento do sistema	10	Corrosão, folga no aperto das conexões	3	5	150	Inspeção visual	SEMESTRAL			x			
											Medição da resistência de aterramento						x	
											Reaperto de conexões						x	
	Descidas	Conduzir os surtos para terra	Rompimento de cabos	Alta resistência de aterramento	Superaquecimento do sistema, danos a equipamentos	10	Corrosão, danos físicos	4	5	200	Inspeção visual	SEMESTRAL					x	
											Medição da resistência de aterramento						x	
											Reaperto de conexões						x	
	Cercas	Itens destinados ao cercamento do terreno	Cercas com avarias, aberturas	Quebra, aberturas	Liberação de acesso ao parque	8	Quebra, vandalismo, corrosão	5	6	240	Inspeção visual	SEMESTRAL			x			
	Barreiras de Segurança	Barreiras eletrônicas para inibir a ação de invasores	Liberação de acesso	Quebra	Falha de segurança, acesso liberado às áreas dos painéis	7	Quebra, vandalismo	2	6	84	Inspeção visual	ANUAL			x			

Quadro 9 - Análise FMEA com indicação de periodicidade e procedimentos de manutenção

(conclusão)

ÁREA	EQUIPAMENTO	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DO MODO DE FALHA	SEVERIDADE (S)	CAUSAS DO MODO DE FALHA	OCORRÊNCIA (O)	DETECÇÃO (D)	RPN (S.O.D)	PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO	PRIODICIDADE SUGERIDA	PERIODICIDADE APLICADA					
													D	S	M	T	SE	A
											Teste de acionamento				x			
	Câmeras	Itens utilizados para vigilância do local	Não vigilância	Quebra, queima	Local sem imagens de segurança	7	Quebra, vandalismo	2	6	84	Inspeção visual	ANUAL			x			
											Inspeção de imagens				x			

Fonte: Produção do próprio autor.

APÊNDICE B – CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO

Quadro 10 - Cronograma de manutenção anual do Parque Solar *Sun Invest*

(continua)

| ÁREA | EQUIPAMENTO | PROCEDIMENTOS MANUTENÇÃO | FREQUÊNCIA | MÊS/SEMANA | | |

Quadro 10 – Cronograma de manutenção anual do Parque Solar *Sun Invest*

(continua)

ÁREA	EQUIPAMENTO	PROCEDIMENTOS MANUTENÇÃO	FREQUÊNCIA	CRONOGRAMA
				Janeiro: 1 2 3 4 5; Fevereiro: 6 7 8 9 10; Março: 11 12 13 14 15; Abril: 16 17 18 19 20; Maio: 21 22 23 24 25; Junho: 26 27 28 29 30; Julho: 31 32 33 34 35; Agosto: 36 37 38 39 40; Setembro: 41 42 43 44 45; Outubro: 46 47 48 49 50; Novembro: 51 52 53; Dezembro
		Medição da resistência de contatos	Anual	28 29 30 31
		Medição da resistência de isolamento	Anual	28 29 30 31
	Pára-raios	Inspeção visual	Mensal	5 10 14 18 22 25 28 30 33 37 41 45 49 53
		Limpeza	Anual	28 29 30 31
		Reaperto de conexões	Anual	28 29 30 31
2. SUBESTAÇÕES SECUNDÁRIAS	Transformador	Inspeção visual	Mensal	5 10 14 18 22 25 28 30 33 37 41 45 49 53
		Inspeção termográfica	Mensal	4 9 13 16 19 21 24 29 32 36 40 44 48 52
		Limpeza	Anual	28 29 30 31
		Reaperto de conexões	Anual	28 29 30 31
		Reposição de óleo	Anual	28 29 30 31
		Medição da relação do número de espiras	Anual	28 29 30 31
		Medição da resistência dos enrolamentos	Anual	28 29 30 31
		Medição da resistência de isolamento	Anual	28 29 30 31
	Quadro Geral de Baixa Tensão	Inspeção visual	Diário	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53
		Inspeção termográfica	Semanal	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53
		Reaperto de conexões	Trimestral	6 7 8 9 19 20 21 22 33 34 35 36 45 46 47 48
	Cabos de MT	Inspeção visual	Mensal	2 5 8 12 16 19 23 26 30 34 37 41 44 47 51
		Limpeza	Anual	14 15 16 17
		Reaperto de conexões	Anual	14 15 16 17
		Medição da resistência de isolamento	Anual	14 15 16 17
	Cabos de BT	Inspeção visual	Mensal	3 9 13 16 19 21 24 29 32 36 40 44 48 52
		Limpeza	Anual	14 15 16 17
		Reaperto de conexões	Anual	14 15 16 17
		Medição da resistência de isolamento	Anual	14 15 16 17
3. PAINÉIS SOLARES	Inversores	Limpeza	Semestral	16 17 18 19 45 46 47 48
		Status de funcionamento do sistema	Diário	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53
		Conexões dos cabos	Semestral	16 17 18 19 45 46 47 48
		Aterramento	Semestral	16 17 18 19 45 46 47 48
	Painéis Solares	Limpeza	Mensal	4 5 10 14 18 22 25 29 32 36 40 44 48 53
		Reaperto de conexões	Semestral	20 21 22 23 49 50 51 52
		Inspeção visual	Mensal	3 9 13 16 19 21 24 29 32 36 40 44 48 52
		Inspeção termográfica	Mensal	2 8 12 16 19 21 24 29 32 36 40 44 48 51
	Estrutura Metálica	Inspeção visual	Anual	11 12 13 14
		Reaperto de fixações	Anual	11 12 13 14
4. SALA DE CONTROLE	Portas e Janelas	Inspeção visual	Anual	38 39 40 41
	Quadro Elétrico de BT	Inspeção visual	Diário	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53
		Inspeção termográfica	Semanal	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53
		Reaperto de conexões	Trimestral	6 7 8 9 19 20 21 22 33 34 35 36 45 46 47 48

Quadro 10 – Cronograma de manutenção anual do Parque Solar *Sun Invest*

(conclusão)

| ÁREA | EQUIPAMENTO | PROCEDIMENTOS MANUTENÇÃO | FREQUÊNCIA | CRONOGRAMA | | |