

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

YAN GAIGHER GOUVÊA

**O USO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A
MELHORIA DA SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS *GRID-TIE***

VITÓRIA
2020

YAN GAIGHER GOUVÊA

**O USO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A MELHORIA DA
SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
*GRID-TIE***

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Yan Gaigher Gouvêa**, 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. Herbert Barbosa Carneiro

VITÓRIA
2020

YAN GAIGHER GOUVÊA

**O USO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A MELHORIA DA
SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
*GRID-TIE***

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Yan Gaigher Gouvêa**, 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 ____ de _____ de 2020.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Herbert Barbosa Carneiro
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Alessandro Mattedi
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Eng. M.Sc. Angelo Arpini Coutinho Filho
Empresa Luz e Força Santa Maria
Examinador

Aos meus avôs Aloysius e Iacir. Que estejam em paz.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida e por me prover saúde para a realização deste trabalho. Agradeço aos meus amigos pela amizade sem precedentes e apoio contínuo. À minha família, minha namorada e aos colegas do curso, que fizeram parte da minha caminhada e tornaram todo o processo mais agradável. A todos meus professores que me ensinaram desde a época do primário à minha graduação. Ao meu professor orientador pelo encaminhamento e assistência e ao professor Eng. Heliomar, pelas diversas reuniões de correção e sábios ensinamentos. E, em especial, gratidão aos meus pais, pelos anos de dedicação e atenção dispensadas para a minha educação, por serem meus primeiros professores e por forjarem meu caráter durante meu crescimento.

RESUMO

No presente texto, apresenta-se o projeto de graduação desenvolvido para integralização do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Neste trabalho, que foi embasado por uma ampla pesquisa bibliográfica, aborda-se o estudo de caso de um sistema fotovoltaico conectado à rede, conhecido como sistema *on-grid*. Este sistema, mostra-se mais economicamente viável e ambientalmente sustentável que o sistema fotovoltaico isolado, conhecido como sistema *off-grid*, já que não se faz necessário o uso de baterias. O último sistema citado encontra-se também em crescente expansão no Brasil, mas em menor taxa, principalmente por quesitos econômicos. Quando se trata da falta de segurança durante a instalação desses sistemas, seja por desconhecimento das normas, pela carência de profissionais treinados, ou até mesmo por negligência, acidentes graves de trabalho podem vir a ocorrer. Esta pesquisa, portanto, objetivou estudar aspectos relevantes detalhados da segurança do trabalho quanto à instalação de sistemas *off-grid* como forma de melhoria contínua da qualidade e seguridade em empresas integradoras de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR), fundamentada em ferramentas da qualidade e em normas técnicas brasileiras de trabalho com eletricidade e trabalho em altura, NR-10 e NR-35, respectivamente, aplicadas a um estudo de caso real com acompanhamento *in loco* de um SFVCR. Como resultado, levantaram-se possíveis causas para potenciais acidentes e não conformidades nessa atividade, buscando-se oferecer sugestões detalhadas de melhoria na segurança do processo e, como desfecho da solução, foi fornecido um plano de ação para o panorama proposto.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Segurança do trabalho. Energia renovável.

ABSTRACT

This text presents an academic project developed as a requirement to conclude the Electrical Engineering course at the Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). This work, which was based on extensive bibliographic research, based on the case study of a photovoltaic system connected to the grid, known as the on-grid system. This system is more economically viable and environmentally sustainable than the isolated photovoltaic system, known as the off-grid system, since the use of batteries is not necessary. The latter referred system is also expanding in Brazil, but at a lower rate, mainly for economic reasons. When it comes to the lack of security during the installation of these systems, whether due to ignorance of the rules, the lack of trained professionals, or even due to negligence, serious work accidents may occur. This research, therefore, aimed to study relevant detailed aspects of work safety regarding the installation of off-grid systems as a way of continuous improvement of quality and safety in companies that integrate photovoltaic systems connected to the network (SFVCR), based on quality tools and in Brazilian technical standards of work with electricity and work at height, NR-10 and NR-35, respectively, applied to a real case study with on-site monitoring of an SFVCR. As a result, possible causes were raised for potential accidents and non-conformities in this activity, seeking to offer detailed suggestions for improving the safety of the process and, as an outcome of the solution, an action plan for the proposed overview was provided.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Workplace safety. Renewable energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação simples de uma célula fotovoltaica de silício	20
Figura 2 – Representação dos conceitos de irradiação e irradiância	22
Figura 3 – Ciclo PDCA	27
Figura 4 – Ferramenta 5W1H.....	27
Figura 5 – Fluxograma para instalação de sistema fotovoltaico	28
Figura 6 – Diagrama básico de causa e efeito	29
Figura 7 – O choque elétrico	34
Figura 8 – Placas indicativas de cuidado para risco de choque elétrico considerando (a) manuseio apenas por pessoas habilitadas e (b) geração própria.....	35
Figura 9 – Arco elétrico.....	37
Figura 10 - Trabalhador em ato inseguro com risco de acidente.....	38
Figura 11 – Principais equipamentos de proteção para trabalho com energia solar.....	39
Figura 12 - Cinturão tipo paraquedista com vistas de regulagem (a) frontal e (b) dorsal	42
Figura 13 – Mapa do local de instalação do SFVCR	48
Figura 14 – Sequenciamento de processos gerais de instalação do SFVCR.....	50
Figura 15 – Estrutura para telhado cerâmico com vista (a) geral e (b) detalhada	51
Figura 16 – Estrutura para telhado metálico com vista (a) geral e (b) detalhada	51
Figura 17 – Estrutura para telhado de fibrocimento com vista (a) geral e (b) detalhada	52
Figura 18 – Sequência de processos específicos de instalação do SFVCR.....	53
Figura 19 – Diagrama unifilar do SFVCR.....	54
Figura 20 – Inversor de 50 kW	55
Figura 21 – Especificações do inversor CSI-50KTL-GI	57
Figura 22 – Potência de saída do inversor CSI-50KTL-GI por temperatura interna.....	58
Figura 23 – Acompanhamento da instalação.....	58
Figura 24 – Dia da ligação do SFVCR em Colatina - ES	60
Figura 25 – Diagrama de causa e efeito para SFVCR inseguro e disfuncional.....	61
Figura 26 – Diagrama de causa e efeito para operador que se acidenta durante instalação	61
Figura 27 - Ciclo PDCA para panorama proposto	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Volume de SFVCR em MW no Brasil entre 2012 e 2020	14
Gráfico 2 – Comparativo de acidentes de origem elétrica. Série Histórica 2013 - 2019	15

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Os efeitos da corrente elétrica no organismo humano.....	33
Quadro 2 – Aplicação das luvas de borracha de proteção contra choque elétrico	41
Quadro 3 – 5W1H para sistema fotovoltaico inseguro e disfuncional	64
Quadro 4 – 5W1H para operador que se acidenta durante instalação	65
Quadro 5 – Indicadores de acompanhamento.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5W1H	<i>What, When, Who, Where, Why, How</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
DDS	Diálogo Diário de Segurança
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surto
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FPS	Fator de Proteção Solar
MPPT	Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (do inglês <i>Maximum Power Point Tracking</i>)
MT	Ministério do Trabalho
NR-10	Norma Brasileira Regulamentadora 10
NR-35	Norma Brasileira Regulamentadora 35
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Act</i>
SESMT	Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFVI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
SST	Saúde e Segurança do Trabalho
STC	Condições de Teste Padrão (do inglês <i>Standard Test Conditions</i>)
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFV	Unidade Fotovoltaica
UV	Radiação Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

G	Irradiância solar instantânea (W/m^2)
I	Irradiação solar (Wh/m^2)
$i(t)$	Corrente instantânea no elemento (A)
N	Unidade de medida de força em Newtons (N)
$P(t)$	Potência de saída ao longo do tempo (W)
R	Valor da resistência do resistor (Ω)
t	Tempo (s)
T	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
$V_r(t)$	Tensão instantânea sobre o resistor (V)
W_p	Potência instantânea de pico (W)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA	17
3	OBJETIVOS	18
3.1	Objetivo Geral	18
3.2	Objetivos Específicos	18
4	EMBASAMENTO TEÓRICO	19
4.1	Energia	19
4.2	Energia Solar Fotovoltaica	19
4.2.1	Princípio de Funcionamento	20
4.3	Radiação Solar	21
4.3.1	Irradiância Solar	21
4.3.2	Irradiação Solar	22
4.4	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede ou SFVCR	22
4.4.1	Características dos Inversores Solares	23
4.4.2	Características dos Módulos Fotovoltaicos.....	24
4.4.3	Estruturas	25
4.4.4	<i>String Box</i>	25
4.5	Ferramentas da Qualidade na Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho	25
4.6	Ferramentas da Qualidade	26
4.6.1	Ciclo PDCA	26
4.6.2	Ferramenta 5W1H.....	27
4.6.3	Fluxograma de Processos	28
4.6.4	Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito.....	29
4.7	Técnicas para a Melhoria da Qualidade	30
4.7.1	Treinamento, Padronização e <i>Brainstorming</i>	30
5	SEGURANÇA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	31
5.1	Trabalho com Eletricidade: NR-10 e ABNT NBR 5410:2004	32
5.1.1	Perigo de Choque Elétrico	32
5.1.2	O Arco Elétrico	36
5.2	Riscos de Trabalho em Altura: NR-35 e ABNT NBR 16325:2014	37
5.3	Equipamentos de Proteção	39
5.3.1	Óculos de Proteção.....	40

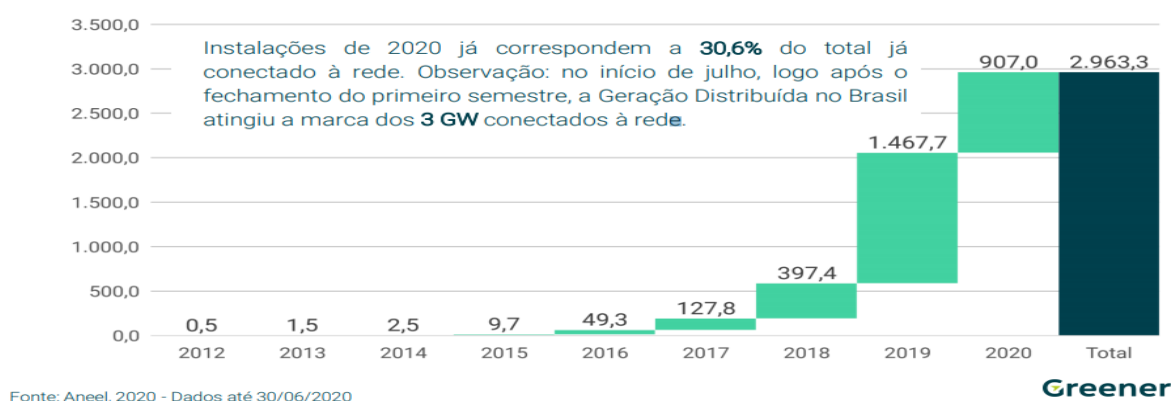
5.3.2	Protetor Solar	40
5.3.3	Bota de Borracha.....	40
5.3.4	Capacete com Jugular	41
5.3.5	Luvas.....	41
5.3.6	Cinturão Tipo Paraquedista.....	42
5.4	Aspectos Adicionais de Segurança.....	42
6	METODOLOGIA	46
7	DESENVOLVIMENTO	48
7.1	Classificação do Ambiente de Estudo.....	48
7.2	Sequenciamento dos Processos de Instalação.....	49
7.2.1	Como é Instalado o Sistema de Energia Fotovoltaica.....	49
7.2.2	Diagrama Unifilar e Componentes do SFVCR.....	53
7.3	Levantamento de Dados e Informações Específicas da Instalação.....	55
7.4	Acompanhamento da Instalação do SFVCR	58
7.5	Tratativas das Ocorrências	60
7.6	Soluções e Melhorias	63
8	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	GLOSSÁRIO	76

1 INTRODUÇÃO

Dispositivos e aparelhos eletroeletrônicos proporcionam bem-estar ao homem moderno, tornando-se improvável imaginar o mundo atual sem o uso da energia elétrica. Em face disso, o uso dessa energia tende a crescer proporcionalmente com a população. O uso da energia do sol de forma renovável é uma boa alternativa para substituir outras fontes, como a dos combustíveis fósseis, que são fontes não renováveis de energia. A preocupação quanto à segurança nas instalações fotovoltaicas não tem, entretanto, sido acompanhada na mesma proporção que a evolução desses sistemas. Para garantir uma segurança efetiva, é crucial demonstrar compromisso com as recomendações prescritas em normas, evitando não somente negligências, como também imprudências em quaisquer atividades laborais.

De acordo com Greener (2020), as instalações de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) em 2020 já correspondem a 30,6% do total já existente, sendo que, no início de julho, logo após o fechamento do primeiro semestre, a geração distribuída no Brasil atingiu a marca dos 3 GW desses sistemas instalados, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Volume de SFVCR em MW no Brasil entre 2012 e 2020



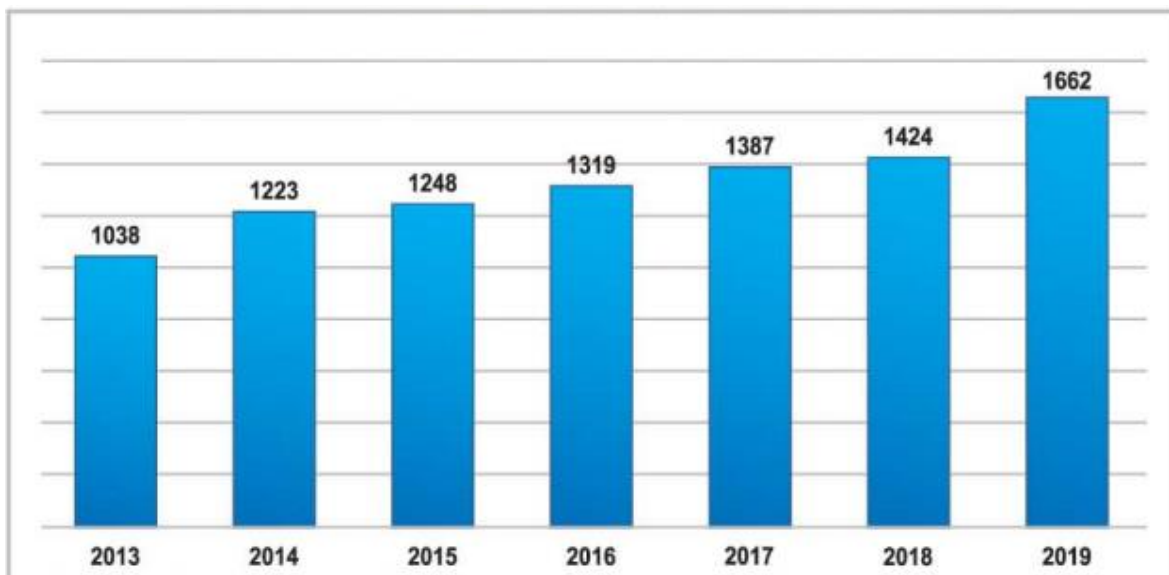
Fonte: Greener (2020).

Nota: Adaptado pelo autor.

Neste cenário, em contrapartida, segundo a Abracopel (2020) foram registrados 1662 acidentes de origem elétrica em 2019, com um incremento de 60% em relação a 2013, ano de início da pesquisa em estudo estratégico anual. Ademais, a série histórica de dados mostra

uma escalada crescente desses acidentes no país, ano após ano conforme pode ser visualizado a partir do Gráfico 2.

Gráfico 2 – Comparativo de acidentes de origem elétrica. Série Histórica 2013 - 2019



Fonte: Abracopel (2020).

Nota: Ano base - 2019.

Embora não tendo sido possível obter estatísticas sobre acidentes na área de instalações fotovoltaicas, é certa a sua contribuição para os acidentes anteriormente citados. Portanto, ainda que exista hoje no País um número cada vez mais expressivo de projetos relevantes com SFVCR, há uma urgente preocupação com o conhecimento acerca da seguridade nesse campo, que pode ser mais bem difundido. Além do risco frequente de choque elétrico por correntes contínuas e alternadas, há o risco laboral em altura do trabalhador, como em instalação em telhados, edifícios e outras estruturas elevadas.

A geração de energia fotovoltaica se revela uma fonte alternativa e limpa com crescente relevância na atualidade, mas que demanda atenção especial à segurança, de forma a não resultar em danos e até mesmo no falecimento do trabalhador, caso certas precauções não sejam tomadas e medidas essenciais não sejam cumpridas. Saber manipular altas correntes contínuas e lidar com seus consequentes riscos são cautelas muitas vezes desconhecidas ou ainda negligenciadas pelo instalador fotovoltaico.

Dessa forma, a abordagem dos perigos provenientes em instalações de SFVCR, seus perigos e consequentes ameaças à vida por choque elétrico e/ou trabalho em altura serão abordadas detalhadamente, em conformidade com as normas regulamentadoras associadas às circunstâncias reais de exposição em um ambiente de trabalho, a partir do desenvolvimento de um estudo de caso de um SFVCR instalado em uma unidade consumidora (UC).

2 JUSTIFICATIVA

Conforme o Portal Solar (2016), uma das primeiras utilizações de painéis solares ocorreu em 1958 no espaço, quando o satélite Vanguard I foi lançado com o auxílio de um painel solar de 1 Wp para alimentar seu rádio na viagem. Desde então, a energia fotovoltaica e suas aplicações ainda são consideradas tecnologias recentes em comparação às outras fontes de energia utilizadas pelo homem ao longo do tempo. Nesse contexto, observa-se hoje um alavancado crescimento de microempresas integradoras de projetos e instalação de sistemas fotovoltaicos *on-grid*, acompanhado da necessidade de qualificação dos profissionais de execução dessas empresas nas normas regulamentadoras (NRs), a saber, NR-10 (segurança em instalações e serviços em eletricidade) e NR-35 (trabalho em altura) e ABNT NBR 16690:2019 (instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - requisitos de projetos), fundamentais para este ambiente de trabalho específico. O Portal Solar supracitado é um portal de conteúdo que trata de assuntos relativos à energia solar, com artigos, notícias e os portfólios de empresas distribuidoras e integradoras de energia solar fotovoltaica.

A justificativa do presente estudo, portanto, gira em torno da busca pela otimização da segurança e a melhoria contínua em instalações fotovoltaicas *grid-tie* por meio de ferramentas de qualidade na gestão da segurança e saúde do trabalho (SST), com enfoque na importância da adoção e adequação às normas regulamentadoras citadas, visando garantir a qualidade e a integridade do trabalhador e do sistema fotovoltaico, respectivamente.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo central do presente projeto de graduação foi desenvolver um plano de ação de melhoria contínua visando a segurança dos processos de instalação de um SFVCR por meio de um estudo de caso. Para isso, foram utilizadas ferramentas da qualidade aplicadas à gestão da segurança e saúde do trabalho (SST), em respeito às normas regulamentadoras (NRs) NR-10 e NR-35, além da ABNT NBR 16690:2019, buscando-se nessa proposta alcançar possíveis soluções que otimizem o processo e garantam a segurança, embasadas em ferramentas, técnicas e indicadores disponíveis na literatura.

3.2 Objetivos Específicos

- Obter aspectos relevantes à segurança do trabalho em instalações de SFVCR a partir das normas regulamentadoras (NRs) NR-10 e NR-35, além da ABNT NBR 16690:2019;
- Observar e registrar os principais gargalos na segurança durante estudo de caso no processo de instalação do SFVCR em execução após avaliar as ferramentas da qualidade a serem implementadas neste projeto, bem como suas relações com a segurança do trabalho envolvida na montagem;
- Avaliar a qualidade das análises realizadas e propor um plano de ação baseado nas ferramentas da qualidade escolhidas, técnicas e indicadores adequados.

4 EMBASAMENTO TEÓRICO

Esta seção irá apresentar a base teórica a ser utilizada na elaboração do trabalho. Nela, serão expostas as definições gerais de energia fotovoltaica, componentes essenciais de um SFVCR e seu princípio de funcionamento, as principais ferramentas da qualidade na gestão da SST e a segurança em sistemas fotovoltaicos.

4.1 Energia

Para Radovic (2006) é considerada uma propriedade da matéria que pode ser convertida diretamente em trabalho (movimento), em calor ou radiação. Energia, do grego *εργον*, significa trabalho, ao passo que, a partir do calor ou trabalho pode se produzir energia (eletricidade). Consoante com Villalva (2015), a fonte elementar de energia para um sistema fotovoltaico será o sol, que é a fonte fundamental de energia do planeta Terra.

4.2 Energia Solar Fotovoltaica

Por conta dos aumentos nos valores das bandeiras tarifárias (ou acionamento de bandeira) a partir dos reajustes de tarifas aprovados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), geralmente motivados pela necessidade do uso de termoelétricas, que além de custar mais caro são poluentes, a energia solar se mostra uma ótima alternativa para reduzir a conta de energia e também ao meio ambiente, por ser uma fonte de energia limpa e duradoura. Conforme Araújo (2020), um sistema fotovoltaico bem dimensionado pode reduzir os gastos com eletricidade dos consumidores em até 95%.

A nomenclatura utilizada ao longo deste estudo contempla a norma ABNT NBR 10899:2020 (energia solar fotovoltaica - terminologia), sendo a referência para padronização dos termos que englobam a energia solar fotovoltaica. Em conformidade com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006), dispõe-se das definições de alguns termos:

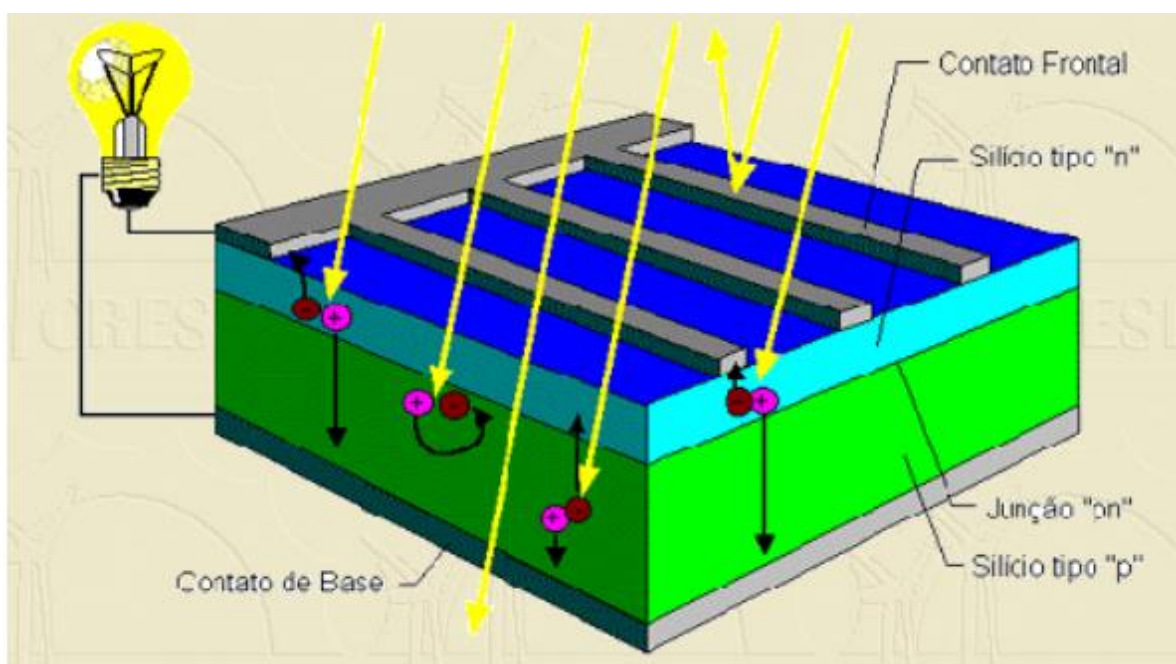
- Célula solar ou célula fotovoltaica: dispositivo desenvolvido especificamente para realizar a conversão direta da energia da luz solar em energia elétrica;

- Módulo fotovoltaico: unidade encapsulada, formada por um conjunto de células solares, eletricamente interligadas. Fornece energia elétrica em corrente contínua (CC);
- Painel fotovoltaico: associação de módulos fotovoltaicos interligados eletricamente em uma única estrutura;

4.2.1 Princípio de Funcionamento

O fundamento para a geração de energia solar fotovoltaica reside na utilização de elementos semicondutores fotossensíveis, em especial o silício e o germânio que transformam a radiação solar (a luz do espectro visível - fótons) em uma diferença de potencial na junção P-N. Ao incidirem sobre uma única célula de junção PN uma camada de silício dopado com material P (boro), e outra camada de silício dopado com material N (fósforo), os fótons causam um deslocamento de elétrons, gerando uma tensão de 0,6 a 0,7 volts entre a camada P e a camada N, conforme a Figura 1. Como forma de aumentar a tensão e corrente, as células são ligadas num arranjo série-paralelo, formando um único módulo fotovoltaico. Estes módulos, por sua vez, podem ser ligados em associações série-paralelo constituindo um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica.

Figura 1 – Representação simples de uma célula fotovoltaica de silício



Fonte: Fontes (2020).

4.3 Radiação Solar

Conforme Villalva (2015), o valor instantâneo da radiação solar que chega à superfície da Terra é medido por radiômetros (equipamentos que medem a irradiância) e tem equivalente aproximado de 1353 W/m^2 . Medições mais recentes encontraram valores ligeiramente maiores. O percentual desta energia que será convertida em eletricidade, considerando-se as perdas por absorção e reflexão da atmosfera é a eficiência do módulo fotovoltaico.

Conforme o Portal Solar (2019b), dos painéis de silício cristalino, os mais usados são o monocristalino e o policristalino. Os painéis solares de silício monocristalino são mais caros do que os policristalinos, contudo, são mais eficientes. Considerando os dois tipos de módulos citados, os valores de eficiência média oscilam de 14 a 21,4% na conversão da energia do sol em eletricidade.

Com o intuito de um maior aproveitamento da energia proveniente do sol, de acordo com Urbanetz Junior (2010), a fim de potencializar o rendimento do sistema fotovoltaico, os módulos fotovoltaicos em SFVCR necessitam estar direcionados para o norte geográfico, e idealmente com a inclinação equivalente à latitude nas localidades situadas no hemisfério sul.

4.3.1 Irradiância Solar

A irradiância, representada pela letra G , é o valor instantâneo da radiação solar, mensurada em Watt por metro quadrado (W/m^2). A irradiância pode ser medida pelos seguintes instrumentos:

- Piranômetro: Villalva (2015) aponta ser um instrumento que apresenta uma redoma de vidro que recebe luz do sol de múltiplas direções, concentrando no sensor de silício em seu interior. Este equipamento, portanto, mede a irradiância global, em W/m^2 .
- Pireliômetro: instrumento que possui um tubo estreito, de modo que somente a luz direta do sol, em linha reta, possa alcançar o sensor. Utilizado para medir a irradiância direta de uma superfície.

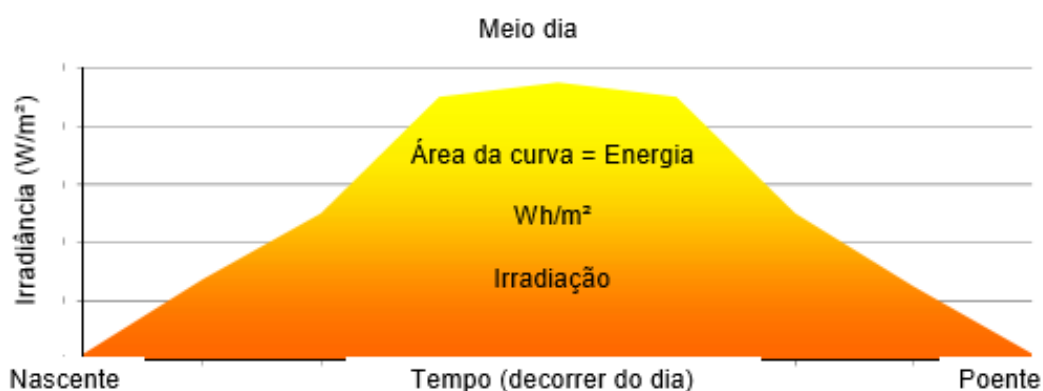
4.3.2 Irradiação Solar

De acordo com Tiepolo (2015), a irradiação solar é um meio de transferência de energia proveniente do sol através de fótons ou ondas eletromagnéticas.

Conforme Villalva (2015), a irradiação solar é definida como a irradiância gerada pelo Sol, assimilada ao longo de um período de tempo e, usualmente, este intervalo corresponde a uma hora (representada pela letra q) ou de um dia (simbolizado pela letra H).

As definições de irradiação e irradiância são ilustradas conforme a Figura 2. A irradiância mede a potência instantânea da radiação solar, enquanto a irradiação mede a energia da radiação solar, em Watt-hora por metro quadrado (Wh/m²).

Figura 2 – Representação dos conceitos de irradiação e irradiância



Fonte: Villalva (2015).

Nota: Adaptado pelo autor.

4.4 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede ou SFVCR

O uso da energia proveniente do módulo solar fotovoltaico ou da associação dos painéis pode ser um sistema:

- Isolado – para atender somente a demanda local, se fazendo necessário o uso de baterias para armazenar a energia gerada – sistema fotovoltaico isolado (SFVI);
- Distribuído – é, conforme Villalva (2015), um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR), tendo a saída do inversor ligada à rede elétrica sem utilizar-se de baterias, sistema fotovoltaico este que opera paralelamente à rede, restringindo e eliminando o

consumo pela rede pública, sendo capaz até mesmo de gerar excedente de energia elétrica.

Para um SFVCR, a UC deve optar por dispor de um medidor de energia bidirecional, para medição da energia consumida, tanto quando houver superávit quanto déficit e assim permitindo o cálculo da energia líquida pela concessionária de energia elétrica. Isto não é possível de ser feito se um medidor de energia convencional for usado, uma vez que somente a energia fornecida pela concessionária é computada, com evidente prejuízo da UC.

O inversor solar, segundo Rüter (2004), é um tipo de inversor específico para aplicações em geração de energia solar fotovoltaica e converte a energia gerada pelos painéis solares, em corrente contínua (CC), em corrente alternada (CA) na tensão e frequência da rede da distribuidora de energia, com formato senoidal e baixa taxa de harmônicos. É considerado como equipamento fundamental, responsável pelo gerenciamento e proteção do sistema fotovoltaico.

4.4.1 Características dos Inversores Solares

A seguir, dispõem-se as principais características deste tipo de inversor:

- Rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT, do inglês *maximum power point tracking*): é um algoritmo incluído no inversor solar para extrair o ponto de máxima potência disponível gerada por cada *string*;
Um *string* (do inglês fileira) é constituído por um conjunto de módulos ligados em série de forma a obter-se a tensão desejada no inversor;
- Tensão em corrente contínua (CC) máxima de entrada: valor máximo de tensão contínua de entrada admissível no inversor, sendo a máxima gerada pela associação dos módulos fotovoltaicos em um painel;
- Corrente contínua máxima de entrada: corrente máxima suportada pelo inversor;
- Número total de entradas: o máximo de *strings* que se conectam na entrada de um inversor, de forma a elevar a potência do sistema, devido ao aumento da corrente disponível. Normalmente, os inversores possuem entradas para até quatro *strings*;
- Tensão em corrente alternada (CA): medida na saída do inversor para injeção na rede elétrica. Deve ser compatível com a tensão da rede elétrica local, sendo esta já

configurada para o inversor (usualmente têm-se inversores trifásicos de 220 V, 380 V, 400 V e até 600 V em suas saídas);

- Eficiência ou rendimento: representa a relação percentual da conversão útil da energia CC em energia CA, levando em conta as perdas na conversão. Bons inversores costumam dispor de eficiência acima de 95%;
- Potência de pico CC: é a máxima potência admissível pelo inversor, considerando a contribuição de todos os módulos por *string*;
- Anti-ilhamento: é, conforme Villalva (2015), um artifício necessário para proteção de instalações e pessoas, que reside no desligamento do inversor caso a energia cesse na rede da concessionária de energia elétrica. Carecer deste método irá energizar indevidamente a rede elétrica à qual o sistema está conectado, representando um risco para as pessoas que realizam sua manutenção ou a outros equipamentos ligados à mesma rede. Vale notar que neste período, a geração excedente para compensação a qual seria injetada na rede é perdida, sendo a segurança, contudo, a mais importante;
- Medição de energia gerada: é um atributo que, conforme informado pelo Portal Solar (2018), certos modelos de inversores possuem e medem a quantidade de energia gerada pelos painéis solares, sendo uma informação de grande utilidade.

4.4.2 Características dos Módulos Fotovoltaicos

A seguir, dispõem-se as principais características dos módulos fotovoltaicos:

- Corrente de curto-circuito: representa a corrente máxima que o módulo é capaz de produzir, simbolizada por I_{sc} ;
- Tensão de circuito aberto: definida como V_{oc} , é a tensão que o módulo produz com seus terminais desconectados. Serve como base para o dimensionamento dos *strings*;
- Potência nominal: máxima potência produzida pelo painel fotovoltaico, nas condições de teste padrão (STC, do inglês *standard test conditions*);
- Eficiência do módulo: percentual útil de conversão da radiação solar no padrão de teste (STC: 1000 W/m²) em energia elétrica contínua, considerando a área do módulo fotovoltaico;
- Corrente nominal: é o valor da corrente entregue pelo módulo a uma carga em máxima potência, sob determinadas condições de radiação e temperatura.

4.4.3 Estruturas

Na concepção de Rüther (2004), a estrutura do sistema fotovoltaico precisa sustentar o peso do módulo, levar em consideração a ação dos ventos e as variações de temperatura. Geralmente é utilizado alumínio ou aço galvanizado para a estrutura de suporte.

4.4.4 *String Box*

De acordo com Vinturini (2019), a caixa de junção (do inglês *string box*) é o equipamento de proteção para a parte CC do sistema fotovoltaico. Ela conecta os cabos que vêm dos módulos fotovoltaicos ao inversor, enquanto fornece proteção contra sobretensão e sobrecorrente e permite o seccionamento do circuito. Os elementos básicos de uma *string box* são:

- Invólucro: onde serão alocados os dispositivos de proteção e as conexões elétricas;
- Dispositivo seccionador: podendo ser implementado com chave seccionadora ou disjuntor;
- DPS: dispositivo de proteção contra sobretensão;
- Dispositivo de proteção contra sobrecorrente: disjuntor ou fusível;

4.5 Ferramentas da Qualidade na Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho

Empresas integradoras de energia fotovoltaica podem ter resultados negativos em qualquer etapa dos seus processos de instalação, sejam eles de origem operacional ou administrativa, por falhas de equipamentos ou erro humano, resultando em paradas de produção, atrasos na entrega de um produto ou serviço, acidentes pessoais, danos ambientais e, conseqüentemente, prejuízos financeiros.

Usadas majoritariamente como um recurso de gestão estratégica, as ferramentas da qualidade são utilizadas com frequência no mundo corporativo. Auxiliam na análise para a prevenção e resolução de efeitos indesejáveis, de modo a garantir o curso dos processos tendo como princípios identificar, corrigir, investigar, eliminar e até minimizar desvios.

Com a necessidade de acompanhar resultados, as organizações dispõem das ferramentas da qualidade de forma notável para suporte à gestão da SST.

As ferramentas da qualidade servem, portanto, como suporte para a gerência da SST, principalmente na análise e correção de falhas, como elemento propulsor de melhorias contínuas, além de serem instrumentos de implementação descomplicada. A seguir, tem-se o desdobramento das referidas ferramentas e suas prestabilidades.

4.6 Ferramentas da Qualidade

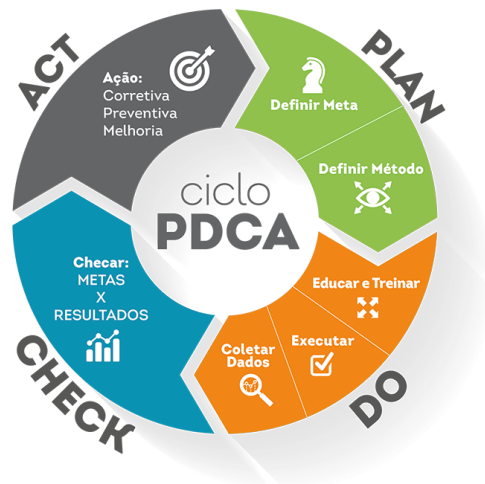
Com enfoque na melhoria contínua, sequenciamento e gestão da qualidade de processos, identificação das causas-raízes de problemas de segurança e criação de um plano de ação foram escolhidas e elencadas a seguir, as ferramentas consideradas mais adequadas aos objetivos definidos no escopo deste projeto.

4.6.1 Ciclo PDCA

O processo de melhoria contínua tem como um dos fundamentos uma ferramenta simples e poderosa, que é o ciclo PDCA (do inglês *plan, do, check and act*), que significa, conforme Figura 3:

- *Plan* (planejar): estabelecer os objetivos para o processo em foco e identificar as mudanças necessárias para alcançar os objetivos;
- *Do* (fazer): implementar as mudanças;
- *Check* (checar): avaliar se e como o plano executado produziu os resultados esperados;
- *Act* (agir): corrigir desvios, se necessário, estabilizar resultados e padronizar as melhorias para mantê-las ou iniciar novo ciclo.

Figura 3 – Ciclo PDCA



Fonte: Andrade (2017).

4.6.2 Ferramenta 5W1H

O 5W1H é uma ferramenta da gestão da qualidade que une 6 diretrizes importantes que permitem organizar melhor um plano de ação a ser definido, bem como a maneira de executá-lo, quais sejam: *what* (o quê?), *when* (quando?), *who* (quem?), *where* (onde?), *why* (por quê?) e *how* (como?). A Figura 4 mostra, em formato de diagrama, as questões que compõem essa ferramenta.

Figura 4 – Ferramenta 5W1H



Fonte: Pinto (2018).

4.6.3 Fluxograma de Processos

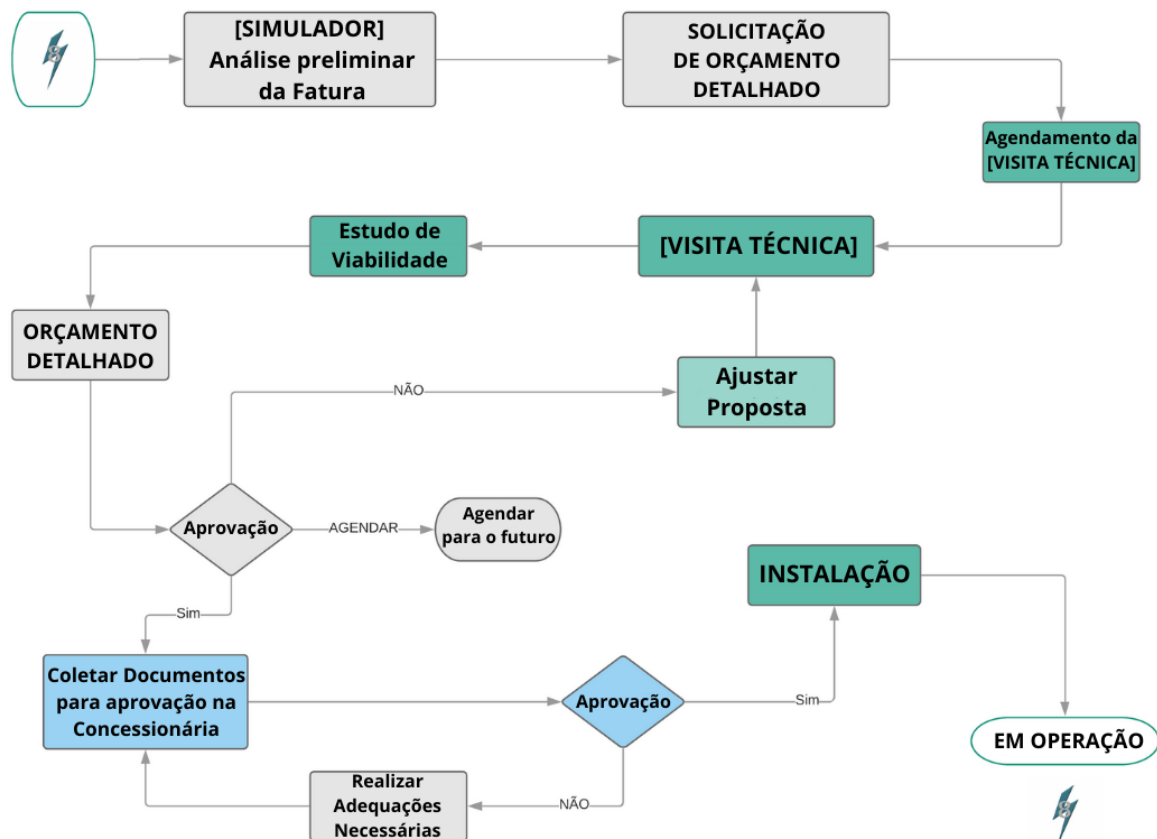
O fluxograma de processos é uma representação gráfica que descreve os passos e etapas sequenciais de um determinado processo.

As principais funções deste fluxograma são:

- Melhoria e compreensão dos processos e como eles estão interligados;
- Como são as atividades e rotinas de trabalho desenvolvidas na empresa;
- Identificação de problemas, gargalos, desperdícios e retrabalhos.

Conforme disposto pela Figura 5, o fluxograma da análise de pré-instalação de um sistema fotovoltaico, desde a simulação de análise preliminar da fatura de energia elétrica do cliente, até a finalização do sistema de geração.

Figura 5 – Fluxograma para instalação de sistema fotovoltaico



Fonte: S8 Energia Solar (2019).

Nota: Adaptado pelo autor.

4.6.4 Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de espinha de peixe, é uma ferramenta da qualidade que objetiva levantar as causas-raízes de um problema, examinando todos os fatores que envolvem a execução do processo. Na metodologia dessa ferramenta, todo problema estudado possui causas específicas e estas devem ser analisadas, testadas uma a uma, a fim de comprovar qual delas está realmente causando o efeito ou o problema que se visa eliminar.

É possível aplicar o Diagrama de Ishikawa a diversos contextos e de diferentes maneiras e, neste trabalho, esta ferramenta será usada para gerar melhorias no processo de instalação de SFVCR.

Um diagrama básico de espinha de peixe está disposto conforme a Figura 6, conhecido assim por conta da sua configuração perceptível na imagem.

Figura 6 – Diagrama básico de causa e efeito



Fonte: Firmino (2018).

Nota: Adaptado pelo autor.

4.7 Técnicas para a Melhoria da Qualidade

A seguir, apresentam-se brevemente algumas técnicas importantes empregadas na gestão interna de empresas para a melhoria da qualidade, onde se farão presentes e complementarão o plano de ação proposto.

4.7.1 Treinamento, Padronização e *Brainstorming*

O treinamento, segundo Chiavenato (2004) objetiva ampliar a efetividade nas atividades regularmente realizadas. Nesta visão, investir em formação e capacitação adequadas, certamente trará mais produtividade e segurança nos processos de instalação.

Segundo os preceitos de Campos (2004), para se padronizar a equipe precisa dialogar sobre as técnicas vigentes, assimilar e focar na contenção das atuais falhas. Após isso, capacitações internas e externas consolidarão novas práticas mais seguras e eficientes.

Em conformidade aos conceitos de Godoy (2001), o *brainstorming* faz uso da criatividade compartilhada em equipe para facilitar a visualização das principais causas dos problemas na empresa e suas possíveis soluções.

5 SEGURANÇA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A segurança do trabalho está diretamente relacionada à prevenção de algum acontecimento, em geral, indesejado, como os acidentes.

Em relação aos acidentes de trabalho, há dois conceitos importantes a serem analisados: o risco e o perigo. Em consonância com a Secretaria de Inspeção do Trabalho (2019), compreende-se como risco a origem ou ocasião que pode provocar contusão, enfermidade, danificação ao local de trabalho ou ao trabalhador pela falta ou negligência dos procedimentos corretos. Concebe-se como perigo a probabilidade de acarretar um acidente em virtude da exposição à ameaça. Nessa visão, os acidentes ocorrem por meio de condições ou atividades inseguras. Durante o ato inseguro, o trabalhador não toma as devidas precauções e realiza os trabalhos de maneira discordante das normas de segurança, não traça de forma adequada conforme a Norma Regulamentadora 06 (NR-6) os equipamentos de proteção individual (EPIs), ou estes se encontram em mau estado de preservação.

No âmbito dos SFVCR, há duas ameaças predominantes, nas quais os instaladores costumam sofrer constante exposição: uma é o trabalho em altura, de acordo com a Norma Regulamentadora 35 (NR-35), em virtude do risco de queda, onde o trabalhador pode se despencar do telhado ou da estrutura de fixação em que os painéis fotovoltaicos serão acoplados. A outra é o trabalho com eletricidade, em conformidade com a Norma Regulamentadora 10 (NR-10) por conta do perigo iminente de choque elétrico, uma vez que mesmo desconectados, os módulos produzem tensão elétrica ao receberem a luz solar.

De acordo com Kurata (2016), contemplam-se demais riscos, não menos importantes, como, por exemplo, potenciais ataques de animais e insetos peçonhentos, tais quais: aranhas, escorpiões e abelhas, o risco de insolação, por meio de excessiva exposição desprotegida ao sol, e riscos ergonômicos, pela Norma Regulamentadora 17 (NR-17), quando há postura inadequada do trabalhador durante uma atividade ou também por excesso de carga de trabalho.

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), as normas, quando respeitadas, colaboram para produzir serviços prestados com mais eficiência, segurança e organização, pretendendo também zelar por seus utilizadores.

5.1 Trabalho com Eletricidade: NR-10 e ABNT NBR 5410:2004

Condições mínimas que garantam a segurança e saúde dos trabalhadores e que interajam com serviços que envolvam eletricidade são estabelecidas pela Norma Regulamentadora 10 (NR-10), de forma direta ou indireta.

Segundo o Ministério do Trabalho (2016a), a norma se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica, abrangendo nestas etapas o projeto, a montagem, a operação e manutenção das instalações elétricas nas adjacências.

Para Santos (2012), a NR-10 estabelece condições gerais de segurança para as instalações elétricas, estas de caráter compulsório, porém, a depender do ambiente de utilização, normas extras e suplementares são cabíveis de aplicação, a exemplo de documentos voluntários, tal qual a ABNT NBR 5410:2004, proferida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), que se refere às instalações elétricas de baixa tensão (até 1000 V) e a ABNT NBR 14039:2005, que aborda as instalações elétricas de média tensão (1 kV até 36,2 kV).

Na concepção de Lourenço (2010), quaisquer tarefas do setor elétrico que exijam assistência ou manutenção devem dar prioridade às atividades com circuitos desenergizados, de acordo com as recomendações da NR-10. Dessa forma, determinadas cautelas são necessárias a fim de evitar uma reenergização imprevisível do circuito e trabalhos em situações climáticas desfavoráveis, com possível risco de incidência de descargas atmosféricas.

5.1.1 Perigo de Choque Elétrico

O choque elétrico é o fenômeno decorrente do efeito da circulação da corrente elétrica pelo corpo humano, por meio da diferença de potencial (ddp) entre o corpo e o componente

condutor energizado/carregado. Isto é, em determinadas circunstâncias, o corpo humano pode se tornar um condutor elétrico.

Segundo Bortoluzzi (2009), a eletricidade é um fenômeno físico originado por cargas elétricas e em ambientes de trabalho com eletricidade há pontos energizados com bons condutores (de baixa resistência elétrica) e, sabe-se que bons condutores permitem a passagem de elétrons com mais facilidade, logo, tem-se a todo o momento um cenário propício para acidentes graves envolvendo choques elétricos. Conforme Viana (2018), o valor mínimo de corrente perceptível a um ser humano é 1 mA e o valor compreendido entre 10 mA e 3 A pode ser fatal.

Conforme Kurata (2016) e Santos (2013), quão menor for a resistência do corpo humano em relação à terra, como, por exemplo, estar descalço, em um piso molhado, não dispor de luvas isolantes e/ou EPIs, ou até mesmo das próprias condições orgânicas do indivíduo e maior for a diferença de potencial (tensão), maior será a intensidade da corrente elétrica em Ampère (A) ou pelo submúltiplo mili-Ampère (mA) e, conseqüentemente, mais intenso será o choque elétrico, sendo capaz de gerar pequenos formigamentos e, dependendo da intensidade, até fibrilação ventricular, paradas cardíacas, queimaduras de 3º grau e óbito.

Os principais fatores que influenciam em um choque elétrico são dispostos a seguir:

- A intensidade da corrente elétrica: a depender da corrente elétrica que circular pelo corpo, pode haver distintas sequelas, conforme disposto pelo Quadro 1;

Quadro 1 – Os efeitos da corrente elétrica no organismo humano

Intensidade da corrente (mili-Ampères)	Efeito causado ao corpo humano
0,1 a 1 mA	Limiar da sensação perceptível
1 a 5 mA	Sensação de leve formigamento
10 a 20 mA	Forte formigamento, tetanização e dor
20 a 30 mA	Paralisia muscular
30 a 50 mA	Dificuldade de respirar / Parada respiratória
50 a 100 mA	Fibrilação, parada cardíaca
Acima de 100 mA	Queimaduras severas
Acima de 200 mA	Em geral, morte do indivíduo

Fonte: Kurata (2016) e Santos (2012).

Nota: Adaptado pelo autor.

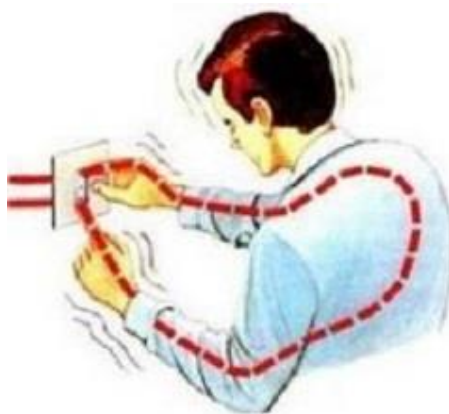
- O trajeto da corrente elétrica: quanto maior for o caminho da corrente elétrica, e se órgãos vitais estiverem em seu percurso, maiores serão as lesões e os riscos de morte;
- A duração da corrente elétrica: quanto mais tempo determinada região do organismo estiver exposta à corrente elétrica, maior será a severidade da lesão, de acordo com a intensidade da corrente correspondente;
- Frequência da corrente elétrica: conforme Santos (2013), as correntes alternadas em frequências entre 20 e 100 Hz são as que oferecem maior risco, especialmente a de 60 Hz por situar-se na frequência onde a fibrilação ventricular é maior.

Os choques elétricos podem ser classificados como:

- Choques dinâmicos: ocorrem ao tocar-se nas partes energizadas de uma rede elétrica (seções vivas de condutores energizados ou por falha no isolamento da instalação ou equipamento, provocando uma tensão de contato perigosa);
- Choques estáticos: provocados por descargas de capacitores ou eletrostáticas (comum a inúmeros materiais e equipamentos).

Conforme exemplificado pela Figura 7, o choque elétrico consequente da negligência do uso de luvas isolantes, além de o indivíduo unir as duas mãos ao ponto energizado, facilitando assim a corrente elétrica realizar um percurso extremamente perigoso e muitas vezes letal ao ser humano (quando o coração ou outros órgãos vitais fazem parte do caminho mais curto para a passagem da corrente elétrica).

Figura 7 – O choque elétrico



Fonte: Portal Eletricista (2014).

Nota: Adaptado pelo autor.

Nas atividades realizadas em sistemas fotovoltaicos, o perigo de choque elétrico se mostra presente por meio da chance de ocorrência de tensão nos terminais dos painéis fotovoltaicos, no decorrer da conexão entre os módulos sob a incidência da luz solar. Módulos mais modernos, contudo, contam com isolamento em suas molduras e detêm baixa tensão de saída (aproximadamente até 24 V), mas o risco de uma tensão superior se intensifica na conexão de um ou mais *strings*, onde a interconexão pode atingir 600 V ou mais.

Segundo o Centro de Pesquisa de Energia Elétrica e Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (2014), um simples erro de conexão, seja por descuido ou desconhecimento, pode também expor pessoas a uma alta periculosidade. Nessa visão, conforme as placas indicadas pela Figura 8, faz-se necessária a restrição do acesso de pessoas à área de trabalho por conta do risco de choque elétrico. A sinalização completa do acesso a ambientes com equipamentos de potência garante, portanto, organização e segurança contra choques elétricos. É importante ressaltar que as figuras supracitadas são do *layout* de placas de aviso para geração própria de energia. Estas deverão ser fornecidas pela empresa distribuidora de equipamentos fotovoltaicos e estar afixadas de forma visível no padrão de medição da UC.

Figura 8 – Placas indicativas de cuidado para risco de choque elétrico considerando (a) manuseio apenas por pessoas habilitadas e (b) geração própria



(a)

(b)

Fonte: Produção do próprio autor.

Antes de se iniciar qualquer trabalho, o instalador fotovoltaico tem de:

- Cobrir os módulos fotovoltaicos durante as conexões;
- Usar roupas e EPIs adequados ao serviço, de preferência conforme as recomendações da Norma Regulamentadora 6 (NR-6);
- Remover adereços metálicos do corpo, tais como anéis, correntes ou relógios;

- Usar ferramentas e aparelhos de medição adequados às faixas de tensão dos equipamentos, e em bom estado de conservação;
- Conforme Kurata (2016), o instalador deve estar acompanhado de alguém que possa auxiliá-lo no trabalho realizado e, em caso de acidentes, ampará-lo e socorrê-lo.

5.1.2 O Arco Elétrico

O arco elétrico é um episódio onde a corrente elétrica rompe a barreira dielétrica de um meio isolante, envolvendo partes condutoras que não estão em contato direto. Para Barros (2010), geralmente são de breve duração, convertem energia elétrica em energia luminosa, acústica e térmica. Conforme Lourenço (2010), o impacto das ondas térmicas nas proximidades do arco, pode causar sérias queimaduras, porque a temperatura de um arco elétrico se encontra entre 2000°C e 6000°C.

A principal aplicação do arco elétrico é com o uso em soldas por meio de eletrodos. Todavia, quando se trata de instalações elétricas, os arcos são inoportunos e prejudiciais, uma vez que geram a degradação das partes condutoras que antes se encontravam separadas pelo dielétrico.

Algumas razões pelas quais os arcos podem ocorrer:

- O dielétrico não possui isolamento adequado para o grau de tensão do circuito, ou está deteriorado, exposto assim o condutor, normalmente metálico.
- Descargas elétricas atmosféricas (raios): a corrente elétrica vence o dielétrico (ar) ao encontrar um condutor metálico na superfície terrestre. As consequências para este tipo de arco elétrico vão além de um simples choque elétrico, podendo destruir por completo a estrutura que serviu como condutor, bem como as proximidades. Geralmente, os painéis fotovoltaicos estão suscetíveis a este evento, pois se encontram no alto das edificações e possuem material condutor na sua construção (moldura dos módulos e estruturas de fixação). Neste caso, a edificação deve ser provida de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) conforme a norma brasileira ABNT NBR 5419:2018, que aborda este assunto. Conforme Lourenço (2010), o aterramento do SPDA é realizado à parte do sistema de aterramento da edificação.

Como pode ser visto na Figura 9, há dois condutores expostos ao efeito do arco elétrico. Os arcos podem ser concebidos por meio de uma alta tensão entre os condutores, rompendo assim o dielétrico que neste caso é o ar, ou na iminência pós-desconexão (desligamento) dos condutores carregados em circuito fechado, com presença de corrente elétrica circulante.

Figura 9 – Arco elétrico



Fonte: Amorim (2015).

5.2 Riscos de Trabalho em Altura: NR-35 e ABNT NBR 16325:2014

De acordo com o Ministério do Trabalho (2016b), a Norma Regulamentadora 35 (NR-35) prescreve os requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução visando garantir e proteger a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com a atividade. De acordo com essa norma, denomina-se trabalho em altura toda tarefa realizada onde o nível superior ultrapassa 2 metros do nível inferior da atividade e, conseqüentemente, onde possa haver risco de queda.

Já a norma ABNT NBR 16325:2014 determina regras para os dispositivos de ancoragem, pontos onde se pode amarrar ou prender um equipamento de segurança contra possíveis quedas.

A instalação de sistemas fotovoltaicos em edificações requer adequação às prescrições contidas na norma brasileira NR-35 para evitar que um instalador, por negligência ou desconhecimento técnico suficiente, poderá realizar o serviço de forma insegura, conforme mostrado na Figura 10, onde há a falta de equipamento de proteção individual (EPI)

adequado, e ademais, sem seguir as recomendações da NR-35. Nota-se que, além de carecer das luvas de vaqueta, capacete, cinto de segurança e botas de borracha, o instalador pisa sobre os módulos fotovoltaicos, podendo causar microfissuras em sua estrutura (não visíveis a olho nu) e diminuir a eficiência do SFVCR.

Figura 10 - Trabalhador em ato inseguro com risco de acidente



Fonte: Resende (2018).

As principais causas de acidentes de trabalho em altura (em geral, quedas) são causadas por:

- Perda de equilíbrio, escorregão ou um passo em falso;
- Ausência ou o uso de guarda-corpo danificado;
- Uso de apoios, escada ou andaimes pouco confiáveis;
- Para Mendes (2013), uma das causas de acidentes é o trabalhador estar inapto para atividades em altura (doenças físicas por efeito de entorpecentes).

Conforme Mendes (2013), a NR-35 veda a realização de atividades, por profissionais não autorizados e não habilitados, de transporte de materiais com apenas uma das mãos, onde estes devem ser içados em separado ou até descer e subir escadas pulando degraus.

5.3 Equipamentos de Proteção

Para a aplicação das Normas Regulamentadoras NR-10 (eletricidade) e NR-35 (altura), faz-se necessária a utilização da Norma Regulamentadora 6 (NR-6) que trata dos EPIs.

Conforme abordado pelo Ministério do Trabalho (2015), caracteriza-se como EPI todo dispositivo ou produto, de uso individualizado e utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. O equipamento só deverá ser usado perante indicação do certificado de aprovação, expedido pelo órgão nacional competente. Caso o trabalhador preste serviços a uma determinada companhia, ele tem o direito de receber, aos cuidados da empresa, os EPIs gratuitamente e em bom estado de conservação para o exercício de sua função. Cabe ao Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT) e trabalhadores usuários aconselharem ao empregador o EPI adequado aos perigos presentes em determinada atividade.

A Figura 11 realça o cenário ideal de segurança, uma vez que o instalador está fazendo uso correto dos EPIs (botas de borracha, capacetes, luva de vaqueta, cinto de segurança tipo paraquedista). Está presente nela também, e não menos importante, um dos equipamentos de proteção coletiva (EPC) chamado de linha de vida (cabo azul), para amparo mediante queda, onde o talabarte de cada trabalhador é fixado à linha.

Figura 11 – Principais equipamentos de proteção para trabalho com energia solar



Fonte: Tera Solar (2019).
Nota: Adaptado pelo autor.

Conforme cita Kurata (2016), os equipamentos frequentemente usados para instalações de sistemas fotovoltaicos são citados a seguir.

5.3.1 Óculos de Proteção

Fornecem segurança para a defesa de impacto por objetos leves, partículas instáveis com movimento em direção aos olhos, e radiação ultravioleta (UV). Há modelos transparentes com foco para ambientes fechados, e outros com lentes escuras para ambientes externos e presença de luminosidade solar.

5.3.2 Protetor Solar

Embora não se faça presente na NR-6 como equipamento de proteção individual, e nem dispor de um número de certificado de aprovação, o uso do protetor solar é importante durante as instalações, de forma a evitar excesso de exposição à radiação solar e, assim, proteger o trabalhador de insolações e até de câncer de pele.

Vale ressaltar também ressaltar alguns pontos importantes ao se usar o protetor solar:

- Verificar se está dentro do prazo de validade;
- Passar o protetor 10 a 15 minutos antes da exposição ao sol;
- A depender do fator de proteção solar (FPS), quanto maior o FPS menos vezes o trabalhador precisará passar para se proteger (por exemplo, utilizar protetor solar com FPS 50 ou mais) para atividades que durem períodos de horas;
- Evitar o desperdício: passar muito protetor na mesma área não irá proteger mais. O que importa é cobrir a superfície da pele que estará exposta durante a atividade com uma fina camada do produto e lembrar-se de repô-lo periodicamente.

5.3.3 Bota de Borracha

Concedem proteção para superfícies energizadas, escorregões e consequentes quedas, além do impacto de objetos. Nos trabalhos em altura, é preciso selecionar um modelo sem cadarço, de forma a evitar entrelaçamentos e possível queda do trabalhador.

5.3.4 Capacete com Jugular

Assegura contra impacto de objetos e à irradiação solar ajudando a prevenir a insolação. O capacete com alça de jugular com trava é fundamental para trabalho com altura em telhados e prédios nas instalações de SFVCR, prevenindo assim a queda do capacete logo após movimentos bruscos do trabalhador.

5.3.5 Luvas

Para a instalação de sistemas fotovoltaicos, existem dois tipos de luvas que podem ser utilizados: as luvas de borracha, usadas nas atividades que contemplem eletricidade (interconexões dos módulos, interfaces elétricas, inversor e medidor de energia) e as luvas de vaqueta, para manejo dos módulos solares, por conceder proteção específica para objetos ásperos e cortantes (moldura dos módulos).

As luvas de borracha possuem nível de proteção de acordo com a tensão do circuito, segundo mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Aplicação das luvas de borracha de proteção contra choque elétrico

Classe	Tensão do Circuito	Cor da Tarja da Luva
00	500 V	Bege
0	1000 V	Vermelha
I	7,5 kV	Branca
II	17 kV	Amarela
III	26,5 kV	Verde
IV	36 kV	Laranja

Fonte: Kurata (2016).

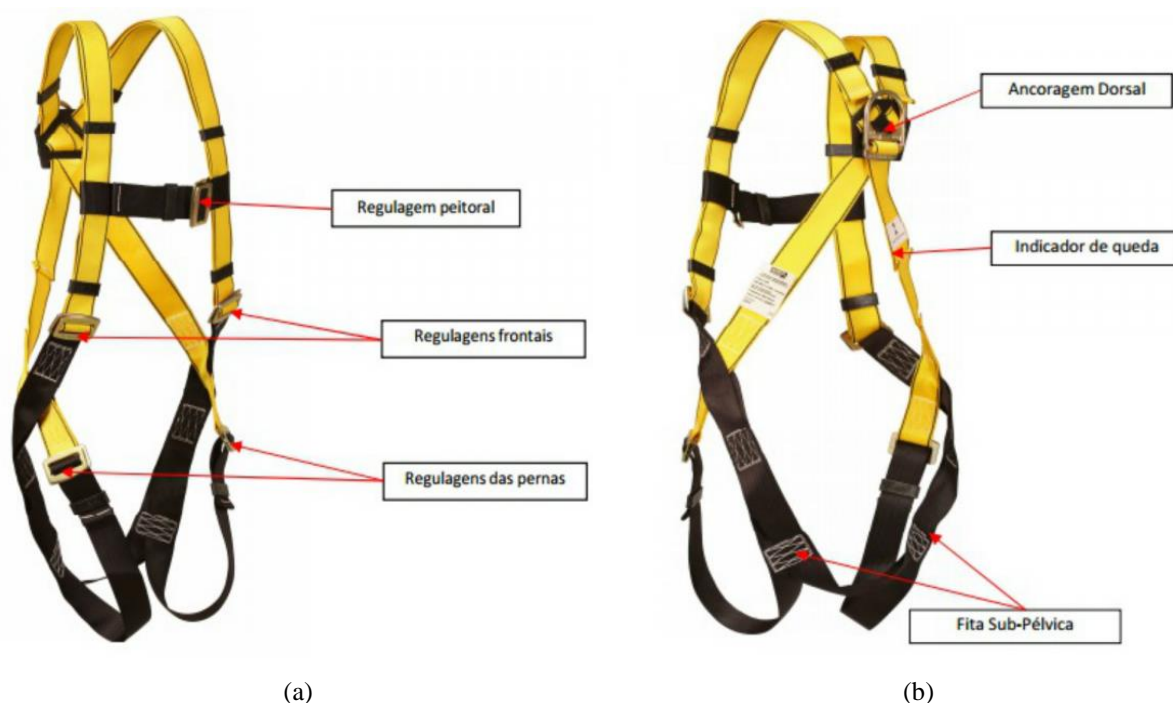
Nota: Adaptado pelo autor.

Conforme se pode visualizar a partir do Quadro 2, para instalações de SFVCR, que são o foco deste trabalho, comumente serão utilizadas luvas de tarja bege (até 500 V) e vermelha (até 1000 V).

5.3.6 Cinturão Tipo Paraquedista

Sustenta e distribui as forças por impacto de uma possível queda do instalador fotovoltaico. Este tipo de cinturão precisa estar afixado a um talabarte do tipo Y (dois pontos de ancoragem) com absorção de impacto e trava antiqueda, com capacidade mínima de 22 kN (para uso em telhados, por exemplo). A Figura 12 mostra um exemplo de cinturão do tipo paraquedista e seus pontos de regulagem, ancoragem, fita sub-pélvica e indicador de queda (etiqueta indicativa de alerta para descarte do equipamento em caso de uma forte queda).

Figura 12 - Cinturão tipo paraquedista com vistas de regulagem (a) frontal e (b) dorsal



Fonte: Crepaldi (2020).

5.4 Aspectos Adicionais de Segurança

A fundamental preocupação de segurança neste tópico gira em torno do entendimento e do correto uso do dispositivo de proteção contra surtos (DPS) e a eficiência do recurso de anti-ilhamento presente no(s) inversor(es) do sistema fotovoltaico. Um surto elétrico é uma onda transitória de tensão, corrente ou potência que tem como característica uma elevada taxa de variação por um período curtíssimo de tempo.

Os SFVCR são diretamente expostos a surtos provocados por descargas atmosféricas ou por chaveamento nas linhas da rede pública. Estes surtos reduzem a vida útil e danificam os painéis e inversores, elevando-se os custos de manutenção e, conseqüentemente, o tempo de amortização caso o SFVCR seja financiado.

Diversas ocorrências podem causar sobretensões em um sistema fotovoltaico e, dentre elas, citam-se as mais relevantes:

- Descarga direta no SPDA externo à instalação;
- Descargas próximas à instalação;
- Descargas diretas ou próximas à rede da distribuidora de energia elétrica;
- Sobretensões oriundas da rede da concessionária de energia em função de correntes de falta e chaveamentos na rede elétrica (operações de comutação).

Como solução, faz-se necessária a utilização de protetores contra surtos elétricos (DPS) apropriados para mitigação dos riscos de queima e danos, protegendo, assim, o investimento realizado no sistema fotovoltaico.

O DPS atua pela variação da impedância entre dois pontos, quais sejam a impedância fase-neutro ou fase-terra. Para condições normais, o DPS se comporta como um circuito aberto, sendo praticamente invisível na instalação. Ao ocorrer um surto de tensão na instalação, o DPS torna-se um circuito de baixa resistência desviando a corrente do condutor com sobretensão para o aterramento e reduzindo, então, a tensão percebida pelos outros equipamentos conectados ao circuito. Vale lembrar que o DPS faz parte da *string box* e sistemas que dispõem de inversores com este equipamento integrado podem dispensar o uso de um externo.

Salienta-se, também, que não é possível e nem seguro usar DPS para circuitos de corrente alternada em circuitos de corrente contínua e vice-versa, pois são fabricados diferentemente para cada tipo de surto ou sobretensão. Conforme a fabricante de equipamentos eletroeletrônicos de proteção Clamper (2016), há três classes de DPS, explicados a seguir:

- Classe 1: dispositivos capazes de drenar correntes parciais de um raio. Utilizados em ambientes expostos a descargas atmosféricas diretas, como áreas rurais ou urbanas periféricas e instaladas nos quadros primários de distribuição;

- Classe 2: aptos a drenar correntes induzidas em edificações, ou seja, descargas atmosféricas indiretas. Comuns em áreas urbanas e instalados nos quadros secundários de distribuição;
- Classe 3: destinados à proteção fina de equipamentos. Servem para proteção de equipamentos ligados à rede elétrica, à linha de dados e linhas telefônicas.

Conforme citado por Villalva (2015) e explicado anteriormente, a presença do recurso de anti-ilhamento manterá o inversor desligado e o impedirá de energizar indevidamente a rede elétrica na qual o SFVCR está conectado, trazendo segurança aos trabalhadores que possam realizar a manutenção da rede. Atualmente, fabricantes estão padronizando a produção de seus inversores com esse importante recurso.

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013), a norma ABNT NBR 16149:2013 da ABNT expõe todos os requisitos e recomendações necessários à correta conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica.

Por outro lado, conforme Kurata (2016), a norma ABNT NBR 16150:2013 determina os procedimentos de ensaio para a averiguação dos equipamentos usados na conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia elétrica (SFVCR). Já a norma ABNT NBR IEC 62116:2012 (procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de SFVCR) aborda um único ensaio deste teste, que não é tratado conforme pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013b) na norma ABNT NBR 16150:2013.

A segurança em eletricidade ou trabalho em altura são preocupações primordiais, porém, quando se trata de um sistema já em operação, é preciso levar em conta a conservação do local onde o sistema está instalado, quais sejam: as estruturas de fixação e posicionamento dos módulos, a conexão dos cabos condutores e a fixação dos inversores.

Vale salientar que o escopo desta pesquisa está direcionado à segurança de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR). Para o caso de sistemas fotovoltaicos isolados (SFVI) existe um zelo adicional no manejo dos acumuladores elétricos - as baterias de chumbo-ácido ou íon-lítio - as quais devem ser instaladas em ambiente ventilado e capaz de conter o escoamento de líquidos, em função do vazamento do eletrólito da bateria e da

emissão de gases que propiciam a formação de atmosfera explosiva. Conforme citado previamente, há também a questão do peso do conjunto de baterias que deve ser suportado pela estrutura onde será afixado.

6 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho classifica-se como sendo de abordagem qualitativa e de natureza aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para a solução de problemas específicos relativos à insegurança em instalações de SFVCR por meio de aplicações práticas. Do ponto de vista dos procedimentos, possui caráter de estudo de caso, onde, a partir de publicações (livros, artigos e conteúdo disponível na internet) sobre os processos de montagem destes sistemas e ferramentas de qualidade na gestão da SST, estes processos serão fundamentados e relacionados ao acompanhamento da instalação de um SFVCR. Quanto aos objetivos, é definido como sendo do tipo de pesquisa exploratória, tendo como finalidade proporcionar maior familiaridade não só com os riscos e causas mais comuns de acidentes de trabalho em SFVCR, como também com as ferramentas que são a chave para evitá-los, se adotadas corretamente, em concordância com as normas (NRs) NR-10 e NR-35, além da ABNT NBR 16690:2019.

Consegue-se, assim, uma análise mais fidedigna, não somente teórica como também prática, pois é possível acompanhar de perto as dificuldades e os riscos aos quais os instaladores de SFVCR estão expostos diariamente, no decorrer de uma obra de instalação.

De acordo com Yin (2005), essa metodologia se baseia no planejamento a partir da coleta de dados e seu tratamento, onde se obtém um estudo de caso, trazendo à tona uma visão mais aprofundada do tema em questão, de forma a permitir o enfoque na relação com os fenômenos associados.

O estudo de caso tem real importância quando parte de uma análise prévia do problema, sendo esta polida durante a pesquisa, tomando como base processos reais que possam evidenciar as hipóteses levantadas. Com isso, o problema é tratado de forma completa e a solução não reside apenas em uma conjuntura teórica.

Dessa forma, associou-se a segurança do trabalho às ferramentas e técnicas para melhoria da qualidade nas instalações de SFVCR, como abordagem fundamental da pesquisa. Um atributo comum desse tipo de metodologia é unir todos os dados coletados nas etapas do processo de instalação e depois encontrar as fraquezas deste processo cujas causas raízes serão

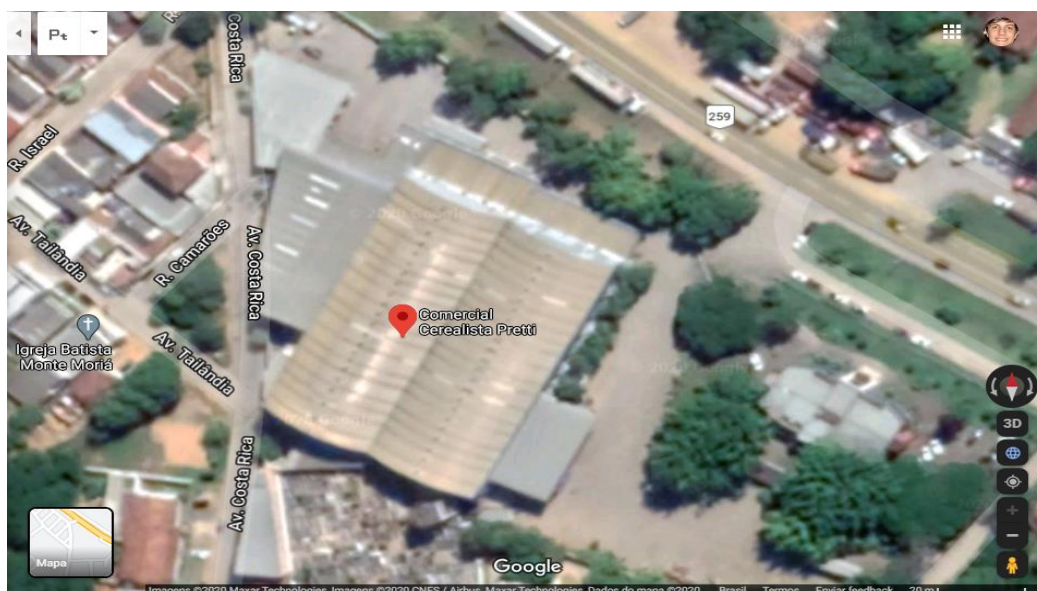
investigadas usando-se o diagrama de espinha de peixe (ou Ishikawa), onde se relacionam essas possíveis causas aos seus consequentes efeitos. Por fim, é gerado um plano de ação baseado em ferramentas e técnicas de melhoria da qualidade: 5W1H, treinamento, padronização e indicadores de acompanhamento, finalizando com o ciclo PDCA.

7 DESENVOLVIMENTO

7.1 Classificação do Ambiente de Estudo

Após analisar e decidir sobre o ambiente de estudo, definiu-se que a pesquisa seria realizada em Colatina - ES, onde foi instalado um sistema fotovoltaico conectado à rede por uma empresa integradora de energia solar, acompanhada pela empresa distribuidora que forneceu os equipamentos. A localização é mostrada pelo mapa conforme na Figura 13.

Figura 13 – Mapa do local de instalação do SFVCR



Fonte: *Google Maps* (2020).

Vale lembrar que a empresa integradora do presente estudo trabalha com projetos de energia solar fotovoltaica e com enfoque na instalação de SFVCR para o cliente final.

O projeto é composto por 2 inversores solares, sendo um de 50 kW e outro de 20 kW, 2 *string box* e 270 módulos solares com potência de 360 W, totalizando 97,20 kW de potência instalada de geração para o sistema. O telhado onde os painéis foram instalados é do tipo metálico. A empresa distribuidora de equipamentos de geração fotovoltaica faz o acompanhamento das instalações de seus materiais pelos seus profissionais (engenheiros e técnicos) com visitas *in loco*, para evitar ocorrências de não conformidade por conta de defeitos de fábrica ou de qualquer natureza, mas que esteja resguardada pela garantia do equipamento.

A pesquisa procurou observar, ao longo dos dias envolvidos na atividade, todo o processo de instalação feito pelos técnicos e instaladores fotovoltaicos, analisando os pontos de maior criticidade onde os trabalhadores estiveram expostos em suas atividades, de forma a evitar quaisquer acidentes de trabalho. Nessa linha, buscou-se uma compreensão global da segurança envolvida na instalação e, a partir disso, foi definida a metodologia que seria a mais adequada para a abordagem das não conformidades encontradas. Para isso, fez-se uso de ferramentas da qualidade, tais quais já definidas e referenciadas em tópicos anteriores, que serão aplicadas à segurança durante o processo de instalação em análise.

7.2 Sequenciamento dos Processos de Instalação

Segundo o Portal Solar (2019a), executar a instalação de um SFVCR é mais simples do que pode parecer, todavia é preciso de que a instalação seja executada por uma equipe qualificada. Além disso, é essencial que os instaladores não só entendam cada etapa de montagem do processo, mas também possuam os cursos das normas brasileiras de segurança (NBRs) específicos para a atividade, dentro do prazo de vigência, a saber, NR-10 e NR-35.

A instalação de um sistema fotovoltaico em uma casa, condomínio ou empresa se mostra cada vez mais acessível com a expansão da oferta de diferentes empresas de equipamentos de energia solar (inversores, módulos, *string box*) em virtude da crescente demanda pelos consumidores. Nota-se, portanto, um ciclo progressivo estabelecido pela lei da oferta e da procura, que por hora é positivo à economia, mas, contudo, requer atenção e adequação à segurança individual e coletiva. Nesse contexto, para que novas instalações de SFVCR não comecem a se tornar problemáticas, é imprescindível o entendimento do processo de instalação e seus possíveis pontos de falhas na segurança, para assim poder ser aplicada a metodologia da pesquisa.

7.2.1 Como é Instalado o Sistema de Energia Fotovoltaica

O processo geral de instalação do SFVCR baseia-se nas etapas mostradas na Figura 14. Vale notar que a sequência elencada tem como propósito elucidar os processos fundamentais para a instalação e o correto funcionamento de um SFVCR. Além disso, o penúltimo procedimento

elementar, destacado em tom amarelo escuro, servirá de base para um sequenciamento de processos específicos menores, porém também relevantes no que tange à aplicação da metodologia para o estudo da segurança envolvida no processo.

Figura 14 – Sequenciamento dos processos gerais de instalação do SFVCR



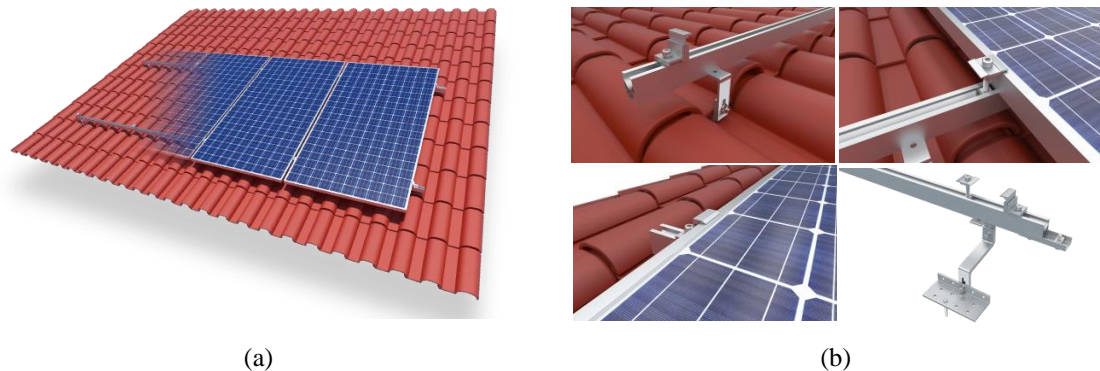
Fonte: Produção do próprio autor.

Primeiramente, após o cliente demonstrar interesse, realiza-se a visita técnica ao local de instalação e prepara-se o orçamento. Após a sua aprovação, projeta-se onde será disposto cada módulo solar. Em seguida, vêm a preparação e a montagem da estrutura de fixação, onde serão afixados os módulos fotovoltaicos.

Os telhados mais comuns são os que usam telhas metálicas, de cerâmica e de fibrocimento, conforme exemplificado a seguir. Para telhas coloniais (ou de cerâmica), são removidas as

telhas acima dos caibros de madeira, pois a estrutura será aparafusada nestes pontos dispondo a base da fixação do sistema. As vistas geral e detalhada da estrutura para telhado cerâmico são exibidas na Figura 15.

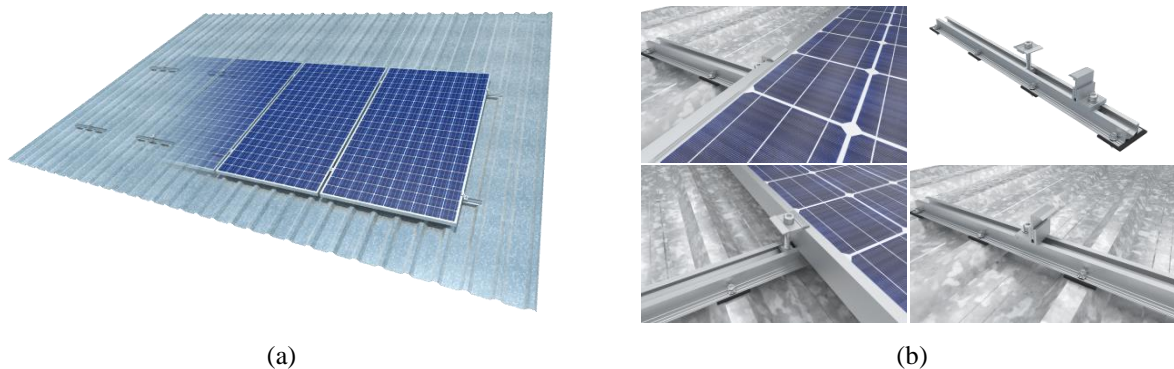
Figura 15 – Estrutura para telhado cerâmico com vista (a) geral e (b) detalhada



Fonte: Metal Light Solar (2020a).
Nota: Adaptado pelo autor.

Em telhas metálicas, a instalação se dá de forma mais acessível e o suporte é fixado por um parafuso autobrocante (sua ponta possui a geometria de uma broca), conseguindo, assim, furar e rosquear em uma única aplicação, trazendo mais praticidade e segurança contra possíveis infiltrações. As vistas geral e detalhada da estrutura para telhado metálico são mostradas na Figura 16.

Figura 16 – Estrutura para telhado metálico com vista (a) geral e (b) detalhada

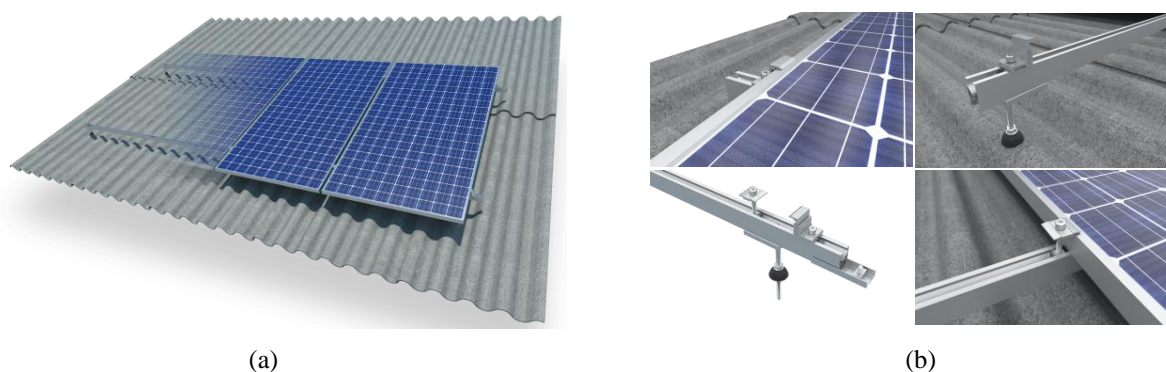


Fonte: Metal Light Solar (2020b).
Nota: Adaptado pelo autor.

Para telhas de fibrocimento, a instalação fará uso de um parafuso estrutural (empregado em projetos que exigem grande resistência de cargas, sem correr o risco de deformação), com 200 mm ou mais de comprimento, onde este irá furar a telha e será preso na estrutura do telhado. Comparando-se estruturas de suporte do telhado de fibrocimento, quando estas forem de

madeira, o parafuso deverá ter uma bitola maior e, quando forem de metal, usa-se um parafuso mais fino para apoiar os perfis (trilhos) que irão servir de apoio aos painéis. As vistas geral e detalhada da estrutura para telhado fibrocimento são dispostas na Figura 17.

Figura 17 – Estrutura para telhado de fibrocimento com vista (a) geral e (b) detalhada



Fonte: Metal Light Solar (2020c).

Nota: Adaptado pelo autor.

Geralmente, as estruturas de fixação dos três tipos de telhado são pré-fabricadas em alumínio. É essencial respeitar a padronização das estruturas para cada tipo de telhado, pois elas são feitas sob medida para o encaixe preciso dos módulos solares nos suportes apropriados.

Com a escolha e montagem corretas da estrutura, fixam-se os módulos com os grampos finais e intermediários e então, conectam-se os cabos e conectores. É importante destacar que o SPDA e o aterramento dos módulos são indispensáveis para a manutenção de suas vidas úteis e eficiência linear (porcentagem de energia da luz do sol que o painel solar converte em energia elétrica por m^2) no longo prazo. Conectam-se em seguida os módulos em série (*strings*) no inversor solar e instala-o o mais próximo possível dos módulos (visando reduzir custos com cabeamento) e, de preferência, em um local fechado para evitar exposição ao tempo. Depois, para proteger o inversor, é fundamental conectá-lo a uma *string box*, que o protegerá de surtos repentinos na rede ou de descargas atmosféricas e, enfim, o conecta na rede da concessionária de energia elétrica. Esta será, portanto, a parte final da instalação, onde quem irá atuar será somente o eletricitista ou instalador de energia solar.

Após a instalação e conexão do inversor, com a vinda de um técnico eletricitista da concessionária e este instalando o novo medidor de energia (bidirecional) para leitura de forma bem sucedida, a UC poderá, enfim, se enquadrar no sistema de compensação de energia

elétrica. Em conformidade aos procedimentos listados, a cadeia de processos de instalação do SFVCR é exibida na Figura 18.

Figura 18 – Sequência de de processos específicos de instalação do SFVCR

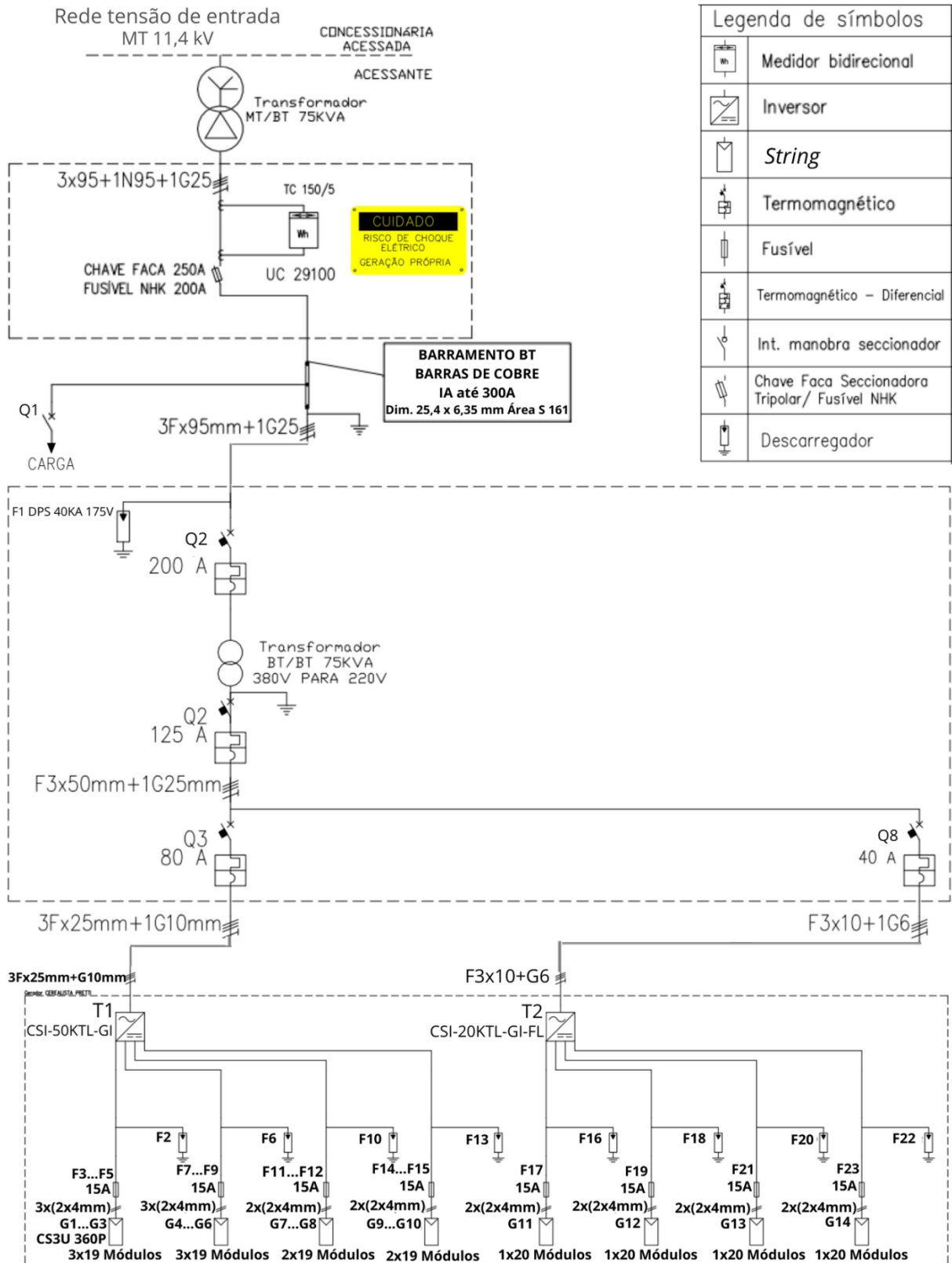


Fonte: Produção do próprio autor.

7.2.2 Diagrama Unifilar e Componentes do SFVCR

Um *kit* padrão gerador solar para SFVCR é composto por módulos fotovoltaicos, *string box*, cabos, conectores, inversor solar e estruturas de fixação. Para elucidar melhor os componentes utilizados no presente estudo, bem como suas ligações, reproduziu-se o diagrama unifilar simplificado do projeto do SFVCR, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Diagrama unifilar do SFVCR



Legenda de símbolos	
	Medidor bidirecional
	Inversor
	String
	Termomagnético
	Fusível
	Termomagnético - Diferencial
	Int. manobra seccionador
	Chave Faca Seccionadora Tripolar/ Fusível NHK
	Descarregador

Fonte: Produção do próprio autor.

Para que o projeto seja homologado pela concessionária de energia elétrica, é suficiente que o diagrama unifilar possua os componentes apresentados, como é o caso da representação para as *string box* que, conforme Figura 19, são mostrados por fusíveis de proteção e os DPS. Nota-se agora que, dispondo do esquema de ligação dos equipamentos em um diagrama organizado, fica mais fácil o entendimento do funcionamento do SFVCR. Vale ressaltar que as componentes do referido diagrama, estas presentes no *box* superior direito intitulado legenda de símbolos, descritas como descarregador e termomagnético, representam o DPS e o disjuntor na parte CA do SFVCR, respectivamente. Além disso, a ligação do sistema à rede da concessionária de energia elétrica foi feita pela saída CA dos inversores ao transformador abaixador presente na UC, de 75 kVA, 380/220 V.

7.3 Levantamento de Dados e Informações Específicas da Instalação

Uma vez que a análise possui enfoque maior na segurança, e considerando-a de fundamental importância para a mitigação e eliminação de riscos e, conseqüentemente, evitar acidentes danosos ou até fatais à vida humana, almejou-se aprofundar em informações específicas dessa atividade. O inversor de 50 kW utilizado é da marca *Canadian Solar*, modelo CSI-50KTL-G1, o qual será analisado a seguir (Figura 20).

Figura 20 – Inversor de 50 kW



Fonte: *Canadian Solar* (2020a).

Ao se pensar em segurança, é crucial analisar e entender o funcionamento do inversor solar utilizado. Ele garante o funcionamento seguro de todo o sistema, pois realiza o monitoramento e otimização da energia produzida.

O modelo utilizado é equipado com os seguintes recursos: botões e tela *touchscreen*, chave seccionadora integrada e antena de *wi-fi* para fornecer informações remotamente ao usuário, como por exemplo, gráficos da geração, economia e avisos de falhas. O acesso a estes dados é feito via aplicativo (o da *Canadian Solar* é o *CSI Cloud*). Vale ressaltar, que as características citadas anteriormente são também contempladas pelo inversor de 20 kW *Canadian Solar*, modelo CSI-20KTL-GI-FL.

O inversor pode ser fixado em diversos locais, a depender de sua finalidade. No projeto em questão, foi instalado perto dos módulos fotovoltaicos, pois assim economiza-se com cabos CC e, principalmente, próximo ao quadro de luz, pois assim evitam-se gastos desnecessários com cabeamento CA, este tipo ainda mais oneroso por conta da bitola maior.

Quando o projeto possui proporções maiores, no caso de sistemas de minigeração distribuída com média ou alta tensão, por motivos econômicos e de segurança, é recomendado se instalarem os inversores e transformadores dentro de uma cabine, de preferência blindada.

Para ter certeza de que se está adquirindo um inversor de qualidade, é importante prestar atenção em algumas características como:

- Eficiência do equipamento: o inversor precisa ter alta eficiência, garantindo economia de energia (o modelo ilustrado conforme a Figura 21 possui eficiência máxima de 99,1%);
- Padrão de proteção: o padrão de segurança mínimo recomendado é o IP55 (proteção limitada contra a entrada de pó e resíduos e protegido de jatos de água de baixa pressão de qualquer direção). Além disso, o inversor usado possui padrão internacional IEC 62109-1:2010 (segurança de conversores de energia para uso em sistemas de energia fotovoltaica ou do inglês *safety of power converters for use in photovoltaic power systems*);
- Credibilidade do fabricante: de preferência, buscar inversores de fabricantes com listagem *tier-1* (classificação criada pela *BloombergNEF* - organização líder mundial de pesquisa primária em energia limpa - que foca nos aspectos financeiros como: estabilidade, capacidade de honrar garantias e de suprir projetos fotovoltaicos).

A Figura 21 mostra parte do *datasheet* do inversor de 50 kW, onde se nota que a temperatura de operação do inversor varia entre -25°C e 60°C . Usualmente, considera-se a temperatura de 25°C como temperatura ambiente normal para o bom funcionamento do equipamento.

Figura 21 – Especificações do inversor CSI-50KTL-G1

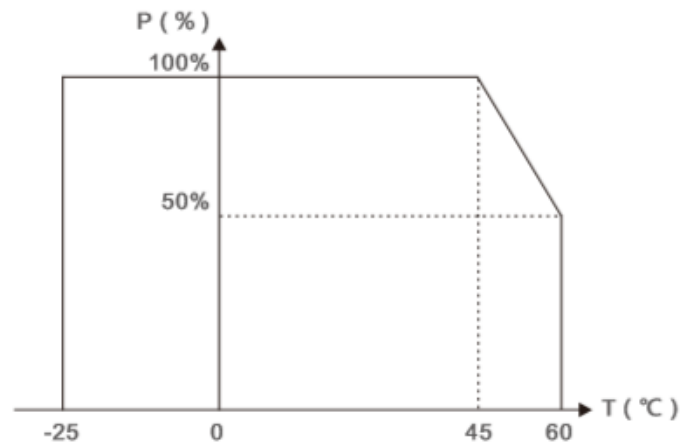
ENVIRONMENT				
Protection Degree	IP65			
Cooling	Natural Convection Cooling	Intelligent Redundant Cooling	Natural Convection Cooling	Intelligent Redundant Cooling
Operating Temperature Range	-25 ° C to +60 ° C			
Storage Temperature Range	-40 ° C to +70 ° C			
Operating Humidity	0 - 100 %			
Operating Altitude	4000 m			
Audible Noise	<30 dBA @ 1 m	<60 dBA @ 1 m	<30 dBA @ 1 m	<60 dBA @ 1 m
DISPLAY AND COMMUNICATION				
Display	LCD + LED			
Communication	Standard: RS485 (Modbus)			
MECHANICAL DATA				
Dimensions (W / H / D)	630 x 700 x 357 mm			
Weight	61 kg	63 kg	61 kg	63 kg
Installation Angle	90 degrees from horizontal			
DC Inputs	MC4			
SAFETY				
Safety	IEC62109-1/-2			
Grid Standard	AS4777, NRS097			
Smart-Grid Features	Voltage-Ride Thru, Frequency-Ride Thru, Soft-Start, Volt-Var, Frequency-Watt, Volt-Watt			

Fonte: *Canadian Solar* (2020b).

Diante da curva representada pela Figura 22, percebe-se que o inversor tem sua produção ótima na faixa de temperaturas entre -25°C e 45°C . Qualquer valor fora dessa faixa resultará em queda gradual ou total da potência de saída, onde, acima de 60°C o inversor desliga por segurança, uma vez que a temperatura impacta diretamente em seu funcionamento.

Vale lembrar que a temperatura da superfície do inversor pode exceder 75°C e, para evitar queimaduras, é recomendável não tocar em sua superfície durante a geração.

Figura 22 – Potência de saída do inversor CSI-50KTL-G1 por temperatura interna



Fonte: *Canadian Solar* (2020b).

7.4 Acompanhamento da Instalação do SFVCR

Nesta etapa, foi efetuado o acompanhamento da montagem do SFVCR pelos instaladores, conforme registrado na Figura 23. Vale ressaltar que foi alinhado e acordado com a equipe integradora sobre os registros feitos e todos os funcionários da empresa estavam cientes de que as imagens registradas seriam usadas com propósito acadêmico para o presente projeto. Percebe-se também a preocupação com a segurança individual e coletiva por meio do uso dos EPIs e EPC (linha de vida não mostrada na Figura 23) por parte da equipe, além de não pisarem sobre os módulos para não danificá-los.

Figura 23 – Acompanhamento da instalação



Fonte: Produção do próprio autor.

Ao término das observações, notou-se a ausência da incidência de ocorrências relevantes que afetariam diretamente na segurança do processo, contudo, certos quesitos chamaram atenção e merecem ser mencionados a partir desse acompanhamento.

Inicialmente, constatou-se a existência de alguns pontos passíveis de melhoria como, por exemplo, na organização das etapas de montagem, com um cronograma para cada fase da instalação. Revelou-se também a carência de um plano sistemático para a ordem de prioridade da tarefa a ser realizada pelos instaladores. Além disso, foi percebido que os instaladores por vezes não priorizavam o uso correto dos EPIs durante a obra, como, por exemplo, com o uso inadequado da jugular por conta do incômodo provocado. Dessa forma, considera-se indispensável a padronização dos procedimentos de instalação, contribuindo na intensificação da segurança individual e coletiva dos trabalhadores, além de agregar na produtividade pois, desta forma, mais organizado, seguro e eficaz será o processo.

Dentre os desafios percebidos, destaca-se a dificuldade de finalizar a obra dentro do prazo, e, nessa visão, alinhar a entrega com a produtividade, desde que não comprometa a segurança individual e coletiva dos trabalhadores durante o processo.

Embora a empresa integradora disponha de uma equipe capacitada com cursos e treinamentos e também realize suas atividades adequadas às normas brasileiras regulamentadoras, a saber, NR-10 e NR-35, notou-se que as condições climáticas afetam diretamente na qualidade e agilidade do processo. Além de requerer maior grau de atenção, na presença de chuva os riscos de choque elétrico aumentam por conta da queda da resistência do corpo humano, quando úmido ou molhado.

Conforme mostrado na Figura 24, dispõe-se do SFVCR instalado no dia de sua ligação.

Figura 24 – Dia da ligação do SFVCR em Colatina - ES



Fonte: Produção do próprio autor.

Por fim, e não menos importante, será o uso adequado das ferramentas da qualidade como forma de garantir a efetiva segurança nas instalações de SFVCR. Falhas por contratemplos podem ocorrer, mas sem o uso de uma tratativa adequada, passam despercebidas.

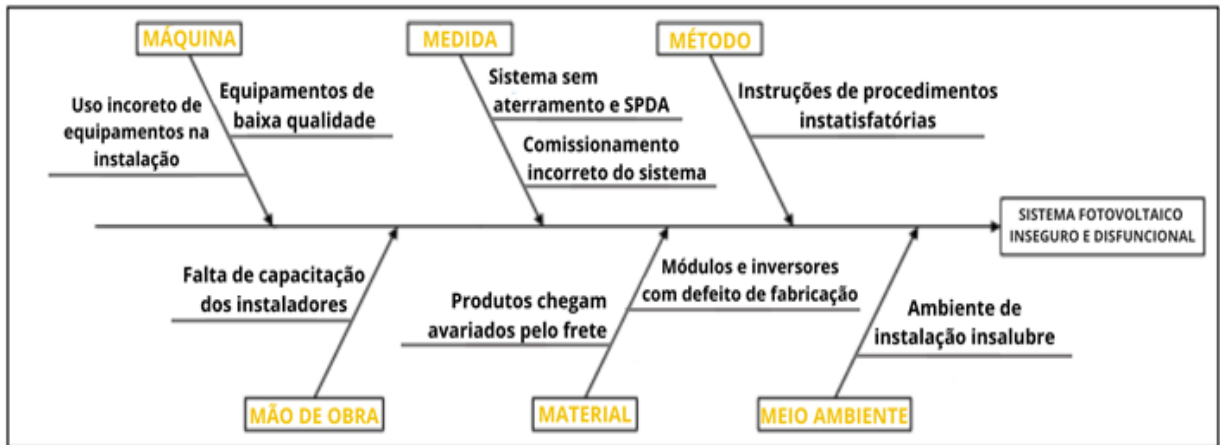
7.5 Tratativas das Ocorrências

Do que foi exposto na seção 7.4, podem-se resumir do acompanhamento feito os seguintes pontos de melhoria:

- Maior conscientização sobre práticas de segurança;
- Adoção de procedimentos de planejamento e execução visando o cumprimento de prazos sem abdicar da segurança;
- Considerações sobre as condições climáticas durante a instalação tendo como referência o fator segurança.

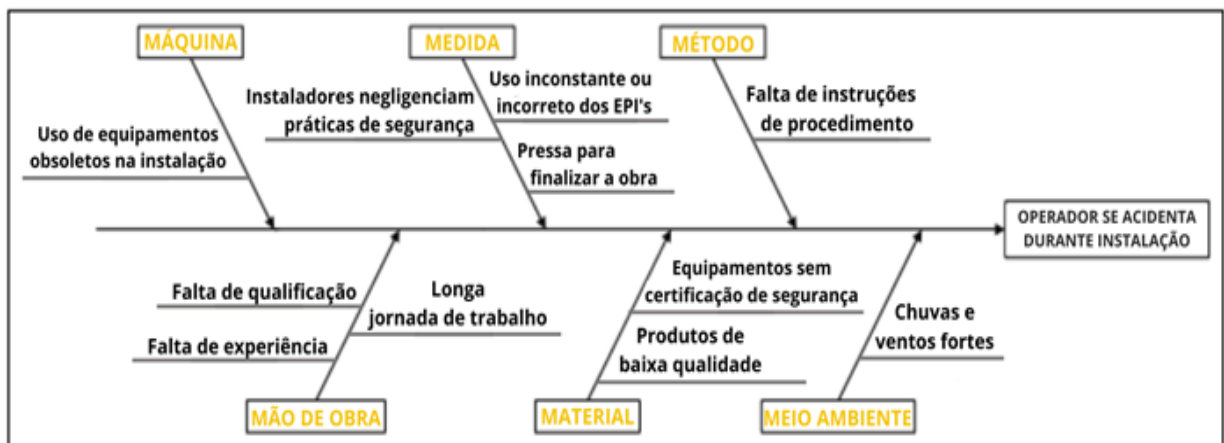
No que se refere aos dois primeiros itens anteriormente citados, entende-se que estes podem ser alcançados através da mitigação ou eliminação de duas não conformidades relevantes seguintes: sistema fotovoltaico inseguro e disfuncional e quando o operador se acidenta durante a instalação do SFVCR. As causas que resultam destas não conformidades foram investigadas e ilustradas nos diagramas de Ishikawa, exibidos nas Figuras 25 e 26.

Figura 25 – Diagrama de causa e efeito para SFVCR inseguro e disfuncional



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 26 – Diagrama de causa e efeito para operador que se acidenta durante instalação



Fonte: Produção do próprio autor.

É importante planejar também a checagem antecipada das condições climáticas do ambiente de trabalho, uma vez que podem impactar diretamente tanto na montagem quanto na segurança dos trabalhadores e enfatizar ainda mais a necessidade do uso de EPI e EPC.

Analisando o diagrama de causa e efeito da Figura 25, conclui-se que, para resultar em um SFVCR inseguro e disfuncional, deduzem-se potenciais causas, como a falta de capacitação dos instaladores, visto que a instalação de cada componente do sistema na ordem de prioridade correta pode ser conseguida quando o trabalhador possui o conhecimento da técnica atrelada à sua experiência no assunto, uma vez que este tipo de atividade exige um *timing* apurado, o qual se leva tempo para ser alcançado.

Com capacitação e experiência, grande parte das causas de falhas de montagem pode ser evitada. Nota-se também que por um olhar treinado, o colaborador pode identificar com facilidade, cabos avariados e conexões inadequadas (problemas comuns que geram pontos quentes ou do inglês *hotspots*, resultando em perdas de eficiência e até incêndios), proporcionando mais confiabilidade durante o comissionamento do sistema. Todavia, esse olhar específico mira na correção da ocorrência, a qual continuará a gerar atrasos na obra e, conseqüentemente, dispêndios. Dessa forma, é necessário fomentar a capacitação de forma a se evitar não conformidades no controle dos processos.

Além disso, é preciso que a empresa integradora estabeleça procedimentos sucintos e reconhecidos pelas normas brasileiras de instalações elétricas para a montagem, os quais contemplem a correta utilização dos equipamentos, assim como as etapas requeridas para se obter o resultado almejado, com sua ordem de prioridade.

O comissionamento final do SFVCR deve ser realizado por profissionais qualificados, pois exige *expertise* em conceitos técnicos, como também de engenharia. Nele, será feita a verificação do correto funcionamento dos equipamentos, acompanhamento da ligação do sistema, devendo este estar adequado à norma técnica brasileira ABNT NBR 16690:2019 e, por fim, será analisada a geração de energia do sistema.

É importante salientar que a empresa deve dispor aos seus funcionários equipamentos de trabalho e de proteção (EPI e EPC) certificados, dentro do prazo de validade e seguros para a realização da atividade.

Para o caso de grandes sistemas fotovoltaicos que demandam longas jornadas de trabalho, é crucial que sejam concedidos transporte, alimentação, local para higiene pessoal e intervalo de almoço para os instaladores. Revezamento de equipes com turnos são convenientes, a depender da dificuldade de acesso ao local e condições climáticas (como por exemplo, um dia muito quente e/ou com fortes ventos) que podem acelerar o cansaço, desgaste e, conseqüentemente, a chance de acidentes.

Em relação à determinação do procedimento de montagem, é pertinente que a cronometragem de todo o processo seja feita, dada a meta de obter um padrão que deverá ser desempenhado,

como forma de prevenção de erros consequentes da má administração do tempo. Nessa visão, dentro de um contexto específico onde haja um curto prazo de entrega, instaladores podem acabar fazendo o uso inconstante ou incorreto dos EPIs e EPC e até negligenciar as boas práticas de segurança por conta da pressão para a finalização da obra. E é nesse cenário que geralmente acidentes de trabalho acontecem.

Em relação à certificação dos equipamentos, é dever das empresas fornecedoras ofertar somente equipamentos certificados e homologados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Contudo, há casos em que o certificado do produto encontra-se vencido e a concessionária indeferir o pedido de ligação do SFVCR. Recomenda-se, portanto, que as empresas distribuidoras e integradoras confirmem os certificados dos produtos que estão comprando. No site da agência, estão disponíveis registros de regulamentação para todos os tipos de produtos e equipamentos, tanto importados como nacionalizados. Nos sites dos fornecedores, também estão presentes os *datasheets* dos equipamentos e neles os seus ensaios e certificados de conformidade. A partir dessas informações, é possível saber se o equipamento possui certificação aprovada em testes e se está corretamente regulamentado pela ANVISA.

7.6 Soluções e Melhorias

Adicionalmente aos diagramas de Ishikawa, planos de ação foram elaborados com vistas à solução das consequências relacionadas às não conformidades elencadas.

Fez-se, portanto, o uso da ferramenta 5W1H, disposta nos Quadros 3 e 4, como forma de plano de ação e com o propósito de se aspirar ao alcance de uma solução mais completa para cada problema analisado. No Quadro 3 é mostrada a organização de ideias sugeridas para tratar um sistema fotovoltaico inseguro e disfuncional e, no Quadro 4, centram-se sugestões para evitar que o operador se acidente durante uma instalação.

Quadro 3 – 5W1H para sistema fotovoltaico inseguro e disfuncional

O que deverá ser feito?	Por que?	Quem fará?	Quando será feito?	Onde será feito?	Como será feito?
Treinar instaladores para se atualizarem periodicamente com os processos de montagem	Sistema fotovoltaico apresenta insegurança e disfuncionalidades	Empresa terceirizada	A cada 2 anos	Sala de treinamento	Serão contratados treinamentos presencial e prático terceirizados para atualizarem os funcionários dos processos de instalação
Análise antecipada dos equipamentos de instalação da empresa integradora	Garantir o correto funcionamento dos equipamentos	Equipe de instalação	Durante a instalação	Todas as máquinas e equipamentos	A equipe de instalação fará análise dos equipamentos em agendamentos programados
Análise da <i>performance</i> de cada processo de instalação e relatar lições aprendidas	Trabalho em equipe é fundamental para não atrasar a obra	Toda a equipe	Mensalmente	No cronograma da empresa integradora	A equipe irá gerar um banco de dados com a duração das obras e se houve atrasos, assim como as lições aprendidas
Desenvolvimento de um procedimento completo e detalhado da sequência de montagem, a ser revisado periodicamente	Execução incorreta ou incompleta de certas etapas causa não conformidades no sistema final	Toda equipe	Revisar quando necessário	Em todo o processo de montagem	Prática de <i>brainstorming</i>
Treinar instaladores novatos para agirem por conta própria em caso de pequenos ajustes na montagem	A demora no ajuste de determinado equipamento na obra pode atrasar e atrapalhar toda a equipe	Instaladores da equipe mais experientes	1 ^{as} semanas após contratação	No próprio local de instalação	A equipe mais experiente determinará ajustes críticos e demonstrará na prática aos demais

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 4 – 5W1H para operador que se acidenta durante instalação

O que deverá ser feito?	Por que?	Quem fará?	Quando será feito?	Onde será feito?	Como será feito?
Capacitar com cursos de segurança (NR-10, NR-35 e NR-6) os instaladores que lidam diretamente com a montagem do sistema fotovoltaico	Ao se expor diretamente durante a montagem, o instalador é quem mais corre risco de acidentes	Empresa terceirizada	A cada 2 anos	Sala de treinamento	Treinamento presencial teórico e prático das NBRs NR-10 e NR-35 para os instaladores que ainda não possuem
Desenvolvimento de um cronograma mensal completo para almoços e descansos e revezamento das equipes durante processos de montagem	Trabalho excessivo e ininterrupto durante as obras gera cansaço e aumenta risco de acidentes	Toda equipe	Turno de revezamento	Em todo o processo de montagem	Cada obra terá seu cronograma de intervalos e possíveis revezamentos de equipes
Organizar Diário de Segurança (DDS) com a equipe de trabalhadores	Relembrar periodicamente os colaboradores de suas obrigações em relação à segurança e instituir uma cultura de segurança do trabalho	Toda equipe	Diariamente	Nas instalações, antes de começar os trabalhos	O DDS irá orientar sobre os riscos no local das atividades, as ferramentas e equipamentos de proteção individual obrigatórios e as boas práticas que devem ser mantidas por toda a equipe
Disponibilizar EPI e EPC adequados a todos os colaboradores da instalação	Zelar pela proteção individual e coletiva de toda a equipe do início ao fim da instalação	Toda equipe	Sempre (em todas as obras)	Antes e durante as instalações	Disponibilizar corretamente os EPIs e EPC a toda equipe antes do DDS e orientá-la no correto acondicionamento após término da montagem

Fonte: Produção do próprio autor.

O próximo passo será garantir que as metas dos planos de ação sugeridos nos Quadros 3 e 4 sejam validadas. A gestão da preservação da qualidade e da empresa deve ser conferida periodicamente, visando aferir todos os pontos delicados para o bom funcionamento do processo de instalação. O estímulo de um *brainstorming* mensal a cada equipe e outro onde participem todos os funcionários da empresa é um primeiro passo para assegurar o engajamento e a partilha de conhecimento, possibilitando maior conexão entre os

colaboradores e identificação de problemas comuns encontrados durante as atividades, a serem resolvidos na instalação do SFVCR.

Vale lembrar, conforme mencionado nas proposições de ações de melhoria do Quadro 4, a importância da prática diária muito usada por grandes empresas, que é o Diálogo Diário de Segurança (DDS). Trata-se de uma conversa com os trabalhadores sobre os riscos no trabalho e como evitá-los. O compartilhamento de informações é sempre muito produtivo e, portanto, dispor alguns minutos finais para a contribuição dos colaboradores os trará para a busca de suas responsabilidades individuais e coletivas, com a segurança em primeiro lugar no ambiente de trabalho.

Como forma de garantir a segurança dos colaboradores e também o bom funcionamento dos SFVCR, foram sugeridos os seguintes indicadores de acompanhamento dispostos no Quadro 5.

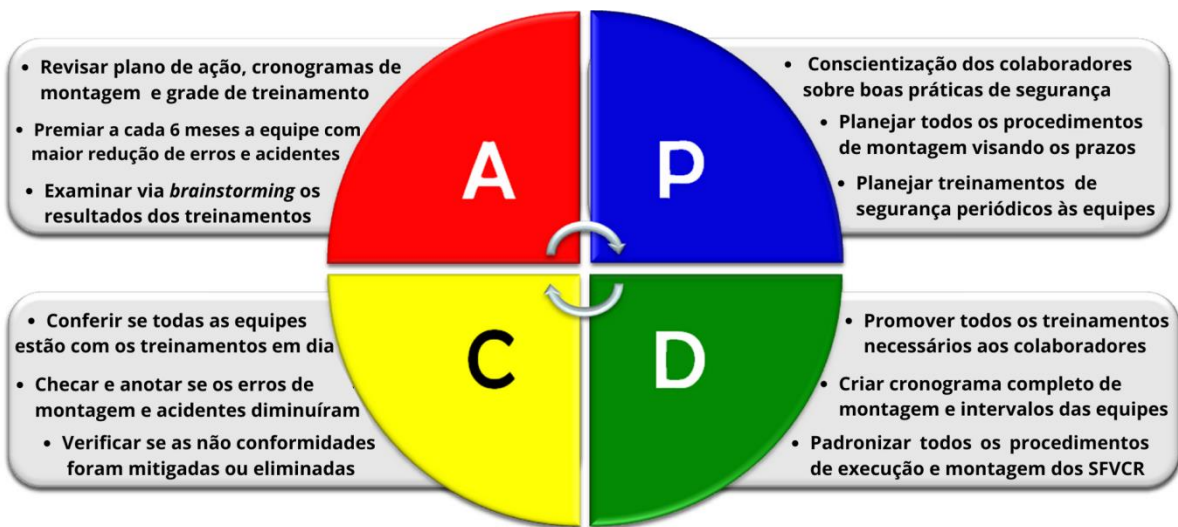
Quadro 5 – Indicadores de acompanhamento

	Indicador	Descrição
1	Inversor apresenta gráfico do montante de energia gerada muito inferior ao projetado ao longo dos meses	A partir do monitoramento remoto via <i>wi-fi</i> do sistema, é possível identificar, a partir de falhas na geração fotovoltaica, problemas nas instalações (como, por exemplo, se uma determinada <i>string</i> apresenta falhas ou até mesmo se os módulos estão muito sujos).
2	Eficiência na potência de saída dos módulos reduzida	Uma vez identificado o indicador 1, a partir do acompanhamento visual e termográfico, permite identificar falhas em conexões, excesso de sujeira, pontos quentes (do inglês <i>hotspots</i>), oriundos de microfissuras ou defeitos de fábrica nos módulos fotovoltaicos
3	Taxa de produtividade da equipe abaixo da média	Engenheiro chefe identifica cansaço de um ou mais instaladores da equipe, que pode elevar o risco de acidentes.
4	Condições climáticas e temperaturas inadequadas para execução da obra de instalação	A partir de consultas na <i>internet</i> em <i>sites</i> de estação meteorológica, permite identificar se o ambiente não está propício à instalação do sistema.
5	Negligência ao uso correto de EPIs e EPC e respeito às NBRs pelos colaboradores	Diz respeito à adequação aos procedimentos e às NBRs pelos trabalhadores, a serem advertidos em caso de reincidência.

Fonte: Produção do próprio autor.

A partir desse panorama, para tomadas de decisão efetivas como forma de guia à melhoria contínua, é interessante dispor do uso de uma ferramenta cíclica. Com esse propósito, propõe-se, na Figura 27, que o ciclo PDCA se faça presente para a busca da qualidade e segurança nas instalações de SFVCR, com enfoque no alcance do nível ótimo de produtividade aliado à segurança.

Figura 27 - Ciclo PDCA para panorama proposto



Fonte: Produção do próprio autor.

8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

No trabalho exposto, uma análise sistêmica da segurança em sistemas fotovoltaicos *grid-tie* foi apresentada, com panorama final conduzindo um estudo de caso detalhado da instalação de um sistema de energia solar, por meio de ferramentas da qualidade aplicadas às etapas das atividades de instalação do sistema, visando-se otimizar a qualidade da instalação e a segurança dos colaboradores.

Para o estudo de caso, comprometeu-se a reproduzir a cadeia de processos da empresa integradora e, por meio de informações coletadas a partir da observação de cada etapa durante o processo de montagem, aplicaram-se ferramentas da qualidade apropriadas.

Ao longo do desenvolvimento, apresentou-se o referencial teórico das ferramentas da qualidade escolhidas, a fim de sustentar a metodologia empregada. Ademais, considerou-se necessária uma maior compreensão dos SFVCR, como também o acompanhamento acurado do processo de instalação na prática.

Constatou-se que, embora a empresa demonstre um adequado nível de desempenho, uma avaliação aprimorada que se mostra muito importante, de forma a resguardar seus colaboradores, além de evitar falhas e ocorrências comuns. Dessa maneira, caso a empresa se depare com um dos possíveis problemas listados, já disponha de um plano de ação bem orientado.

Para garantir a segurança e a qualidade no processo de instalação, foi preciso avaliar outras atividades e condições de funcionamento que possam influenciar indiretamente nas etapas de montagem, conforme dispostas no Quadros 3 e 4, algumas além do trabalho puramente mecânico dos instaladores. Nota-se também que, mesmo se tratando do estudo de um SFVCR particular, todas as demais empresas distribuidoras e integradoras de energia solar poderão desfrutar do trabalho apresentado. Dessa forma, estas empresas poderão desfrutar de um conjunto de sugestões que permitam evitar potenciais não conformidades.

Constatou-se que a instalação de um SFVCR depende de uma série de fatores que caracterizam seu grau de dificuldade, além de se tratar de um trabalho preferivelmente diurno,

uma vez que a visibilidade e a segurança em cima de telhados sejam comprometidas à noite e que, portanto, exigiria energia e atenção extras dos trabalhadores. Por essa razão, caso a empresa integradora opte por turnos de trabalho integrais, sugere-se uma análise mais detalhada do padrão de produção dos instaladores, e a viabilidade do custo-benefício para possível troca de turnos por equipes, considerando os diversos fatores que impactam direta e indiretamente na produtividade.

Há que se considerar também, casos de empresas que farão a instalação de grandes SFVCR e necessitem mais de 50 trabalhadores. Nesta ocasião, a empresa deve se adequar à norma regulamentadora NR-4, a qual aborda critérios para organização dos Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT) e contratar ao menos um técnico e/ou engenheiro de segurança do trabalho, como forma de assegurar ainda mais a segurança durante as atividades e trazer mais credibilidade para a distribuidora e o cliente final.

Certamente, empresas que consigam conciliar a contratação destes profissionais com seus gastos e ofereçam serviços de instalação a preços competitivos, mesmo que não possuam o número mínimo de empregados para exigibilidade destes por norma, terão um diferencial no médio-longo prazo e dessa forma, mais chances de se consolidar no mercado.

Por último, como o mercado de energia fotovoltaica vem crescendo exponencialmente no Brasil, além das constantes evoluções tecnológicas e suas adaptações cada vez mais versáteis, surgem novas possibilidades de instalações, assim como surgirão desafios aos futuros instaladores que ingressarem nesse mercado. Com isso, novas normas de segurança tenderão a aparecer e poderão, possivelmente, ser homologadas ou incorporadas como trechos extras às já vigorantes.

Em síntese, ao contrário do que se possa parecer, pensar em segurança de forma alguma configura um excesso por precaução, principalmente quando se trata do resguardo de vidas humanas. Quando as normas são atendidas, seguramente há aumento de eficiência e produtividade do trabalho, menor número de equipamentos danificados ou desgastados prematuramente, menos trabalhadores afastados por acidentes de trabalho (isso sem falar nos custos do Estado pela invalidez temporária ou permanente de funcionários). Em suma, a

preocupação com a segurança é positiva tanto na escala micro (dentro de uma empresa), quanto na escala macro (para um bom desenvolvimento de todo um país).

Erros de instalação ou isolamento inadequada de um sistema podem resultar em incêndios. Falhas de execução como o uso de conectores inapropriados, ou desvios no projeto, como a falta de disjuntores e fiação mal dimensionada podem comprometer a segurança após a conclusão do projeto.

Desta forma, posteriormente, não serão os instaladores que sofrerão exposição a riscos, mas o cliente final do sistema fotovoltaico. Respeitar as normas e observar os mínimos detalhes, portanto, pode poupar vidas e ser o diferencial de um projeto de excelência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, G. **O Arco Voltaico**. 2015. Disponível em: <https://eletricaseg.wixsite.com/eletricasegura/single-post/2015/02/02/O-arco-voltaico>. Acesso em: 11 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSCIENTIZAÇÃO PARA OS PERIGOS DA ELETRICIDADE. **Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica 2020** - ano base 2019. São Paulo: ABRACOPEL, 2020. Disponível em: https://abracopel.org/wp-content/uploads/2020/02/Anu%C3%83%C2%A1rio_2020-Site.pdf. Acesso em: 04 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410** - Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 10899** – Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR 14039**: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 16149**: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

_____. **NBR 16150** - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

_____. **NBR 16325**: Proteção contra quedas de altura. Parte 1: Dispositivos de ancoragem tipos A, B e D. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. **NBR 5419**: Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR IEC 62116**: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **Normalização**. 2014. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>. Acesso em: 07 jul. 2020.

ANDRADE, L. **O que é ciclo PDCA e como ele pode melhorar seus processos**. 2017. Disponível em: <https://www.siteware.com.br/metodologias/ciclo-pdca/>. Acesso em: 13 ago. 2020.

ARAÚJO, E. **Alta de 20% na conta de luz torna energia solar mais atrativa, afirma ABSOLAR** - Aumento na Conta de Luz. 2020. Disponível em:

<https://canalsolar.com.br/noticias/item/451-alta-conta-de-luz-torna-energia-solar-mais-atrativa-afirma-absolar>. Acesso em: 01 dez. 2020.

BARROS, B. F. **NR-10 Norma Regulamentadora de Segurança em Instalações e Serviços de Eletricidade**: Guia Prático de Análise e Aplicação. 1. ed. São Paulo: Érica, 2010.

BORTOLUZZI, H. **Choque Elétrico** - Barrashoppingsul. 2009. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26753/000748254.pdf?sequence=1>. Acesso em: 07 dez. 2020.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-dia**. 8. ed. Belo Horizonte: INDG, 2004.

CANADIAN SOLAR. **Three-Phase String Inverter 20-60 kW**. 2020a. Disponível em: <https://www.canadiansolar.com/inverter-for-commercial/>. Acesso em: 06 jul. 2020.

CANADIAN SOLAR. **Three Phase String Inverter 40-50 kW - CSI-50KTL-GI**. 2020b. Disponível em: https://www.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/04/Canadian-Solar_Datasheet_Inverter_40-50KW_SEA.pdf. Acesso em: 06 jul. 2020.

CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA E CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL - CRESESB, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 08 nov. 2020.

CHIAVENATO, I. **Recursos Humanos: O Capital Humano das Organizações**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

CLAMPER. **O que é DPS** - Conheça os Dispositivos de Proteção contra Surtos e como eles protegem seus equipamentos contra queimas causadas por raios. 2016. Disponível em: www.clamper.com.br/2016/12/16/o-que-e-dps-dispositivos-de-protecao-contrasurtos-eletricos/. Acesso em: 11 nov. 2020.

CREPALDI, A. **Cinto de Segurança Tipo Paraquedista 1 Ancoragem Tamanho 2**. 2020. Disponível em: <https://bandeirantesbauru.com.br/site/produtos/2522-cinto-de-seguranca-tipo-paraquedista-1-ancora.html#descicraoprod>. Acesso em: 12 nov. 2020.

FIRMINO, C. **Diagrama de Ishikawa**. 2018. Disponível em: <https://omeugestor.com/blog/diagrama-de-ishikawa/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

FONTES, R. **Célula Solar**: Conceitos Básicos Sobre Como a Luz do Sol Gera Energia Elétrica. 2020. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/celula-solar-o-que-e/>. Acesso em: 25 jul. 2020.

GODOY, M. H. C. **Brainstorming**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2001.

GOOGLE MAPS. **Comercial Cerealista Pretti**. 2020. Disponível em: <https://goo.gl/maps/Mzvf3qTKfjQY6cWZ9>. Acesso em: 12 out. 2020.

GREENER. **Estudo Estratégico do Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída do 1º semestre de 2020**. São Paulo: GREENER, 2020. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/12882/1601560415Estudo_Estratgico_de_Ger_ao_Distribuda_-_1_Semestre_2020_2_4.pdf. Acesso em: 04 out. 2020.

KURATA, M. E. E. **Análise de riscos em instalações de sistemas fotovoltaicos**. 2016. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14907/1/CT_CEEEST_XXXI_2016_15.PDF. Acesso em: 17 set. 2020.

LOURENÇO, H. **Aplicabilidade da NR-10 em Serviços de Manutenção e Operação em Subestações e Linhas de Transmissão de Extra Alta Tensão**. 2010. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Centro Tecnológico, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2010.

MENDES, M. R. A. **Prevenção de acidentes nos trabalhos em altura**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

METAL LIGHT SOLAR. **Estrutura para Telhados - Cerâmico**. 2020a. Disponível em: <https://metallightsolar.com.br/wp-content/uploads/2020/02/MetalLight-Solar-Estruturas-para-Telhados.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2020.

_____. **Estrutura para Telhados - Metálico**. 2020b. Disponível em: <https://metallightsolar.com.br/wp-content/uploads/2020/02/MetalLight-Solar-Estruturas-para-Telhados.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2020.

_____. **Estrutura para Telhados - Fibrocimento**. 2020c. Disponível em: <https://metallightsolar.com.br/wp-content/uploads/2020/02/MetalLight-Solar-Estruturas-para-Telhados.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2020.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR-06 – Equipamento de Proteção Individual - EPI**. Brasília, DF: MT, 2015. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR6.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2020.

_____. **NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, DF: MT, 2016a. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR-10-atualizada-2016.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2020.

_____. **NR-17 – Ergonomia**. Brasília, DF: MT, 2018. Disponível em: <https://sit.trabalho.gov.br/portal/index.php/ctpp-nrs/nr-17>. Acesso em: 01 dez. 2020.

_____. **NR-35 – Trabalho em Altura**. Brasília, DF: MT, 2016b. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR35.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2020.

PINTO, Y. **Metodologia 5W1H**. 2018. Disponível em: <https://agregio.net/5w1h/metodologia-5w1h/>. Acesso em: 17 ago. 2020.

PORTAL ELETRICISTA. **Riscos do choque elétrico e seus efeitos no corpo humano**. 2014. Disponível em: <https://www.portaleletricista.com.br/riscos-do-choque-eletrico-e-seus-efeitos-no-corpo-humano/>. Acesso em: 23 ago. 2020.

PORTAL SOLAR. **Como Instalar Energia Solar: Passo a Passo**. 2019a. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-instalar-energia-solar.html/>. Acesso em: 27 ago. 2020.

_____. **História e Origem da Energia Solar**. 2016. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html>. Acesso em: 29 jul. 2020.

_____. **O Inversor Solar**. 2018. Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>. Acesso em: 12 jul. 2020.

_____. **Tipos de Painel Fotovoltaico**. 2019b. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 05 out. 2020.

RADOVIC, L. **Energy and Fuels in Society**. 2006. Disponível em: <http://www.ems.psu.edu/~radovic/fundamentals.html>. Acesso em: 09 ago. 2020.

RESENDE, C. **10 Erros mais comuns em instalações fotovoltaicas**. 2018. Disponível em: <https://sharenergy.com.br/10-erros-mais-comuns-em-instalacoes-fotovoltaicas/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR / UFSC, 2004.

SANTOS, E. C. S. **Inspeção e adequação das instalações elétricas e procedimentos de trabalho de uma empresa à norma regulamentadora NR-10**. 2012. Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

SANTOS, F. F. **Principais consequências da não aplicação da NR-10 – Avaliação das instalações elétricas de baixa tensão de uma unidade militar de aquartelamento**. 2013. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Centro Tecnológico, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SECRETARIA DE INSPEÇÃO DO TRABALHO. **Norma Regulamentadora No. 10 (NR-10)**. Brasília, DF: SIT, 2019. Disponível em: <https://sit.trabalho.gov.br/portal/index.php/ctpp-nrs/nr-10?view=default>. Acesso em: 12 out. 2020.

S8 ENERGIA SOLAR. **Projeto e Execução/Instalação de Sistemas Fotovoltaicos**. 2019. Disponível em: <http://solonibanez.tripod.com/sent.html#ini>. Acesso em: 02 set. 2020.

TERA SOLAR. **#4 Perguntas para fazer ANTES de escolher uma empresa de Energia Solar**. 2019. Disponível em: <https://terasolar.com.br/4-perguntas-escolha-empresa-de-energia-solar/>. Acesso em: 03 set. 2020.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/275828862_ESTUDO_DO_POTENCIAL_DE_GERACAO_DE_ENERGIA_ELETRICA_ATRAVES_DE_SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS_CONECTADOS_A_REDE_NO_ESTADO_DO_PARANA. Acesso em: 19 set. 2020.

URBANETZ JUNIOR, J. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94284>. Acesso em: 21 set. 2020.

VIANA, M. J. **Proteção Contra Choques Elétricos em Canteiros de Obras**. 1. ed. São Paulo: Fundacentro, 2018.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

VINTURINI, M. **Entenda as especificações básicas dos componentes da string box**. 2019. Disponível em: www.canalsolar.com.br/artigos/artigos-tecnicos/item/162-entenda-as-especificacoes-basicas-string-box. Acesso em: 12 nov. 2020.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

GLOSSÁRIO

Alta Tensão	Conforme o Ministério do Trabalho (2016a) é uma tensão superior a 1000 V em corrente alternada ou 1500 V em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra.
Baixa Tensão	De acordo com o Ministério do Trabalho (2016a) é uma superior a 50 V em corrente alternada ou 120 V em corrente contínua e igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada ou 1500 V em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra.
Fibrilação	Contração do músculo cardíaco que desordena a atividade ritmada do coração.
Tetanização	Forte contração muscular.