



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS PATOS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SEGURANÇA NO TRABALHO**

WERMESON LEANDRO CARNEIRO DANTAS

**SEGURANÇA NA INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE –
SFVCR (ON-GRID): UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.**

**PATOS-PB
2025**

WERMESON LEANDRO CARNEIRO DANTAS

**SEGURANÇA NA INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE –
SFVCR (ON-GRID): UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Tecnologia em Segurança do Trabalho, do Instituto Federal da Paraíba – Campus Patos, em cumprimento às exigências parciais para a obtenção do título Tecnólogo em Segurança no Trabalho.

Orientador (a): Prof^a. Suelyn Fabiana
Aciole Morais de Queiroz

**PATOS-PB
2025**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CAMPUS PATOS/IFPB

D192s Dantas, Wermeson Leandro Carneiro.
Segurança na instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede – SFVCR (ON-GRID): uma revisão bibliográfica / Wermeson Leandro Carneiro Dantas. - Patos, 2025.
57 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Tecnólogo em Segurança no Trabalho)-Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos-PB, 2025.

Orientador(a): Profa. Suelyn Fabiana Aciole Morais de Queiroz.

1. Segurança no Trabalho 2. Sistemas Fotovoltaicos 3. Riscos ocupacionais I. Título II. Queiroz, Suelyn Fabiana Aciole Morais de III. Instituto Federal da Paraíba.

CDU – 331.456 :620.91

WERMESON LEANDRO CARNEIRO DANTAS

**SEGURANÇA NA INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE –
SFVCR (ON-GRID): UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Tecnologia em Segurança do Trabalho, do Instituto Federal da Paraíba – Campus Patos, em cumprimento às exigências parciais para a obtenção do título Tecnólogo em Segurança no Trabalho.

Aprovada em 25 / 03 / 2025.

Banca Examinadora

Suelyn Fabiana Aciole Moraes de Queiroz

**Prof.
Orientador (IFPB)**

Daniela Passos Simões de Almeida Tavares

**Prof.
Examinador**

Erika do Nascimento Fernandes Pinto

**Prof.
Examinador**

À Deus. À meus pais, esposa e demais familiares e amigos, por todo apoio e carinho!

Dedico!

Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência. ”
(FORD, Harry)

RESUMO

A expansão dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) no Brasil trouxe desafios significativos em relação à segurança dos trabalhadores envolvidos na instalação e manutenção desses sistemas. Este estudo teve como objetivo geral a realização de uma revisão bibliográfica sobre os aspectos de segurança no setor, analisando os principais riscos ocupacionais, identificando medidas de mitigação e avaliando o cumprimento das normas regulamentadoras NR 6, NR 10 e NR 35. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, baseada na revisão de artigos científicos e normativas técnicas, complementada por estudos de caso de acidentes ocorridos no setor. Os resultados demonstraram que os trabalhadores estão expostos a riscos elétricos, devido à manipulação de circuitos de corrente contínua e alternada, riscos de quedas, associados ao trabalho em altura, e riscos ergonômicos, decorrentes do transporte e instalação dos módulos fotovoltaicos. Embora existam normas regulamentadoras para minimizar esses riscos, verificou-se que a adesão a essas diretrizes ainda é insuficiente, principalmente pela falta de capacitação dos profissionais e pela ausência de fiscalização rigorosa. O estudo também revelou que a implementação de protocolos de segurança, uso adequado de EPIs e EPCs e realização de treinamentos periódicos são estratégias fundamentais para a prevenção de acidentes. A pesquisa apresentou como limitação a ausência de uma investigação empírica direta, restringindo-se à análise documental e à revisão de literatura. Para estudos futuros, recomenda-se a realização de pesquisas de campo, a fim de avaliar a aplicação prática das normativas e a percepção dos trabalhadores sobre as condições de segurança. Conclui-se que, para garantir um ambiente de trabalho seguro no setor fotovoltaico, é essencial a melhoria das políticas de fiscalização e a capacitação contínua dos trabalhadores, assegurando a conformidade com as normativas existentes e a redução de riscos.

Palavras-chave: Segurança no Trabalho, Sistemas Fotovoltaicos, Riscos Ocupacionais, Normas Regulamentadoras.

ABSTRACT

The expansion of Grid-Connected Photovoltaic Systems (SFVCR) in Brazil has brought significant challenges regarding the safety of workers involved in the installation and maintenance of these systems. This study aimed to conduct a bibliographic review on safety aspects in the sector, analyzing the main occupational risks, identifying mitigation measures, and assessing compliance with regulatory standards NR 6, NR 10, and NR 35. The research adopted a qualitative approach, based on a review of scientific articles and technical regulations, complemented by case studies of accidents in the sector. The results showed that workers are exposed to electrical risks due to handling direct and alternating current circuits, fall hazards associated with working at heights, and ergonomic risks stemming from the transportation and installation of photovoltaic modules. Although regulatory standards exist to minimize these risks, adherence to these guidelines is still insufficient, mainly due to a lack of professional training and the absence of strict oversight. The study also revealed that implementing safety protocols, proper use of PPE and collective protection equipment, and conducting periodic training sessions are fundamental strategies for accident prevention. A limitation of this research was the absence of direct empirical investigation, being limited to document analysis and literature review. Future studies should conduct field research to assess the practical application of regulations and workers' perceptions of safety conditions. It is concluded that to ensure a safe working environment in the photovoltaic sector, it is essential to improve regulatory enforcement and continuous worker training, ensuring compliance with existing standards and risk reduction.

Keywords: Occupational Safety, Photovoltaic Systems, Occupational Risks, *Regulatory Norms*.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Símbolo indicativo de um módulo fotovoltaico ----- | 21 |
| Figura 2 - Esquema SFVCR (sistema fotovoltaico conectado à rede)----- | 24 |
| Figura 3 - Símbolo de inversor----- | 25 |
| Figura 4 – Choque elétrico----- | 33 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------|---|
| a-Si | Silício amorfo hidrogenado |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| c-Si | Silício cristalino |
| CA | Corrente Alternada |
| CC | Corrente Contínua |
| CdTe | Telureto de Cádmio |
| CIS | Disseleneto de Cobre e Índio |
| CIGS | Disseleneto de Cobre, Gálio e Índio |
| CEPEL | Centro de Pesquisa Energética EPE Empresa de Pesquisa Energética |
| EPI | Equipamento de Proteção Individual |
| FV | Fotovoltaico |
| IEC | <i>International Electrotechnical Commission</i> - Comissão Eletrotécnica Internacional |
| INPE | Instituto de Pesquisas Espaciais |
| m-Si | Silício monocristalino |
| MPPT | <i>Maximum Power Point Tracking</i> – Buscador de Maxima Potência |
| NR | Norma Regulamentadora |
| ON-GRID | Sistema conectado a rede pública e/ou concessionária |
| OFF-GRID | Sistema não conectado (uso de baterias)a rede pública e/ou concessionária |
| p-Si | Silício policristalino |
| SFVCR | Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede |
| SFVI | Sistema Fotovoltaico Isolado |
| SPDA | Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas |
| SWERA | <i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i> – Avaliação dos Recursos de Energia Solar e Eólica |

LISTA DE UNIDADES

| | |
|--------------------|--|
| G | Irradiância |
| G _{HOR} | Irradiância global |
| G _{TOT} | Irradiância total |
| Hz | Hertz, unidade de medida de frequência |
| I | Irradiação durante o intervalo de tempo de uma hora H |
| | Irradiação durante o intervalo de tempo de um dia H _{TOT} |
| | Irradiação total durante o intervalo de tempo de um dia |
| A | Ampère, unidade de medida de intensidade da corrente elétrica |
| kWh/m ² | kilowatt-hora por metro quadrado, unidade de medida de energia |
| N | Newton, unidade de medida de força |
| kWp | kilowatt pico |
| V | Volt, unidade de medida de tensão elétrica W |
| | Watt, unidade de medida de potência elétrica |
| Wp | Watt pico. unidade de medida de potência, em módulos fotovoltaicos |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA | 6 |
| 1.2 | PROBLEMATIZAÇÃO | 7 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 9 |
| 1.3.1 | Geral..... | 9 |
| 1.3.2 | Específicos | 9 |
| 2 | REFERENCIAL TEORICO | 10 |
| 2.2 | EFEITO FOTOVOLTAICO..... | 13 |
| 2.3 | SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFVCR) | 14 |
| 2.3.1 | Benefícios da energia solar fotovoltaica | 17 |
| 2.4 | NORMATIVAS DE SEGURANÇA APLICÁVEIS | 18 |
| 2.4.1 | NR 06 (Equipamentos de Proteção Individual)..... | 19 |
| 2.4.2 | NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) | 22 |
| 2.4.3 | NR 17 (Ergonomia) | 25 |
| 2.4.4 | NR 35 (Trabalho em Altura)..... | 27 |
| 2.4.5 | ABNT NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão) | 29 |
| 2.5 | RISCOS ASSOCIADOS À INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SFVCR..... | 30 |
| 2.5.1 | Riscos Elétricos | 30 |
| 2.5.2 | Riscos Ergonômicos e de Acidentes | 31 |
| 2.5.3 | Falta de Conhecimento Técnico e Cumprimento de Normas | 33 |
| 2.6 | MEDIDAS PREVENTIVAS E PROTOCOLOS DE SEGURANÇA..... | 34 |
| 2.6.1 | Treinamento e Capacitação | 34 |
| 2.6.2 | Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Coletiva..... | 35 |
| 2.6.3 | Protocolos de Emergência..... | 36 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 38 |
| 3.1 | TIPO DE PESQUISA..... | 38 |
| 3.2 | FONTES DE DADOS | 38 |
| 3.3 | IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS | 39 |
| 3.4 | NORMATIVAS TÉCNICAS..... | 39 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 41 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 44 |
| | REFERÊNCIAS..... | 46 |

1 INTRODUÇÃO

A crescente busca por fontes de energia renováveis tem impulsionado a instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil e no mundo. No entanto, a implementação dessas tecnologias exige atenção às condições de segurança envolvidas, considerando os riscos inerentes à eletricidade e ao trabalho em altura (Mauricio Júnior et al., 2025). A Norma Regulamentadora NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) estabelece diretrizes para garantir a segurança em instalações elétricas, sendo fundamental para a proteção dos trabalhadores e a prevenção de acidentes nesse setor (Duarte; Minotti, 2021).

Com o avanço tecnológico e a necessidade de diversificação da matriz energética, a energia solar fotovoltaica tem se consolidado como uma alternativa viável e sustentável. Desde as primeiras aplicações na década de 1950, voltadas para sistemas espaciais e satélites, essa tecnologia expandiu sua aplicação para setores como telecomunicações e, mais recentemente, para a geração de eletricidade em larga escala (Mattza, 2024). No Brasil, a potência instalada de geração solar fotovoltaica atingiu 4.460 MW em 2019, representando um crescimento de 45% em relação ao ano anterior. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a projeção para 2026 é de 13 GW, demonstrando a rápida expansão desse setor (Bezerra, 2023).

Apesar desse crescimento, os aspectos de segurança na instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos ainda não recebem a devida atenção. Entre os principais riscos associados, destacam-se o choque elétrico devido às tensões contínuas dos painéis solares, os riscos ergonômicos relacionados ao transporte e instalação dos equipamentos e os perigos do trabalho em altura (Ziller et al., 2016). A falta de conhecimento sobre as normativas de segurança pode resultar em acidentes graves, tornando essencial a adoção de medidas preventivas e o cumprimento das regulamentações vigentes (Grisante et al., 2025).

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo analisar os principais riscos envolvidos na instalação de sistemas fotovoltaicos e as normativas de segurança aplicáveis, com ênfase na NR-10. A pesquisa busca identificar os desafios enfrentados pelos profissionais da área e propor recomendações para a

mitigação dos riscos, contribuindo para um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente. Além disso, pretende-se destacar a importância da capacitação profissional e do cumprimento das normas de segurança para reduzir a incidência de acidentes e otimizar os processos de instalação.

A relevância deste estudo reside na necessidade de promover a segurança dos trabalhadores do setor fotovoltaico, garantindo não apenas a integridade física dos profissionais, mas também a eficiência e confiabilidade das instalações. Para isso, a pesquisa será conduzida por meio de uma revisão bibliográfica, abordando os principais referenciais normativos e as boas práticas recomendadas para a segurança em sistemas fotovoltaicos.

1.1 JUSTIFICATIVA

A instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos envolvem diversos riscos ocupacionais que podem comprometer a segurança dos trabalhadores. Para compreender a importância da segurança nesse setor, é fundamental diferenciar os conceitos de risco e perigo. O risco refere-se à probabilidade de um evento indesejado ocorrer, enquanto o perigo é a característica intrínseca de uma situação ou substância que pode causar dano (Freitas, 2019). No contexto das instalações fotovoltaicas, os principais riscos incluem choque elétrico, quedas em altura, sobrecarga ergonômica e exposição a condições climáticas adversas, podendo resultar em acidentes graves e até fatais (Souza; Souza; Minori, 2019).

Apesar do crescimento expressivo da energia solar entre 2014 e 2020, tornando-se uma alternativa sustentável e viável para diversificação da matriz energética, a qualificação dos profissionais que atuam na instalação e manutenção desses sistemas ainda é deficiente. A falta de conhecimento técnico e normativo contribui significativamente para a ocorrência de acidentes (Pereira et al., 2024). A capacitação adequada e o cumprimento das normativas de segurança são essenciais para mitigar esses riscos e garantir a proteção dos trabalhadores.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

A instalação e manutenção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) apresentam uma série de riscos que podem comprometer a segurança dos trabalhadores, caso não sejam adotadas medidas adequadas de prevenção. Dentre os principais riscos, destacam-se o choque elétrico, as quedas em altura, os esforços ergonômicos inadequados e a exposição a condições climáticas adversas. Tais fatores tornam o trabalho com sistemas fotovoltaicos um ambiente de risco elevado, exigindo o cumprimento rigoroso de normas de segurança para minimizar acidentes e garantir a integridade física dos profissionais envolvidos.

O crescimento da energia solar no Brasil tem sido expressivo nos últimos anos, impulsionado por incentivos governamentais e pela busca por fontes de energia renováveis. Em 2019, a potência instalada de geração solar fotovoltaica atingiu 4.460 MW, representando um aumento de 45% em relação ao ano anterior (ANEEL, 2023). A expectativa é que esse crescimento continue, com projeções indicando uma capacidade instalada de 13 GW até 2026, incluindo tanto geração centralizada quanto distribuída (Bezerra, 2023). No entanto, o avanço tecnológico e a ampliação do mercado não têm sido acompanhados, na mesma proporção, pela implementação de práticas adequadas de segurança, resultando em riscos significativos para os trabalhadores do setor.

Os riscos associados aos sistemas fotovoltaicos são diversos e podem ter consequências graves. O choque elétrico é um dos principais perigos, pois os sistemas fotovoltaicos operam com correntes contínuas que podem atingir tensões elevadas, mesmo quando desconectados da rede elétrica (Freitas, 2019). Além disso, as atividades em altura, comuns na instalação dos painéis solares, aumentam a incidência de quedas, um dos acidentes mais recorrentes na construção civil e nas instalações elétricas (Pereira et al., 2024). Outro fator crítico é a sobrecarga física causada pelo transporte e posicionamento dos módulos fotovoltaicos, que pode resultar em problemas musculoesqueléticos devido a esforços inadequados e posturas ergonômicas incorretas (Souza; Souza; Minori, 2019).

Apesar da existência de normativas como a NR-10, que estabelece diretrizes para a segurança em instalações elétricas, e a NR-35 (Trabalho em

altura), que trata do trabalho em altura, ainda há uma lacuna significativa na disseminação do conhecimento sobre sua aplicação específica em sistemas fotovoltaicos (Diaz et al., 2020). Muitos profissionais desconhecem os riscos inerentes à atividade ou não recebem treinamentos adequados, aumentando a probabilidade de acidentes e comprometendo a segurança no setor.

Diante desse cenário, este estudo busca analisar os riscos envolvidos na instalação e manutenção dos SFVCR, destacando a importância do cumprimento das normas de segurança e das boas práticas preventivas. A pesquisa também pretende evidenciar a necessidade de maior conscientização sobre os perigos do setor, incentivando o desenvolvimento de políticas mais eficazes para a proteção dos trabalhadores e a mitigação de riscos. Assim, espera-se contribuir para a criação de um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente no setor de energia solar fotovoltaica.

A instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR) exigem rigorosos protocolos de segurança para minimizar riscos ocupacionais. O sistema ON-GRID-grid¹ opera com tensões elevadas e pode representar perigos significativos para os trabalhadores, especialmente em situações onde a segurança é negligenciada. Entre os principais riscos estão o choque elétrico, as quedas em altura, os esforços ergonômicos inadequados e até mesmo a exposição a incêndios causados por falhas na instalação elétrica (Pereira et al., 2024). A ausência de medidas adequadas pode resultar em lesões graves e, em casos extremos, até na morte dos instaladores.

Uma análise preliminar de riscos (APR) é essencial antes da instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos, pois cada ambiente apresenta peculiaridades que devem ser consideradas na aplicação de medidas de controle. Conforme destacado por Freitas (2019), a falta de capacitação profissional e de um planejamento adequado eleva a probabilidade de acidentes, tornando indispensável o cumprimento de normativas como a NR-10, que trata da segurança em instalações elétricas, e a NR-35, que regula o trabalho em altura.

O rápido crescimento do setor fotovoltaico no Brasil, impulsionado por incentivos governamentais e pelo avanço das energias renováveis, tem

¹é um sistema fotovoltaico que capta energia solar e a conecta à rede elétrica

aumentado significativamente o número de trabalhadores expostos a esses riscos. Segundo a ANEEL (2023), a potência instalada de energia solar no país atingiu 4.460 MW em 2019, representando um crescimento de 45% em relação ao ano anterior. No entanto, esse crescimento não tem sido acompanhado, na mesma proporção, por regulamentações específicas que garantam a segurança dos trabalhadores do setor, conforme apontado por Souza, Souza e Minori (2019).

Diante desse contexto, surge a seguinte questão: *como ocorre a segurança e a análise preliminar de riscos na instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, e quais estratégias podem ser adotadas para garantir um ambiente seguro para os trabalhadores dessas atividades?* Esta investigação busca explorar a efetividade das normas e boas práticas aplicadas ao setor, identificando desafios e propondo recomendações para um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

Realizar estudo bibliográfico das normas e normativas sobre os aspectos de segurança em instalações e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR), avaliar e analisar suas aplicações e impacto destas na busca de minimizar os riscos laborais nesta e demais atividades, trazendo assim mais segurança para os profissionais envolvidos.

1.3.2 Específicos

- Analisar os riscos ocupacionais na instalação e manutenção de SFVCR;
- Identificar medidas de segurança para mitigar riscos;
- Avaliar o cumprimento das normas regulamentadoras NR 6 (Equipamentos de Proteção Individual), NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade), NR 17 (Ergonomia) e a NR 35 (Trabalho em Altura), na instalação e manutenção de SFVCR;

2 REFERENCIAL TEORICO

O estudo baseia-se em normativas como a NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade), NR 35 (Trabalho em Altura) e ABNT NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão). Além disso, a revisão bibliográfica inclui pesquisas acadêmicas sobre riscos e medidas preventivas na energia fotovoltaica. A literatura aponta que a falta de conhecimento técnico adequado e o não cumprimento das regulamentações podem resultar em acidentes graves, reforçando a necessidade de capacitação contínua e fiscalização eficiente.

No Brasil, as Normas Regulamentadoras (NRs) estabelecem diretrizes para a segurança no ambiente de trabalho, sendo fundamentais para minimizar os riscos nas atividades do setor fotovoltaico:

- NR 6: Trata do uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), que são indispensáveis para evitar lesões em trabalhos elétricos e em altura, como luvas isolantes, capacetes, cintos de segurança e calçados antiderrapantes (Freitas, 2019).
- NR 10: Define requisitos e medidas para segurança em instalações elétricas e serviços com eletricidade, prevenindo acidentes por choque elétrico, arco elétrico e incêndios em circuitos fotovoltaicos (Diaz et al., 2020).
- NR 17: Aborda a ergonomia no trabalho, regulando aspectos como o transporte e manuseio dos módulos fotovoltaicos, que podem causar problemas musculoesqueléticos devido ao esforço repetitivo e posturas inadequadas (Souza; Souza; Minori, 2019).
- NR 35: Regula a segurança no trabalho em altura, determinando procedimentos e medidas preventivas para minimizar quedas durante a instalação de painéis solares em telhados e outras superfícies elevadas (Pereira et al., 2024).

A ausência de conhecimento sobre essas normas e sua aplicação no setor fotovoltaico compromete a segurança dos trabalhadores e aumenta a incidência de acidentes. Esse cenário reforça a necessidade de um estudo que analise detalhadamente os riscos envolvidos na instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, destacando a relevância do cumprimento das

normas regulamentadoras. Dessa forma, este trabalho busca contribuir para a conscientização e aprimoramento das condições de trabalho no setor, propondo medidas preventivas e diretrizes de segurança baseadas nas melhores práticas do mercado.

2.1 DEFINIÇÃO E FUNCIONAMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA E SISTEMAS CONECTADOS À REDE

A energia elétrica é um recurso essencial para a sociedade moderna, sendo utilizada para diversas finalidades, desde o abastecimento residencial até processos industriais. Dentre as fontes de geração de eletricidade, a energia fotovoltaica tem se destacado como uma alternativa sustentável, baseada na conversão da radiação solar em eletricidade. Esse processo ocorre por meio de células fotovoltaicas, que, ao serem expostas à luz solar, geram corrente elétrica contínua devido ao efeito fotovoltaico (Freitas, 2019).

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) são compostos por módulos fotovoltaicos, inversores, estruturas de suporte, dispositivos de proteção elétrica e um sistema de monitoramento. Diferentemente dos sistemas isolados, que exigem baterias para armazenar energia, os SFVCR estão integrados à rede elétrica pública, permitindo que a energia gerada seja utilizada diretamente ou injetada na rede para compensação futura (Diaz et al., 2020).

A fonte para produzir energia de um sistema fotovoltaico é o sol, que é considerado a principal fonte de energia de nosso planeta, assim, o processo para produção de eletricidade é conhecido como fotovoltaico - energia da luz solar convertida em eletricidade, que a partir de funções e do deslocamento dos elétrons é possível gerar uma diferença de potencial, também conhecida como tensão elétrica (Berticelli et al, 2017).

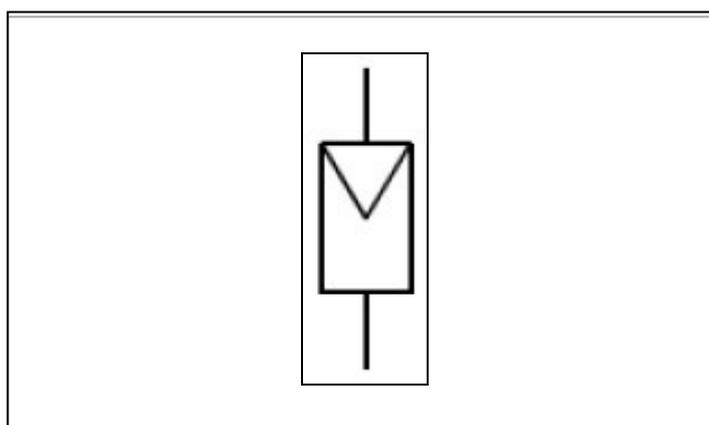
A terminologia utilizada ao longo desta pesquisa faz parte da norma ABNT NBR10899 – Energia Solar Fotovoltaica, 2023, que se refere à padronização dos termos relativos à energia solar fotovoltaica. De acordo com a ABNT (2013), são estas as definições de alguns termos:

- **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), um dos polos é negativo, o outro é positivo. A figura 1 mostra o símbolo indicativo de módulo fotovoltaico em um circuito elétrico (o lado positivo é indicado por um triângulo).

Figura 1 – Símbolo indicativo de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Google 2023.

- **Painel fotovoltaico:** Associação de módulos fotovoltaicos interligados eletricamente em uma única estrutura.
- **Ângulo azimutal de superfície (ou desvio azimutal):** Diferença, em graus, entre o norte geográfico e a projeção reta da superfície do plano horizontal. Pode variar entre -180° (totalmente à esquerda, oeste), $+180^\circ$ (totalmente à direita, leste) e 0° (reto, orientado ao norte geográfico). É representado pela letra grega gama (Γ).
- **Inclinação da superfície:** Ângulo de declive entre a superfície e o plano horizontal. Pode variar entre 0° (plano horizontal) e 90° (totalmente perpendicular à superfície). É representado pela letra grega beta (β).
- **Resposta espectral:** É a densidade de corrente de curto circuito gerada pela radiação unitária de cada comprimento de onda, dentro da faixa do espectro da luz solar.
- **Performance ratio (PR) ou taxa de desempenho (TD):** É a relação entre a produtividade de um painel fotovoltaico e a quantidade de horas de sol a

1000W/m² incidentes sobre o mesmo. Na prática, é uma taxa expressa em porcentagem, que calcula o desempenho do sistema ao considerar as perdas no inversor de frequência, perdas nas conexões e perdas por aumento de temperatura nos módulos.

2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

O Efeito Fotovoltaico é considerado quando a energia solar é diretamente transformada em energia elétrica. Este processo ocorre a partir de materiais semicondutores que são caracterizados pela existência de bandas de energia. Nestas bandas uma é composta por elétrons e a outra é vazia. Outro composto que também é utilizado para este fim é o silício. Neste material os átomos apresentam quatro elétrons que se ligam com os outros elementos que estão ao redor, criando assim, uma rede.

Ao serem adicionados átomos de cinco elétrons em ligação, um dos elétrons ficará solto, sem formar nenhuma ligação com o seu átomo, nesse sentido, apresentando pouca energia térmica, este elétron se moverá para uma banda vazia. O fósforo, neste caso, será utilizado como átomo de cinco elétrons, podendo assim, se um dopante doador de elétrons, ou dopante ***n*** (CRESESB, 2006).

A introdução de átomos de três elétrons irá caracterizar uma falta de elétron. Neste local, onde há a falta de elétron é conhecido como lacuna, porém, um elétron pode se mover para ocupar a lacuna, deslocando-a de posição. O boro composto também presente neste processo, pode ser utilizado como átomo de três elétrons, sendo chamado de aceitador de elétrons ou dopante ***p*** (CRESESB, 2006).

Ao adicionar átomos de fósforo e boro em um silício puro, ocorrerá a junção ***pn***. Assim, os elétrons que se estão livres no lado ***n***, irão se mover para o lado ***p*** onde estão as lacunas. Este processo provocará um acúmulo de elétrons no lado ***p***, tornando-o carregado negativamente. Estas cargas que estão presas criam um campo elétrico que dificulta o trânsito de elétrons do lado ***n*** ao lado ***p***, ocasionando assim, um equilíbrio quando este campo consegue barrar os elétrons livres que permanecem do lado ***n*** (CRESESB, 2006). Visto isto, considera-se que um painel solar é composto por células que apresentam uma camada fina do material tipo N e

uma maior do material tipo P. Quando as partículas se unem geram um campo elétrico (Silva; Araujo, 2022).

2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFVCR)

O modo de utilização da energia advinda do painel solar fotovoltaico (associação dos módulos) pode ser um sistema:

Isolado – somente para atender a demanda local, sendo necessária a utilização de baterias para armazenar a energia produzida – Sistema Fotovoltaico Isolado (SFVI).

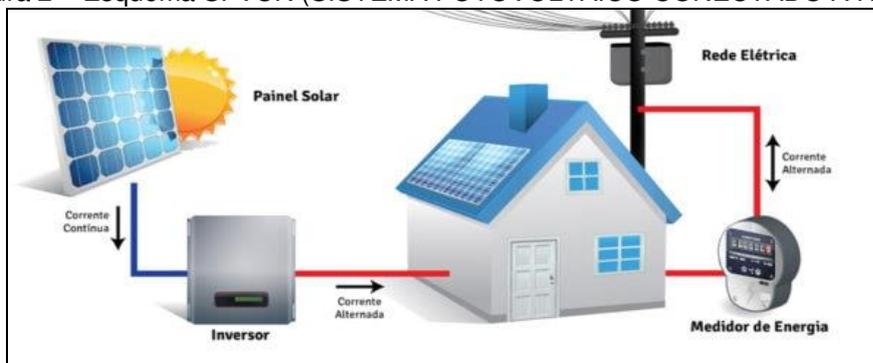
Distribuído - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR), onde a saída do inversor (Equipamento que converte corrente contínua em corrente alternada) é ligada à rede elétrica diretamente, sem fazer uso de baterias. Este sistema opera em paralelo à rede elétrica, reduzindo ou eliminando consumo da rede pública, podendo até mesmo gerar excedente de energia. A distribuição dependerá do objetivo a ser alcançado, podendo ser centralizada, no caso de usinas (parques solares) onde se injeta energia elétrica no sistema, ou descentralizada, como ocorre nas residências e indústrias com um sistema conectado à rede, onde o objetivo primário é atender a demanda local, e injetar o excedente de energia elétrica produzida na rede pública. (DEUS, 2016).

Para a bonificação deste excedente são utilizados os modos *net-metering* e *feed-in tariff*. No *net-metering*, sistema usado no Japão e Estados Unidos, a unidade consumidora, quando está produzindo energia elétrica fotovoltaica, obtém créditos em kWh, e quando não há radiação solar, ou quando a demanda energética é maior que a produzida, esses créditos são utilizados. No *feed-in*, sistema usado na Espanha e Alemanha, a unidade é considerada como minigeradora, onde o governo faz a compra de toda a energia foto gerada, sendo um meio de atrair investimentos pela iniciativa privada (ALVES, 2014). A unidade produtora/consumidora pode, opcionalmente, dispor de um medidor de energia bidirecional, para cálculo da energia consumida (quando a produção de energia solar é insuficiente para a demanda, ou horário noturno) e o cálculo da energia produzida pelos módulos fotovoltaicos (DEUS, 2016).

Em um sistema fotovoltaico conectado à rede, dependendo do arranjo dos

módulos a ser projetado, é possível obter diferentes níveis de tensão e corrente (o que implica na bitola do cabeamento) de corrente contínua. O inversor é responsável pela conversão da corrente contínua (normalmente distinta da tensão da rede local) em corrente alternada, em tensão e frequência da rede, com baixo teor de harmônicos e onda em forma senoidal (DEUS, 2016).

Figura 2 – Esquema SFVCR (SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE)



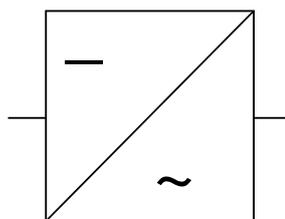
Fonte: newenergybrasil.com.br.

A energia que é produzida pelos módulos, é gerada no formato de corrente contínua. A rede pública de energia elétrica funciona com corrente alternada, logo é necessário um equipamento que converta a energia contínua em alternada. Este equipamento é o inversor. Algumas características dos inversores:

- Faixa útil de tensão de entrada: Também conhecida como tensão MPPT (Rastreamento do ponto de máxima potência). É o intervalo de valores de tensão contínua de entrada na qual o inversor pode maximizar o aproveitamento da energia dos módulos fotovoltaicos. O MPPT funciona com o algoritmo de perturbação e observação. O inversor provoca um incremento de tensão na saída dos módulos, a fim de aumentar a potência que pode ser extraída do módulo. Em certo momento, o incremento de tensão começa a provocar diminuição da potência, e o inversor inicia um decremento de tensão, até encontrar um ponto de equilíbrio (REIS et. al., 2015)
- Tensão máxima de entrada CC: É o valor máximo de tensão contínua de entrada admissível no inversor, (figura 3). Compreende a tensão obtida pela associação dos módulos fotovoltaicos em um painel.
- Corrente máxima de entrada CC: Corrente máxima suportada pelo inversor.

- Número máximo de *strings*: *Stringé* o conjunto de módulos ligados em série, para se conseguir a tensão de trabalho do inversor. Os *string*s são conectados em paralelo, a fim de aumentar a potência do sistema, por aumento de corrente. Geralmente, os inversores possuem entradas para até quatro *strings*.
- Tensão CA: Tensão de saída para conexão com a rede elétrica. Deve ser compatível com a tensão da rede elétrica local.
- Eficiência ou rendimento: É o valor percentual do quanto a energia CC é transformada em energia CA, considerando se as perdas na conversão. Bons inversores têm eficiência acima de 95%.
- Potência de pico CC: Potência máxima admitida pelo inversor, somando se todas as *strings*. É importante frisar que, se a potência de entrada for muito baixa, o inversor pode desligar por falta de tensão. Se for muito alta, o inversor trabalhará fora da faixa MPPT, sendo o mesmo subutilizado e até mesmo danificado por sobrecarga.
- Anti-ilhamento: Recurso necessário para proteção de pessoas e instalações, que consiste no desligamento do inversor em caso de falta de energia na rede pública. A ausência deste recurso irá energizar indevidamente a rede elétrica pública à qual o sistema está conectado, representando perigo para as pessoas que realizam manutenção da rede, ou a outros equipamentos ligados à mesma rede (REIS et. al., 2015).
- Medição de energia gerada: Alguns modelos de inversores medem a quantidade de energia gerada pelo painel solar.

Figura 3 – Símbolo de inversor



Fonte: Google 2023.

O uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede traz diversas vantagens, como a redução dos custos com energia elétrica, a sustentabilidade ambiental por

meio da redução das emissões de carbono e a descentralização da geração de eletricidade. No entanto, desafios como os custos iniciais de implantação, a necessidade de mão de obra qualificada e a adequação às normativas de segurança ainda são barreiras para a ampla adoção da tecnologia (Pereira et al., 2024).

2.3.1 Benefícios da energia solar fotovoltaica

Os avanços tecnológicos são responsáveis pelos surgimentos de novas fontes de energias renováveis, um exemplo destes, é a energia solar. Esta fonte foi desenvolvida com o propósito de desafogar a fonte de energia hídrica. Outro ponto relevante é que a energia solar utiliza o sol, instrumento que não tem possibilidade de acabar e que pode ser utilizado infinitamente, já que sabemos que o sol é a maior fonte de energia do planeta.

No Brasil a publicação da Resolução 482 em 2012, deu direto a população de gerar sua própria energia por meio de uma fonte limpa e sustentável. Esta fonte de energia é conhecida como Sistema Fotovoltaicos (FV) dentro da modalidade GD (Geração Distribuída). Neste sentido, o crescimento da demanda ao longo dos anos, colocou-se em pauta a segurança dos usuários e instaladores dos sistemas FV e propriedades como uma prioridade. O cenário mundial ganhou força e grandes proporções com a geração de energia através da fonte FV. Outro ponto relevante é que esse sistema ficou rentável ao bolso do consumidor final (Brito, 2023).

Para Pereira et al. (2017) o uso da energia solar é vantajoso em todo Brasil mesmo nas regiões menos favorecidas pela irradiação solar. Nesse sentido, Abiko et al. (2010) defende que os projetos habitacionais devem estar focados na busca de soluções para evitar ou minimizar os gastos com condicionamento ambiental, fornecer alternativas ao uso do chuveiro elétrico com aquecimento de água e diminuir gastos energéticos com equipamentos. O destaque maior para o uso de energias renováveis como a FV é que a população pode utilizar com mais segurança econômica do que com a energia hidráulica, pois, o uso de qualquer objeto que consuma muita energia, irá trazer um aumento financeiro significativo para o usuário.

Diversos países do mundo já utilizam as fontes de energias alternativas e renováveis para substituir as fontes tradicionais, para que assim, possam reduzir os impactos ambientais provenientes da geração de energia, visando ampliar a oferta e

a diversificação da matriz energética, perante a demanda crescente. A ordem mundial é desenvolver mais ainda os meios autossuficiente em geração de energia, e que atendam a demanda interna de um país (Maio, 2014).

2.4 NORMATIVAS DE SEGURANÇA APLICÁVEIS

As normatizações técnicas são elaboradas por membros da sociedade civil, grupos de profissionais, fabricantes e associações que buscam estabelecer soluções relacionadas aos assuntos recorrentes ou rotineiros do campo profissional, são processos de formulação de regras para solução e prevenção de problemas, sempre com a cooperação das partes interessadas. Na construção destas regras, é comum o uso de tecnologias existentes para que possam estabelecer que produtos, sistemas, serviços, processos e outras atividades, atendam às finalidades para qual foram previamente concebidas (FREITAS, 2019).

Segundo (ABNT, 2023), “Norma é o documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece regras, diretrizes ou características mínimas para atividades ou para resultados, visando a obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto”.

Neste Estudo trazemos as principais normas que envolvem o tema e servem como norteadoras nas atividades de projeto, instalação e montagens de equipamentos instalados citados neste estudo. Por exemplo:

- -NBR-5410: Instalações elétricas de baixa tensão;
- -NBR-5419: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas;
- -NBR-16.149: Sistemas fotovoltaicos, características da interface de conexão com rede elétrica de distribuição;
- -NBR-16.150: Sistemas fotovoltaicos, características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição e procedimento de ensaio de conformidade;
- -NBR/IEC-62116: Procedimento de ensaio anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;
- -NBR-11704: Sistemas fotovoltaicos e classificação.

As normas regulamentares ou regulamentadoras são elaboradas por uma

comissão tripartite (CTPP), esta, também composta pelo Ministério do Trabalho e Emprego, são de cunho obrigatório e o objetivo principal de proteger e fornecer subsídios à integridade e saúde do trabalhador:

As Normas Regulamentadoras – NR, relativas à segurança e medicina do trabalho, são de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos de administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos poderes legislativos e judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho – CLT (Atlas, 1989, p.59).

Algumas destas NRs são de suma importância para a realização deste trabalho, estando elencadas somente as normas relacionadas às atividades de projeto, instalação e manutenção dos equipamentos utilizados nas atividades laborais que envolvem a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos.

2.4.1 NR 06 (Equipamentos de Proteção Individual)

A NR 6 estabelece requisitos para a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), essenciais para a segurança dos trabalhadores. No setor elétrico, os principais EPIs incluem luvas isolantes, calçados de segurança, capacetes com isolamento elétrico, cintos de segurança para trabalho em altura e óculos de proteção (Souza; Souza; Minori, 2019).

Esta norma regulamenta a qualidade e responsabilidade na fabricação, aquisição e utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPI's), por fabricantes, empregadores e empregados.

Para os fins de aplicação desta NR considera-se EPI o dispositivo ou produto de uso individual utilizado pelo trabalhador, concebido e fabricado para oferecer proteção contra os riscos ocupacionais existentes no ambiente de trabalho, conforme previsto no Anexo I. (BRASIL, NR6 p.02).

Equipamentos utilizados para proteção de trabalhadores devem ser devidamente homologados e certificados através do Certificado de Aprovação de qualidade (CA) expedido por empresas especializadas e registradas no Ministério do Trabalho e Emprego (Atlas, 2017).

Os trabalhadores devem utilizar EPI's, como capacetes de proteção contra impactos ocasionados por objetos sobre o crânio, capuz ou bala clava contra riscos

de origem térmica, óculos para proteção contra luminosidade intensa, luvas e calçados com níveis de isolamento elétrica e proteção contra impactos, macacão, cinturão de segurança com dispositivos de trava para operações verticais e horizontais, entre outros equipamentos (Atlas, 2017).

No contexto da instalação e manutenção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), os trabalhadores estão expostos a riscos elétricos, quedas em altura, esforços ergonômicos inadequados e contato com superfícies quentes ou cortantes. Dessa forma, a correta utilização dos EPIs é fundamental para minimizar consequências em caso de acidentes e assegurar a conformidade com as normas de segurança estabelecidas para o setor.

De acordo com a NR 06, os EPIs devem ser fornecidos gratuitamente pelo empregador e precisam estar em perfeitas condições de uso, adequados ao risco específico de cada atividade e acompanhados do Certificado de Aprovação (CA) emitido pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). A norma também determina que os trabalhadores recebam treinamento adequado para o uso correto dos equipamentos, incluindo sua higienização, conservação e substituição quando necessário.

Para os profissionais que atuam na instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos, alguns EPIs são essenciais para mitigar riscos específicos, tais como:

1. Capacete de segurança com isolamento elétrico: Protege contra impactos na cabeça e contra possíveis choques elétricos devido ao contato acidental com partes energizadas dos sistemas fotovoltaicos. Modelos com jugular são recomendados para trabalhos em altura, garantindo maior fixação do equipamento.
2. Óculos de proteção ou protetor facial: Imprescindível para evitar lesões oculares causadas por partículas em suspensão, fagulhas e exposição a reflexos solares intensos durante o manuseio dos módulos fotovoltaicos. Os óculos devem possuir tratamento contra raios ultravioleta (UV) e resistência ao impacto mecânico.
3. Luvas isolantes para eletricidade e luvas de proteção mecânica: As luvas isolantes são fabricadas em borracha especial e utilizadas para proteger contra choques elétricos, devendo ser escolhidas de acordo com a classe de isolamento necessária para a voltagem do sistema. Já as luvas de proteção

mecânica, geralmente feitas de couro ou materiais resistentes, protegem as mãos contra cortes e abrasões durante a instalação dos painéis solares e manuseio de ferramentas.

4. Cinto de segurança tipo paraquedista e talabarte: Indispensáveis para trabalhos em altura, esses EPIs garantem a segurança do trabalhador ao minimizar o risco de quedas durante a instalação dos módulos fotovoltaicos em telhados, postes e estruturas elevadas. O uso do cinto deve estar sempre associado a um sistema de ancoragem adequado, conforme as exigências da NR 35.
5. Botinas ou calçados de segurança com isolamento elétrico e solado antiderrapante: Reduzem o risco de choques elétricos por contato acidental e evitam escorregamentos em superfícies inclinadas ou molhadas. Modelos com biqueira de aço ou composite oferecem maior proteção contra impactos e objetos cortantes.
6. Protetores auriculares: Embora os sistemas fotovoltaicos não gerem altos níveis de ruído, o uso de ferramentas elétricas durante a instalação, como furadeiras e esmerilhadeiras, pode causar exposição a sons intensos. Os protetores auriculares reduzem o impacto sonoro e previnem danos auditivos a longo prazo.
7. Roupas de proteção contra arco elétrico e exposição solar: Os trabalhadores que realizam a instalação dos SFVCR frequentemente ficam expostos a longos períodos de radiação solar direta, o que pode resultar em queimaduras e insolação. Portanto, é recomendado o uso de vestimentas de mangas longas e com proteção UV. Além disso, para atividades que envolvem risco elétrico, tecidos com resistência a arco elétrico são necessários.

A correta utilização desses EPIs reduz significativamente os riscos associados às atividades de instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos, mas sua eficácia depende também de treinamentos periódicos e da adoção de medidas coletivas de segurança. Além disso, os equipamentos devem passar por inspeções regulares para garantir que estejam em boas condições de uso. Conforme apontado por Freitas (2019) e Pereira et al. (2024), a negligência na adoção de EPIs e a falta de conhecimento sobre sua importância são fatores que contribuem para a elevada incidência de acidentes no setor fotovoltaico.

Portanto, é imprescindível que as empresas do setor de energia solar adotem uma política rigorosa de fornecimento, treinamento e fiscalização do uso de EPIs, alinhada às exigências da NR 06 e das demais normas regulamentadoras aplicáveis. Dessa forma, é possível promover um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente, garantindo a proteção dos profissionais e a qualidade das instalações realizadas.

2.4.2 NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade)

A Norma Regulamentadora nº 10 (NR 10) estabelece requisitos e medidas de controle para garantir a segurança dos trabalhadores que interagem com instalações elétricas e serviços que envolvem eletricidade. Aplicável a todas as etapas do processo elétrico, desde a geração até o consumo final, a NR 10 visa minimizar riscos ocupacionais associados ao choque elétrico, arco elétrico, curto-circuitos e explosões, que podem resultar em queimaduras graves, lesões permanentes ou até mesmo óbito. No contexto da instalação e manutenção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), essa norma é fundamental, pois as atividades envolvem a manipulação de sistemas elétricos que operam em corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA), além de exposição a altas tensões e fontes de energia que continuam energizadas mesmo quando desconectadas da rede.

Um dos princípios fundamentais da NR 10 é a qualificação profissional obrigatória dos trabalhadores que atuam diretamente com eletricidade. Todos os profissionais envolvidos na instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos devem receber treinamento específico sobre os riscos elétricos e medidas de controle, conforme determinado no curso básico de NR 10, que tem uma carga horária mínima de 40 horas. Além disso, para aqueles que trabalham com alta tensão, é exigida a capacitação adicional de NR 10 - SEP (Sistema Elétrico de Potência), abordando medidas específicas para instalações com potência elevada. A negligência nesse requisito compromete significativamente a segurança, tornando os trabalhadores vulneráveis a acidentes fatais.

A NR 10 também exige o uso de equipamentos de proteção coletiva (EPCs) e a implementação de medidas de engenharia que garantam um ambiente de trabalho seguro. Entre os EPCs mais relevantes para o setor fotovoltaico, destacam-se os quadros de distribuição isolados, barreiras físicas para evitar contato acidental com

partes energizadas, sinalizações de alerta de risco elétrico e aterramento adequado dos componentes do sistema. O aterramento é um fator crítico nos sistemas fotovoltaicos, pois reduz o risco de choque elétrico ao desviar correntes de fuga para a terra, garantindo a estabilidade do circuito elétrico e a segurança dos profissionais.

Além disso, a NR 10 estabelece diretrizes para o trabalho em instalações elétricas energizadas e desenergizadas. Para minimizar os riscos, recomenda-se sempre que possível realizar atividades em circuitos desenergizados, utilizando bloqueio e sinalização adequados para evitar religamentos acidentais. Contudo, em casos onde a desenergização não é viável, o trabalho deve ser realizado com procedimentos operacionais rigorosos, incluindo isolamento da área, uso obrigatório de luvas isolantes, vestimentas de proteção contra arco elétrico e ferramentas devidamente isoladas. No setor fotovoltaico, mesmo quando desconectados da rede elétrica pública, os painéis solares continuam gerando energia quando expostos à luz, o que exige técnicas específicas para manuseio seguro.

Outro aspecto fundamental abordado pela NR 10 é a análise de risco antes da execução das atividades elétricas. Essa análise deve considerar fatores como as condições do ambiente de trabalho, os equipamentos envolvidos, a presença de umidade, proximidade de materiais inflamáveis e a possibilidade de indução eletromagnética. Para a instalação de sistemas fotovoltaicos, essa análise se torna essencial, pois as condições ambientais, como telhados inclinados e superfícies metálicas condutoras, podem aumentar o risco de acidentes elétricos.

A NR 10 também determina que todas as instalações elétricas, incluindo os sistemas fotovoltaicos, devem contar com documentação técnica atualizada, abrangendo esquemas unifilares, diagramas elétricos, laudos de inspeção e registros de manutenção preventiva. Essa exigência visa garantir que todas as modificações e operações realizadas no sistema sejam documentadas e que haja um histórico de intervenções, facilitando a identificação de potenciais falhas e evitando acidentes devido a instalações inadequadas.

A responsabilidade pelo cumprimento da NR 10 recai tanto sobre os empregadores quanto sobre os trabalhadores. Os empregadores devem garantir a implementação das medidas de segurança, fornecendo treinamentos periódicos, EPIs e EPCs adequados e promovendo um ambiente de trabalho seguro. Já os trabalhadores devem seguir rigorosamente os procedimentos de segurança, utilizar

corretamente os equipamentos fornecidos e comunicar qualquer irregularidade identificada durante a execução das atividades.

Na geração distribuída de energia elétrica com o uso de painéis fotovoltaicos, a norma regulamentadora NR – 10 é principal norma a ser respeitada, pois em todas as unidades geradoras, e em qualquer arranjo ou tecnologia utilizada, há a exposição das instalações e equipamentos à energia elétrica, independente de níveis de tensão, corrente ou frequências (CUNHA, 2010).

A energia elétrica expõe o trabalhador a uma forma de risco físico quando um corpo interage com um ponto que apresenta uma potência diferente da existente no corpo, por ele irá circular uma corrente elétrica, onde chamamos de choque elétrico (figura 4). A circulação dessa corrente provoca aquecimento e contração dos músculos” (LIMA, 2018).

Figura 4 - Choque elétrico.



Fonte: google 2023

Em caso de acidentes que envolva choque elétrico a pessoa vitimada pode sofrer consequências graves como queimaduras de primeiro, segundo ou terceiro grau, podendo também, prendendo-se aos equipamentos energizados devido à contração muscular nas mãos, ou ser arremessada a distância, causando lesões agravadas pelo fato de os painéis fotovoltaicos serem instalados em ambientes com alturas superiores a 2 metros.

A aplicação da NR 10 no setor de energia fotovoltaica não apenas reduz os riscos de acidentes, mas também contribui para a eficiência e confiabilidade das instalações. A negligência no cumprimento dessa norma pode resultar em penalidades legais, além de comprometer a integridade dos trabalhadores e a durabilidade dos sistemas fotovoltaicos. Dessa forma, a conformidade com a NR 10

deve ser considerada uma prioridade essencial em qualquer projeto de energia solar conectado à rede.

2.4.3 NR 17 (Ergonomia)

A Norma Regulamentadora nº 17 (NR 17) estabelece diretrizes para garantir condições de trabalho adequadas sob o aspecto ergonômico, reduzindo impactos negativos à saúde dos trabalhadores e melhorando sua produtividade. No setor de energia fotovoltaica, os riscos ergonômicos são uma preocupação significativa, uma vez que a instalação e manutenção dos sistemas envolvem atividades físicas intensas, como o levantamento e transporte de módulos solares, a fixação de estruturas metálicas em telhados e longos períodos de trabalho em posturas inadequadas. O não cumprimento das diretrizes ergonômicas pode resultar em fadiga excessiva, dores musculoesqueléticas e, em longo prazo, no desenvolvimento de lesões crônicas, como tendinites e lombalgias.

O transporte e a movimentação manual de cargas são atividades comuns nesse setor e apresentam alto risco ergonômico, especialmente devido ao peso e dimensões dos painéis solares, que podem dificultar seu manuseio adequado. De acordo com a NR-17, o levantamento de cargas deve ser realizado de maneira segura, preferencialmente com o auxílio de equipamentos mecânicos sempre que possível, evitando que os trabalhadores façam esforço excessivo. Além disso, recomenda-se que os painéis sejam armazenados em locais de fácil acesso e manuseio, minimizando a necessidade de deslocamentos longos ou em terrenos irregulares, o que pode aumentar o risco de quedas e acidentes.

Atividades de projeto, instalação e manutenção dos arranjos estudados são realizadas por trabalhadores de diversas idades, diferentes características psicofisiológicas e capacidades individuais diferenciadas, que devem ser consideradas no momento da contratação, alinhando as características individuais aos cargos exercidos (Freitas, 2019).

A sobrecarga de peso, de rotinas ou de níveis de estresse podem desencadear doenças ocupacionais e o comprometimento da saúde do trabalhador.

Esta Norma Regulamentadora visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características

psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. As condições de trabalho incluem aspectos relacionados ao levantamento, transporte e descarga de materiais, ao mobiliário, aos equipamentos e às condições ambientais do posto de trabalho e à própria organização do trabalho (NR-17, 2021, p. 14).

Projetistas de sistemas de energia elétrica devem exercer estas funções em locais com conforto térmico, luminoso e ambiente climatizado, pois necessitam de concentração ao realizar o trabalho, cujos detalhes são de extrema importância, exigindo solicitações intelectuais e de atenção constante. Em atividades prolongadas é necessário que o mobiliário como bancadas, mesas, cadeiras, equipamentos que compõe o posto de trabalho, bem como o posicionamento de monitores e teclados, estejam adequados às características físicas do trabalhador. Estas sugestões deverão ser consideradas para a prevenção de lesões ou doenças ocupacionais futuras (Atlas, 2017).

Nas atividades de instalações e manutenções, os cuidados que devem ser observados são no tocante da capacidade de carregamento de peso, transporte e acomodações de cargas e compatibilidade da capacidade de força individual às atividades executadas (Atlas, 2017).

Outro fator relevante são as posturas inadequadas e esforços repetitivos durante a instalação dos sistemas fotovoltaicos. Muitas vezes, os trabalhadores precisam permanecer ajoelhados, agachados ou inclinados por longos períodos, o que pode comprometer a coluna vertebral e as articulações. A NR 17 enfatiza a importância de pausas regulares, rotação de atividades e a utilização de suportes ou ferramentas que reduzam o impacto físico. Além disso, recomenda-se que as empresas forneçam treinamentos sobre técnicas adequadas de movimentação e manuseio de equipamentos, garantindo que os trabalhadores adotem posturas corretas para minimizar desgastes físicos.

A exposição prolongada ao calor e à radiação solar durante a instalação de painéis em telhados ou áreas externas, mesmo sendo riscos físicos combinados a outros riscos ergonômicos já citados trazem um alerta importante sobre a melhor forma de minimizar estas exposições, a NR 17 orienta que sejam adotadas medidas para garantir o conforto térmico dos trabalhadores, como a utilização de vestimentas adequadas, hidratação constante e a realização de pausas em locais sombreados. O planejamento das atividades também deve considerar a alternância entre períodos

de exposição direta ao sol e momentos de descanso, prevenindo quadros de exaustão térmica e insolação.

A adequação do ambiente de trabalho de acordo com os princípios ergonômicos da NR 17 não apenas melhora a saúde e segurança dos trabalhadores, mas também otimiza a eficiência operacional do setor fotovoltaico. A implementação de práticas ergonômicas reduz afastamentos por problemas de saúde, melhora a produtividade e contribui para a longevidade dos profissionais na área. Dessa forma, a conformidade com essa norma deve ser encarada como um investimento essencial para a sustentabilidade e segurança do trabalho no setor de energia solar.

2.4.4 NR 35 (Trabalho em Altura)

A Norma Regulamentadora nº 35 (NR 35) trata das diretrizes para a realização de atividades em altura, estabelecendo requisitos mínimos de segurança para proteger os trabalhadores contra quedas. No setor fotovoltaico, essa norma é de extrema importância, pois a instalação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) frequentemente ocorre em telhados de edificações, galpões industriais e outras estruturas elevadas, onde há risco considerável de acidentes graves. A aplicação da NR 35 busca garantir que os trabalhadores tenham condições adequadas para realizar suas tarefas com segurança, minimizando os riscos associados às quedas.

De acordo com a NR-35 um dos fatores que contribui para as causas de acidentes de trabalho graves e fatais são os eventos que envolvem as quedas de trabalhadores de diferentes níveis. Essa problemática existe em vários segmentos de trabalho. A criação dessa Norma Regulamentadora foi desenvolvida para atender a todos os ramos de atividade e é relevante para assegurar um ambiente de trabalho seguro para o trabalhador (BRASIL 2022).

A NR-35 determina que o trabalho desenvolvido em altura deve ser devidamente planejado, para que dessa forma seja possível evitar a exposição do trabalhador a determinados riscos no ambiente de trabalho. Esta norma propõe a utilização dos possíveis riscos para a implantação de medidas adequadas, pela utilização de metodologias de análise de risco e de instrumentos como as

Permissões de Trabalho, conforme as situações de trabalho, para que o trabalhador desenvolva sua função com a máxima segurança (BRASIL, 2022).

Entre os principais requisitos da NR 35 está a capacitação obrigatória dos trabalhadores para a realização de atividades em altura. Todos os profissionais envolvidos na instalação e manutenção de painéis solares devem passar por treinamentos específicos, onde aprendem a utilizar corretamente os equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletiva (EPCs), além de técnicas seguras de movimentação e fixação em locais elevados. Esse treinamento deve ser periódico, garantindo que os trabalhadores estejam sempre atualizados quanto às melhores práticas e protocolos de segurança.

O uso adequado de EPIs é essencial para minimizar os riscos de queda. A NR 35 exige a utilização de cintos de segurança tipo paraquedista com talabarte de segurança duplo e sistemas de ancoragem adequados, que devem ser inspecionados regularmente. Além disso, os trabalhadores devem contar com linhas de vida horizontais e verticais, permitindo que estejam sempre conectados a um ponto seguro durante a execução das atividades. Outra recomendação fundamental é a inspeção rigorosa dos telhados antes da instalação dos módulos solares, garantindo que a estrutura tenha resistência suficiente para suportar a movimentação dos profissionais e equipamentos.

A organização e planejamento das atividades também são aspectos fundamentais na NR 35. As empresas devem realizar análises de risco antes do início dos trabalhos, considerando fatores como condições meteorológicas, inclinação dos telhados, estabilidade das superfícies de apoio e presença de materiais escorregadios. Além disso, deve ser assegurado que haja um plano de resgate emergencial, com procedimentos bem definidos para agir rapidamente em caso de queda ou acidente.

A implementação rigorosa das medidas de segurança previstas na NR 35 reduz significativamente o número de acidentes no setor de energia solar, garantindo que os trabalhadores possam desempenhar suas funções sem comprometer sua integridade física. Dessa forma, o cumprimento dessa norma deve ser tratado como uma prioridade dentro das empresas do ramo fotovoltaico, assegurando que a segurança dos profissionais seja sempre preservada.

2.4.5 ABNT NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão)

A ABNT NBR 5410 estabelece as condições mínimas para a realização de instalações elétricas de baixa tensão, garantindo segurança, funcionalidade e eficiência nos sistemas elétricos. No contexto dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), essa norma é essencial para evitar falhas elétricas, sobrecargas, curtos-circuitos e incêndios que podem comprometer a integridade da instalação e a segurança dos trabalhadores e usuários. A correta aplicação da NBR 5410 reduz os riscos de acidentes elétricos e garante a confiabilidade do sistema fotovoltaico ao longo do tempo.

Uma das principais exigências da norma é a correta proteção contra sobrecarga e curto-circuito, utilizando dispositivos como disjuntores e fusíveis dimensionados adequadamente. Esses componentes são essenciais para interromper a corrente elétrica em situações anormais, evitando superaquecimentos que podem danificar os equipamentos e provocar incêndios. No caso dos sistemas fotovoltaicos, é fundamental que a instalação siga as especificações de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA), garantindo compatibilidade com os inversores solares e os demais componentes do sistema.

A NBR 5410 também determina a obrigatoriedade do aterramento elétrico, um fator crítico para a segurança das instalações fotovoltaicas. O aterramento adequado reduz o risco de choque elétrico e protege os equipamentos contra surtos elétricos e descargas atmosféricas. Além disso, a norma exige a instalação de dispositivos de proteção contra surtos (DPS), que atuam diretamente na prevenção de danos causados por raios e variações de tensão inesperadas na rede elétrica.

Outro aspecto relevante da NBR 5410 é a exigência de que as instalações elétricas sejam projetadas e executadas por profissionais qualificados e certificados. O não cumprimento dessa exigência pode resultar em instalações inseguras, propensas a falhas e incidentes elétricos. Além disso, a norma prevê inspeções periódicas, garantindo que a instalação continue operando de maneira segura e eficiente ao longo do tempo.

A aplicação da ABNT NBR 5410 nas instalações fotovoltaicas é fundamental para assegurar que os sistemas sejam implementados de acordo com padrões técnicos reconhecidos, promovendo segurança, durabilidade e eficiência energética.

Dessa forma, sua observância deve ser tratada como um requisito indispensável em qualquer projeto de energia solar, assegurando a conformidade com as melhores práticas do setor elétrico.

2.5 RISCOS ASSOCIADOS À INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SFVCR

2.5.1 Riscos Elétricos

Os riscos elétricos representam um dos maiores desafios na instalação e manutenção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), pois esses sistemas operam tanto em corrente contínua (CC) quanto em corrente alternada (CA), tornando a manipulação dos equipamentos uma atividade potencialmente perigosa. O choque elétrico é um dos riscos mais críticos, podendo causar queimaduras, arritmias cardíacas e até mesmo morte por eletrocussão. Segundo Souza, Souza e Minori (2019), o manuseio inadequado de condutores e inversores pode resultar em acidentes fatais, especialmente quando os trabalhadores não utilizam equipamentos de proteção adequados ou não seguem os protocolos de segurança exigidos pela NR 10.

Além dos choques elétricos, os sistemas fotovoltaicos também apresentam riscos relacionados ao arco elétrico, um fenômeno causado pela passagem de corrente elétrica através do ar entre dois condutores, gerando calor intenso e podendo levar a incêndios e explosões. A literatura aponta que falhas no isolamento dos circuitos, conexões mal feitas e o uso de materiais inadequados são fatores que contribuem para a ocorrência desse tipo de acidente (Moreira, De Sá e Fernandes, 2023). Isso reforça a necessidade de inspeções regulares nos sistemas fotovoltaicos e da correta aplicação das normas técnicas, como a ABNT NBR 5410, Instalações elétricas de baixa tensão, 2008, que fixa as condições nas quais devem ser estabelecidas e mantidas as instalações elétricas alimentadas sob uma tensão nominal igual, ou inferior, a 1000 volts em corrente alternada com frequência inferiores a 10 000 Hz, ou a 1 500 volts em corrente contínua, a fim de garantir seu bom funcionamento, a segurança das pessoas, dos animais domésticos e a conservação dos bens.

Outro risco significativo é a indução eletromagnética, que pode gerar tensões inesperadas em partes metálicas do sistema, tornando-as perigosas ao contato. Esse fenômeno ocorre quando condutores de diferentes circuitos estão próximos, induzindo tensões indesejadas, o que pode comprometer a segurança dos trabalhadores. Oliveira et al. (2018) destacam que a falta de aterramento adequado nos painéis solares pode potencializar esse risco, tornando imprescindível a adoção de sistemas eficientes de proteção contra surtos elétricos e descargas atmosféricas.

A falta de manutenção preventiva também pode ser um fator agravante para os riscos elétricos. Pereira et al. (2024) relatam que a presença de sujeira, oxidação e conexões frouxas pode gerar aumento da resistência elétrica nos contatos, levando ao superaquecimento e, conseqüentemente, a incêndios em sistemas fotovoltaicos. Dessa forma, é fundamental a realização de vistorias periódicas e a substituição de componentes desgastados para evitar acidentes.

A negligência no cumprimento das normas de segurança e a ausência de capacitação técnica adequada aumentam significativamente os riscos elétricos nas instalações fotovoltaicas. Conforme Souza, Souza e Minori (2019), a falta de conhecimento sobre os procedimentos corretos para desligamento e isolamento de circuitos elétricos é uma das principais causas de acidentes no setor. Portanto, a implementação de treinamentos específicos e o cumprimento rigoroso das normas regulamentadoras são indispensáveis para garantir a segurança dos trabalhadores e a eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

2.5.2 Riscos Ergonômicos e de Acidentes

Os riscos ergonômicos e de acidentes na instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos estão diretamente relacionados à postura inadequada, levantamento de cargas pesadas, esforços repetitivos e trabalho em altura, fatores que podem comprometer a saúde e segurança dos trabalhadores. Durante a instalação dos painéis solares, os profissionais frequentemente realizam atividades em telhados inclinados, o que exige posturas forçadas e aumenta o risco de dores musculoesqueléticas e lesões lombares. Segundo Maas, Grillo e Sandri (2018), a falta de adequação ergonômica no ambiente de trabalho pode levar a quadros de fadiga extrema, afetando o desempenho e a segurança dos trabalhadores.

O levantamento manual de cargas é outro fator de risco relevante. Os painéis fotovoltaicos possuem dimensões grandes e podem pesar mais de 20 kg, o que exige um esforço físico considerável por parte dos trabalhadores. Ferreira, Cardoso e Oliveira (2017) apontam que o transporte inadequado desses equipamentos pode resultar em lesões nos ombros, braços e coluna vertebral, especialmente quando realizado sem pausas adequadas e sem o uso de suportes mecânicos. Dessa forma, a adoção de equipamentos auxiliares, como carrinhos e guindastes, e a capacitação dos trabalhadores sobre técnicas corretas de levantamento de peso são essenciais para mitigar esses riscos.

Além dos riscos ergonômicos, há também os riscos de quedas durante a instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos. A NR 35 estabelece diretrizes para o trabalho em altura, exigindo o uso de cintos de segurança, linhas de vida e pontos de ancoragem seguros. No entanto, Garcia e Locastro (2023) ressaltam que muitas empresas ainda negligenciam esses requisitos, colocando seus trabalhadores em risco de quedas fatais. O uso inadequado de escadas e andaimes, aliado à falta de treinamento para deslocamento seguro em superfícies inclinadas, também contribui para o aumento da incidência de acidentes.

Outro aspecto crítico é a exposição a fatores climáticos adversos, como calor excessivo, radiação solar intensa e ventos fortes. A exposição prolongada ao sol pode causar insolação, desidratação e exaustão térmica, comprometendo a capacidade cognitiva e física dos trabalhadores. Souza et al. (2020) enfatizam que a adoção de pausas regulares, hidratação frequente e uso de vestimentas adequadas pode reduzir significativamente os impactos dessas condições ambientais.

Portanto, a mitigação dos riscos ergonômicos e de acidentes no setor fotovoltaico exige um planejamento adequado das atividades, a disponibilização de equipamentos ergonômicos, treinamentos específicos para manuseio correto dos materiais e a implementação rigorosa das normas de segurança. A falta de atenção a esses aspectos não apenas compromete a saúde dos trabalhadores, mas também pode impactar a qualidade e eficiência das instalações fotovoltaicas.

2.5.3 Falta de Conhecimento Técnico e Cumprimento de Normas

A falta de conhecimento técnico e o descumprimento das normas regulamentadoras são fatores que contribuem significativamente para os acidentes no setor de energia fotovoltaica. Muitos trabalhadores iniciam suas atividades sem treinamento adequado, desconhecendo os riscos elétricos e as exigências normativas para a instalação segura dos sistemas. Zanette et al. (2018) destacam que o baixo nível de capacitação técnica resulta em procedimentos inseguros, como conexões elétricas mal executadas, uso inadequado de equipamentos de proteção individual (EPIs) e manipulação imprópria de ferramentas.

Além disso, a não observância das normas regulamentadoras, como NR 10, NR 35 e ABNT NBR 5410, pode comprometer a segurança das instalações fotovoltaicas. Ferreira et al. (2024) apontam que muitas empresas do setor negligenciam a aplicação dessas normas, seja por desconhecimento ou por falta de fiscalização. Esse descaso pode resultar em falhas estruturais e elétricas, aumentando os riscos de curtos-circuitos, incêndios e choques elétricos.

Outro fator agravante é a falta de cultura de segurança no ambiente de trabalho. Garcia e Locastro (2023) afirmam que, em muitas empresas, há uma resistência em adotar protocolos rigorosos de segurança devido à falsa percepção de que seguir normas detalhadas pode atrasar a execução dos projetos. No entanto, essa mentalidade ignora que a prevenção de acidentes reduz custos operacionais a longo prazo, além de preservar a vida dos trabalhadores.

A fiscalização insuficiente por parte dos órgãos reguladores também contribui para a negligência na aplicação das normas de segurança. De acordo com Moreira, De Sá e Fernandes (2023), a ausência de inspeções regulares e a falta de penalidades para empresas que descumprem as normas incentivam práticas inseguras no setor. Isso demonstra a necessidade de uma maior fiscalização e implementação de programas de capacitação obrigatórios para todos os profissionais envolvidos com a energia fotovoltaica.

Portanto, garantir a segurança dos trabalhadores e a eficiência das instalações fotovoltaicas requer investimentos contínuos em capacitação técnica, cumprimento rigoroso das normas regulamentadoras e fortalecimento da cultura de segurança. Empresas e profissionais precisam estar conscientes de que a

negligência nesses aspectos pode resultar em acidentes graves e prejuízos financeiros irreversíveis.

2.6 MEDIDAS PREVENTIVAS E PROTOCOLOS DE SEGURANÇA

2.6.1 Treinamento e Capacitação

O treinamento e a capacitação dos trabalhadores são elementos essenciais para garantir a segurança e a eficiência nas instalações e manutenções de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR). Devido aos riscos inerentes à manipulação de circuitos elétricos, à realização de atividades em altura e à necessidade de adoção de boas práticas ergonômicas, a qualificação profissional se torna um fator determinante na prevenção de acidentes. Segundo Souza, Souza e Minori (2019), a falta de conhecimento técnico adequado sobre os sistemas fotovoltaicos pode resultar em falhas na instalação, riscos de choque elétrico e até incêndios em sistemas mal dimensionados.

A capacitação deve abranger tanto o conhecimento técnico sobre o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos quanto os procedimentos de segurança estabelecidos por normas regulamentadoras, como a NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade), a NR 35 (Trabalho em Altura) e a ABNT NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão). Além disso, os treinamentos devem incluir simulações práticas de instalação e manutenção, garantindo que os trabalhadores saibam como agir em situações reais. De acordo com Maas, Grillo e Sandri (2018), a capacitação contínua não apenas reduz os índices de acidentes, mas também melhora a qualidade dos serviços prestados, contribuindo para maior confiabilidade e durabilidade dos sistemas fotovoltaicos.

Outro aspecto relevante da capacitação profissional é a conscientização sobre a importância do uso correto dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Coletiva (EPCs). Muitos trabalhadores ignoram ou utilizam inadequadamente os equipamentos de segurança, aumentando a exposição a riscos. Ferreira, Cardoso e Oliveira (2017) enfatizam que programas de treinamento que destacam os perigos reais das atividades desempenhadas aumentam a adesão às normas de segurança e promovem uma cultura organizacional mais responsável.

Além dos treinamentos básicos, é fundamental que os trabalhadores participem de cursos de atualização periódicos, uma vez que novas tecnologias e normativas podem ser implementadas ao longo do tempo. Garcia e Locastro (2023) ressaltam que a atualização constante dos profissionais do setor é essencial para acompanhar a evolução da tecnologia fotovoltaica e garantir que as instalações sejam realizadas conforme os padrões técnicos mais modernos. Assim, investir em qualificação contínua é uma estratégia não apenas para a segurança, mas também para o aprimoramento do setor energético como um todo.

Por fim, a adoção de uma política rigorosa de capacitação pode impactar diretamente os índices de acidentes e o desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Empresas que oferecem treinamentos regulares tendem a reduzir custos com afastamentos por lesões, aumentar a produtividade dos trabalhadores e garantir instalações mais eficientes e seguras. Dessa forma, a capacitação profissional deve ser vista como um investimento estratégico para o crescimento sustentável da energia solar no Brasil.

2.6.2 Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Coletiva

Os Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs) e Individual (EPIs) desempenham um papel fundamental na prevenção de acidentes e na mitigação dos riscos associados à instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos. Os EPIs são destinados à proteção individual do trabalhador, enquanto os EPCs são medidas de segurança implementadas no ambiente de trabalho para reduzir os riscos coletivos. De acordo com Pereira et al. (2024), o uso adequado desses equipamentos reduz significativamente as chances de lesões graves e aumenta a confiabilidade das operações.

Dentre os principais EPIs utilizados no setor fotovoltaico, destacam-se o capacete de segurança com isolamento elétrico, os óculos de proteção contra partículas e radiação ultravioleta, as luvas isolantes para eletricidade, as botinas de segurança dielétricas com solado antiderrapante, além dos cintos de segurança tipo paraquedista para atividades em altura. Souza, Souza e Minori (2019) ressaltam que a negligência no uso desses equipamentos é uma das principais causas de acidentes graves, especialmente no que diz respeito a quedas e choques elétricos.

Os Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs) incluem barreiras de isolamento, placas de sinalização de risco elétrico, sistemas de aterramento eficiente, linhas de vida para trabalhos em altura e dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS). Oliveira et al. (2018) destacam que os EPCs desempenham um papel crucial na redução dos riscos, pois criam um ambiente de trabalho mais seguro para todos os profissionais envolvidos, minimizando a exposição direta aos perigos das instalações elétricas.

Além da disponibilização dos EPCs e EPIs, é fundamental que haja inspeções regulares para garantir que esses equipamentos estejam em perfeitas condições de uso. Ferreira, Cardoso e Oliveira (2017) apontam que muitos acidentes ocorrem devido ao uso de EPIs desgastados ou inadequados para determinada atividade. Assim, as empresas devem estabelecer programas de manutenção e substituição periódica dos equipamentos, assegurando sua eficácia.

A conscientização sobre a importância dos EPCs e EPIs também deve ser reforçada nos treinamentos, de forma que os trabalhadores compreendam que esses equipamentos não são apenas exigências legais, mas sim ferramentas indispensáveis para sua própria segurança, precisamos também deixar claro que de maneira hierárquica devemos sempre adotar primeiro medidas de proteção coletivas como explicito no item 9.3.5.4 da NR 9. Dessa forma, garantir a correta utilização desses dispositivos é um dos pilares para a prevenção de acidentes no setor fotovoltaico, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo.

2.6.3 Protocolos de Emergência

A implementação de protocolos de emergência é essencial para garantir respostas rápidas e eficazes em situações críticas durante a instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos. O setor elétrico apresenta riscos elevados, e a ausência de medidas adequadas para lidar com emergências pode agravar os danos em caso de acidentes. Segundo Moreira, De Sá e Fernandes (2023), falhas nos sistemas fotovoltaicos podem resultar em curtos-circuitos, incêndios e choque elétrico, tornando imprescindível o desenvolvimento de planos de ação bem estruturados.

Os protocolos de emergência devem abranger procedimentos específicos para diferentes tipos de incidentes, como incêndios em instalações fotovoltaicas, quedas de trabalhadores, choque elétrico e falhas estruturais. Souza et al. (2020) destacam que cada equipe de instalação deve estar treinada para agir rapidamente diante de emergências, sabendo como proceder para minimizar danos e prestar os primeiros socorros de maneira eficaz. Além disso, é fundamental que os locais de trabalho estejam equipados com kits de primeiros socorros e extintores de incêndio apropriados para sistemas elétricos.

Outro aspecto importante é a comunicação em casos de emergência. Ferreira et al. (2024) ressaltam que a falta de um sistema eficiente de comunicação entre os trabalhadores pode atrasar ações de resgate e agravar a gravidade dos acidentes. Assim, a utilização de rádios comunicadores e a definição de responsáveis por acionar os serviços de emergência são medidas que podem salvar vidas em situações críticas.

A realização de simulações periódicas de emergência também é uma prática recomendada para garantir que os trabalhadores saibam exatamente como agir em casos de acidentes. Garcia e Locastro (2023) enfatizam que treinamentos práticos sobre evacuação de áreas de risco, atendimento a vítimas de choque elétrico e combate a incêndios aumentam significativamente a eficiência dos protocolos de emergência.

É essencial que as empresas desenvolvam planos de gestão de riscos, identificando previamente os principais perigos no ambiente de trabalho e estabelecendo estratégias para sua mitigação. Zanette et al. (2018) apontam que um planejamento eficaz pode reduzir os impactos de emergências e evitar que pequenos incidentes evoluam para acidentes de grandes proporções. Dessa forma, a adoção de protocolos de emergência bem estruturados é uma medida indispensável para garantir a segurança dos trabalhadores e a integridade das instalações fotovoltaicas.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa adotada neste estudo é de natureza qualitativa, pois busca compreender os desafios enfrentados pelos trabalhadores do setor fotovoltaico a partir de uma análise aprofundada de documentos técnicos e acidentes registrados. A abordagem qualitativa permite investigar os riscos associados à instalação e manutenção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), explorando aspectos normativos e práticos da segurança ocupacional. De acordo com Maas, Grillo e Sandri (2018), pesquisas qualitativas são essenciais para analisar contextos específicos em que fatores humanos e técnicos desempenham um papel determinante na ocorrência de acidentes.

Além disso, a pesquisa é baseada em revisão bibliográfica de artigos acadêmicos e normativas técnicas, posteriormente citados no subitem 3.2, o que possibilita a sistematização de informações relevantes sobre segurança no setor de energia solar. Complementarmente, o estudo incorpora análises de casos reais de acidentes registrados no setor, permitindo uma visão mais detalhada dos riscos enfrentados pelos trabalhadores e das medidas preventivas adotadas para mitigá-los. A utilização de estudos de caso enriquece a pesquisa, pois possibilita a identificação de padrões recorrentes e a formulação de recomendações práticas para reduzir a incidência de acidentes.

3.2 FONTES DE DADOS

Os dados utilizados na pesquisa serão coletados por meio de plataformas digitais científicas, como SciELO e Google Acadêmico, garantindo que as informações analisadas sejam provenientes de fontes confiáveis e reconhecidas no meio acadêmico e técnico. A escolha dessas bases de dados se justifica pela ampla disponibilidade de artigos revisados por pares e estudos específicos sobre segurança ocupacional em sistemas fotovoltaicos.

Além da revisão bibliográfica, serão analisados três estudos de caso de acidentes ocorridos no setor fotovoltaico, permitindo uma compreensão

aprofundada das condições que levaram aos incidentes, dos fatores de risco envolvidos e das medidas corretivas aplicadas. Os estudos de caso serão selecionados com base em critérios como relevância para a temática da pesquisa, documentação detalhada dos eventos e relação com as normativas de segurança aplicáveis ao setor. Essa abordagem possibilitará a formulação de estratégias eficazes para a mitigação dos riscos e a prevenção de novos acidentes.

Dentre os estudos analisados, destaca-se o trabalho de Moreira, De Sá e Fernandes (2023), que aborda os principais modos de falha e as recomendações para a perícia em incêndios causados por sistemas fotovoltaicos, fornecendo insights sobre falhas de instalação e sobrecarga de circuitos elétricos. Além disso, a pesquisa de Pereira et al. (2024) contribui para a análise da aplicação das normas de segurança contra incêndios em sistemas fotovoltaicos no Brasil, enquanto Souza, Souza e Minori (2019) oferecem uma visão abrangente sobre as boas práticas de manutenção preventiva no setor, destacando os principais riscos enfrentados pelos trabalhadores e estratégias para mitigá-los.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS

A identificação dos riscos foi avaliada a partir da análise dos estudos de caso selecionados, das normas regulamentadoras e de documentos técnicos que detalham falhas recorrentes em sistemas fotovoltaicos.

Entre os principais riscos analisados, incluem-se riscos elétricos (como choque elétrico e arco voltaico), riscos ergonômicos (relacionados ao manuseio inadequado dos equipamentos e posturas incorretas), riscos de queda (devido à realização de atividades em altura) e riscos de incêndio (causados por conexões mal dimensionadas e sobrecarga de circuitos). A mitigação desses riscos será proposta com base nas normas regulamentadoras e nas melhores práticas adotadas no setor de energia solar.

3.4 NORMATIVAS TÉCNICAS

A análise da segurança na instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos foi fundamentada nas principais normas regulamentadoras e técnicas

aplicáveis ao setor, garantindo que as diretrizes estabelecidas para proteção dos trabalhadores sejam corretamente implementadas.

- NR 06 (Equipamentos de Proteção Individual - EPIs);
- NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade);
- NR 35 (Trabalho em Altura);
- ABNT NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão);

A aplicação dessas normativas foram analisadas em conjunto com os estudos de caso selecionados, permitindo verificar a conformidade das instalações e identificar falhas que possam comprometer a segurança dos trabalhadores e do sistema como um todo. Conforme destacado por Oliveira et al. (2018), a fiscalização rigorosa do cumprimento dessas normas é essencial para reduzir a incidência de acidentes e garantir a confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Dessa forma, a pesquisa busca fornecer uma abordagem estruturada para a análise e mitigação dos riscos na instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos, combinando revisão bibliográfica, estudos de caso e aplicação de normativas técnicas para contribuir com o aprimoramento das práticas de segurança no setor de energia solar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os riscos ocupacionais associados à instalação e manutenção de SFVCR incluem choques elétricos, quedas e problemas ergonômicos. As medidas adotadas para a prevenção de acidentes envolvem o uso correto de Equipamentos de Proteção coletivas (EPCs) e Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), treinamentos periódicos e a adoção de protocolos de segurança estabelecidos pelas normas regulamentadoras. A análise de casos reais demonstra que a negligência com a segurança e a falta de capacitação estão entre os principais fatores contribuintes para os acidentes nesse setor.

A segurança na instalação e manutenção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) é um fator determinante para a prevenção de acidentes e para a eficiência dos sistemas de geração distribuída. Este estudo, baseado em revisão bibliográfica e análises de casos reais, identificou os principais riscos ocupacionais enfrentados pelos trabalhadores do setor, bem como as normas regulamentadoras aplicáveis e medidas de segurança recomendadas. A aplicação de normativas como a NR 6, NR 10 e NR 35 desempenha um papel fundamental na minimização dos riscos associados a essas atividades (Duarte; Minotti, 2021; Mattza, 2024).

A análise dos riscos ocupacionais revelou que os choques elétricos são um dos principais perigos nas instalações fotovoltaicas. Isso ocorre devido à operação simultânea de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA), somada à falta de proteção contra surtos e falhas no aterramento dos sistemas. Estudos apontam que a não observância das diretrizes da ABNT NBR 5410 pode resultar em sobrecargas e falhas que comprometem a segurança dos trabalhadores e a durabilidade das instalações (Pereira et al., 2024; Moreira; Sá; Fernandes, 2023).

Outro risco significativo é a falta de proteção contra quedas, especialmente durante a instalação dos painéis solares em telhados inclinados e em grandes estruturas. A NR 35 estabelece diretrizes específicas para o trabalho em altura, exigindo o uso de sistemas de ancoragem, linhas de vida e cintos de segurança. No entanto, pesquisas indicam que a falta de fiscalização e a não adoção desses dispositivos por algumas empresas contribuem para um número elevado de acidentes graves (Maas; Grillo; Sandri, 2018; Zanette et al., 2018).

A falta de conhecimento técnico e treinamento adequado também se mostra um fator determinante para a ocorrência de acidentes. Muitos profissionais ingressam no setor sem formação específica sobre segurança elétrica e medidas de proteção individual. Souza, Souza e Minori (2019) destacam que a baixa adesão a cursos de capacitação e a não exigência de certificação para instalações fotovoltaicas comprometem a segurança dos trabalhadores e a qualidade das instalações.

Os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Coletiva (EPC) desempenham um papel essencial na prevenção de riscos. O uso adequado de luvas isolantes, capacetes dielétricos, botas de segurança e cintos de ancoragem reduz a ocorrência de acidentes. Contudo, pesquisas apontam que a falta de fiscalização no setor faz com que muitos trabalhadores não utilizem os EPIs corretamente ou sequer os recebam de seus empregadores (Garcia; Locastro, 2023; Ferreira et al., 2024).

A segurança contra incêndios em sistemas fotovoltaicos também é um tema de preocupação crescente. Estudos indicam que falhas em conexões elétricas, superaquecimento dos componentes e a ausência de proteção contra surtos são as principais causas de incêndios em instalações solares. Moreira, De Sá e Fernandes (2023) apontam que a adoção de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) e de um planejamento adequado das instalações pode reduzir significativamente esses riscos.

A influência das condições climáticas sobre a segurança dos sistemas fotovoltaicos também deve ser considerada. Ferreira, Cardoso e Oliveira (2017) demonstram que temperaturas elevadas podem impactar o desempenho dos painéis solares e aumentar o risco de superaquecimento dos componentes elétricos. Dessa forma, é necessário adotar soluções técnicas que minimizem os impactos ambientais sobre os sistemas.

A fiscalização do cumprimento das normativas NR 6, NR 10 e NR 35 ainda enfrenta desafios significativos. Apesar de serem essenciais para garantir a segurança dos trabalhadores, estudos mostram que a implementação dessas normativas varia conforme a estrutura das empresas e o comprometimento dos gestores com a segurança ocupacional (Duarte e Minotti, 2021). Em muitos casos, a

falta de auditorias regulares permite que instalações sejam realizadas sem o devido cumprimento das exigências normativas.

A NR 6, que estabelece os critérios para o fornecimento e uso de EPIs, é frequentemente desrespeitada, com empresas fornecendo equipamentos inadequados ou de baixa qualidade para reduzir custos (Garcia e Locastro, 2023). Essa negligência compromete a proteção dos trabalhadores, aumentando os riscos de acidentes graves.

No que diz respeito à NR 10, que regulamenta a segurança em instalações elétricas, há deficiências na capacitação dos profissionais. Muitos trabalhadores desconhecem as diretrizes de bloqueio e etiquetagem para trabalhos em circuitos energizados, o que pode resultar em descargas elétricas fatais (Souza, Souza e Minori, 2019).

A NR 35, que rege o trabalho em altura, também enfrenta problemas na sua implementação. Empresas muitas vezes não fornecem treinamentos adequados ou ignoram a obrigatoriedade de sistemas de ancoragem. Estudos indicam que grande parte dos acidentes na instalação de SFVCR envolve quedas, o que reforça a necessidade de fiscalização rigorosa (Pereira et al., 2024).

A aplicação da Análise Preliminar de Risco (APR) é uma das ferramentas mais eficazes para reduzir acidentes em instalações fotovoltaicas. Souza et al. (2020) destacam que a utilização de checklists e avaliação prévia dos riscos em cada etapa da instalação contribui significativamente para a redução de falhas humanas e operacionais.

Além dos impactos sobre a segurança dos trabalhadores, a implementação de medidas preventivas também traz benefícios econômicos e sociais. Empresas que investem em segurança reduzem custos com afastamentos por acidentes, aumentam a produtividade dos trabalhadores e fortalecem a reputação do setor solar (Mattza, 2024; Zilles et al., 2016).

A segurança no setor fotovoltaico está em constante evolução, e novos desafios surgem com o crescimento da energia solar no Brasil. Estudos como os de Maurício Júnior et al. (2025) indicam que é fundamental aprimorar a fiscalização, ampliar os programas de capacitação e promover uma cultura organizacional focada na prevenção de riscos.

Dessa forma, este estudo reforça a necessidade de uma abordagem integrada para a segurança na instalação e manutenção de SFVCR, combinando capacitação técnica, cumprimento das normativas e boas práticas operacionais para garantir um ambiente de trabalho seguro e eficiente. A adoção dessas medidas é essencial para promover a sustentabilidade e a segurança do setor de energia solar no Brasil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo geral a realização de uma análise bibliográfica sobre os aspectos de segurança na instalação e manutenção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR). A partir da revisão da literatura e da análise dos principais riscos ocupacionais, verificou-se que a segurança nesse setor ainda enfrenta desafios significativos, especialmente em relação ao cumprimento das normativas regulamentadoras e à capacitação adequada dos trabalhadores. Dessa forma, os objetivos específicos de analisar os riscos ocupacionais, identificar medidas de segurança e avaliar o cumprimento das normas NR 6, NR 10, NR 17 e NR 35 foram atendidos, permitindo uma compreensão mais ampla das vulnerabilidades e necessidades de aprimoramento no setor.

Os resultados demonstraram que os principais riscos para os trabalhadores do setor fotovoltaico incluem choques elétricos, quedas em altura, problemas ergonômicos e incêndios causados por falhas nas instalações. Apesar da existência de normativas que estabelecem diretrizes para a segurança no trabalho, a falta de fiscalização e a ausência de treinamentos contínuos dificultam sua implementação eficaz.

Uma das limitações deste estudo foi a dependência de fontes secundárias e a ausência de uma pesquisa de campo para verificar diretamente as condições de trabalho dos instaladores e técnicos do setor fotovoltaico. Além disso, a diversidade das instalações e a falta de um banco de dados consolidado sobre acidentes no setor dificultaram uma análise mais detalhada do impacto das falhas de segurança. No entanto, os dados obtidos a partir das referências analisadas foram suficientes

para fornecer um panorama geral dos desafios enfrentados e das possíveis soluções para mitigação de riscos.

Perspectivas futuras para pesquisas sobre o tema incluem a realização de estudos empíricos para avaliar diretamente a aplicação das normativas e a percepção dos trabalhadores sobre as condições de segurança no setor. Além disso, sugere-se a análise da viabilidade de programas de capacitação obrigatórios, que possam melhorar a conscientização e adesão às normas de segurança. Outra abordagem importante seria o desenvolvimento de um protocolo unificado de segurança para instalações fotovoltaicas, facilitando a implementação das boas práticas no setor.

Dessa forma, conclui-se que, embora a energia fotovoltaica represente uma alternativa sustentável e economicamente viável, sua expansão precisa estar acompanhada de políticas rigorosas de segurança e fiscalização efetiva. A adoção de medidas preventivas e a valorização da capacitação profissional são essenciais para garantir a integridade física dos trabalhadores e a qualidade das instalações. Com a crescente demanda por energia renovável, torna-se cada vez mais necessário o aprimoramento das diretrizes de segurança, consolidando um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente no setor fotovoltaico.

Não podemos também deixar de enfatizar sobre a importância da presença do profissional de segurança nesses ambientes de trabalho é indispensável para garantir as aplicações das normas e o acesso a treinamentos necessários pelos profissionais envolvidos nessas atividades, bem como a fiscalização dessas aplicações, uso de EPCs e EPIs pelos trabalhadores.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A. K. et al. Eficiência Energética e Habitação de Interesse Social no Estado de São Paulo. **São Paulo, Brasil**, p. 24, 2010.
- ALVES, Cláudio. Net metering: definição de metodologia e estudo de caso. 2014. Tese de Doutorado.
- ATLAS. Manuais de Legislação Atlas: Segurança e Medicina do Trabalho. 78^a Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2017.
- BERTICELLI, Ritelli et al. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. I **Seminário de Pesquisa Científica e Tecnológica**, v. 1, n. 1, 2017.
- BRASIL. Norma Regulamentadora No. 21 (NR-21). Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-21-nr-21>. Acessado em: 22 de janeiro de 2024.
- BRASIL. Norma Regulamentadora No. 06 (NR-06). Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-06-atualizada-2022-1.pdf>. Acessado em: 27 de abril de 2025.
- CRESESB/CEPEL. Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321. Acesso em: 13/01/2022.
- CUNHA, João Gilberto. Norma Regulamentadora N o 10 Segurança em instalações e serviços em eletricidade Comentada. **São José dos Campos, São Paulo**, 2010.
- DEUS, Sidnei Oliveira de. Segurança em instalações de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 2016.
- DIAZ, Valentin Nicolas Silvera et al. Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Armazenamento de Energia. **Tecnologias de Armazenamento de Energia Aplicadas ao Setor Elétrico Brasileiro**, p. 139, 2020.
- DUARTE, Lucas Rissi; MINOTTI, Cristiano. Alterações na NR-10 e os serviços com eletricidade. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 2, n. 10, p. e210877-e210877, 2021.
- FERREIRA, Fernando Magalhães; CARDOSO, Juliano Batista; OLIVEIRA, Leandro Kindinger. **Análise do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) para diferentes tecnologias em função da média da temperatura ambiente máxima no estado do Paraná**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FERREIRA, Jacqueline Adriana de Araújo et al. A atuação do farmacêutico na prevenção da biossegurança em laboratórios clínicos: foco na coleta de sangue e no descarte de materiais perfurocortantes. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 10, p. 1445-1456, 2024.

FREITAS BRITO, Merivaldo; LIMA, Lutero Carmo; BATISTA, Natasha Esteves. Uso da inteligência artificial na segurança contra incêndio em sistema solar fotovoltaico. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 14, p. e106121444567-e106121444567, 2023.

FREITAS, Wandrigo Santetti de. Análise preliminar de riscos em instalações de painéis fotovoltaicos residenciais. **Anais da Engenharia de Produção/ISSN 2594-4657**, v. 3, n. 2, p. 60-79, 2019.

FREITAS, Wandrigo Santetti. Análise preliminar de riscos em instalações de painéis fotovoltaicos residenciais¹. **Anais da Engenharia de Produção/ISSN 2594-4657**, v. 3, n. 2, p. 60-79, 2019.

GARCIA, Sanna Franscielle de Jesus; LOCASTRO, JOÃO Karlos. Implantação de mapa de riscos em funerárias: estudo aplicado em um laboratório de tanatopraxia. **Journal of Exact Sciences**, v. 38, n. 1, 2023.

GRISANTE, Letícia Adrielly Dias et al. SEGURANÇA EM AMBIENTES COM SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS PERIGOSAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 6, n. 2, p. e626191-e626191, 2025.

LIMA, Lilian Bueno et al. Capacitação sobre a importância do uso dos EPI'S para equipe de enfermagem. **Anais do EVINCI-UniBrasil**, v. 4, n. 1, p. 146-146, 2018.

MAAS, Larissa; GRILLO, Luciane Peter; DE ARAÚJO SANDRI, Juliana Vieira. A saúde e a segurança do trabalhador sob competência de normas regulamentadoras frágeis. **Revista Brasileira de Tecnologias Sociais**, v. 5, n. 1, p. 22-32, 2018.

MAIO, Thiago et al. Fontes de energias renováveis na matriz energética brasileira: legislação, políticas públicas e instrumentos econômicos. 2014.

MATTZA, Ana Claudia Alves da Costa. O papel da segurança do trabalho na área de eletricidade. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 8, p. 938-960, 2024.

MAURICIO JUNIOR, Roberto Donisete et al. O mercado de energia solar no Brasil: uma análise dos desafios e oportunidades do setor. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 3, p. e4768-e4768, 2025.

MOREIRA, Murillo Queiroz; DE SÁ, Jose Alberto Silva; FERNANDES, Cindy Stella. Incêndios em sistemas fotovoltaicos: abordagem sobre os modos de falha e recomendações para realização de perícia. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 12, n. 5, p. 171-182, 2023.

OLIVEIRA, Julio Cesar de et al. Micro e minigeração através do sistema fotovoltaico: estudo de caso em uma residência de Jaboticabal/SP. **SITEFA**, v. 1, n. 1, p. 210-224, 2018.

PEREIRA, E. B. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **São José dos Campos, SP. 2ªed. 88p**, 2017.

PEREIRA, Gabriela Nascimento et al. Aplicação de normas de segurança contra incêndio em sistemas fotovoltaicos no Brasil. In: **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2024.

PONTOTEL. Norma Regulamentadora No. 21. Disponível em: <https://www.pontotel.com.br/nr-21>. Acessado em: 23 de janeiro de 2024.

REGULAMENTADORAS, NORMAS. Ergonomia. ESCOLA NACIONAL DA INSPEÇÃO DO TRABALHO (ENIT). Disponível em: Acesso em, v. 25, 21. https://www.ufrgs.br/agronomia/joomla/files/COSAT/-_Curso_SST_-_NRs_17_e_32_-_Aula_2-3.pdf. 2021.

REIS, Gabriela Ferreira Chagas. O caminho da China rumo ao centro político-econômico global e a transição energética (2013-2020): uma análise pela perspectiva dos ciclos sistêmicos de acumulação. 2022.

REIS, Marcos VG et al. Analysis of the Sandia Frequency Shift (SFS) islanding detection method with a single-phase photovoltaic distributed generation system. In: **2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM)**. IEEE, p. 125-129. 2015.

RIBEIRO, Renata Perfeito; VIANNA, Lucila Amaral Carneiro. Uso dos equipamentos de proteção individual entre trabalhadores das centrais de material e esterilização. **Ciência, Cuidado e Saúde**, v. 11, p. 199-203, 2012.

RODRIGUES, André Campos et al. O crescimento da geração distribuída fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista Mythos**, v. 13, n. 1, p. 87-99, 2020.

RODRIGUES, Luiz Teixeira. Estudo comparativo de novas tecnologias de geração fotovoltaica. 2017.

SILVA, Heitor Marques Francelino; ARAÚJO, Francisco José Costa. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 3, p. 859-869, 2022.

SOUSA, André Chagas; OLIVEIRA ABDALA, Klaus. Sustentabilidade, do conceito à análise. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)*, v. 10, n. 2, p. 146-166, 2020.

SOUZA, Gabriela Brito de et al. Energias renováveis e as alternativas das matrizes energéticas sustentáveis. **As múltiplas visões do meio ambiente e os impactos ambientais. Uniedusul**, v. 3, n. 1, p. 7-23, 2020.

SOUZA, Wilison Andson de; SOUZA, Rubem Cesar Rodrigues; MINORI, Américo Matsuo. Boas práticas de manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12779-12791, 2019.

SOUZA, Wilison; SOUZA, Rubem; MINORI, Américo. Boas práticas de manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12779-12791, 2019.

ZANETTE, Jéssica et al. Análise do grau de conhecimento dos trabalhadores em segurança e medicina do trabalho em um edifício em construção na cidade de Chapecó/SC. **Anais de Engenharia Civil/2595-1823**, v. 1, n. 1, p. 57-76, 2018.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Oficina de textos, 2016.

| | |
|---|---|
|  | INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA |
| | Campus Patos - Código INEP: 25281925 |
| | Br 110, S/N, Alto da Tubiba, CEP 58700-000, Patos (PB) |
| | CNPJ: 10.783.898/0006-80 - Telefone: None |

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

ENTREGA DE TCC

| | |
|-----------------------------|---------------------|
| Assunto: | ENTREGA DE TCC |
| Assinado por: | Leandro Dantas |
| Tipo do Documento: | Anexo |
| Situação: | Finalizado |
| Nível de Acesso: | Ostensivo (Público) |
| Tipo do Conferência: | Cópia Simples |

Documento assinado eletronicamente por:

- **Wermeson Leandro Carneiro Dantas, ALUNO (202016010038) DE TECNOLOGIA EM SEGURANÇA NO TRABALHO - PATOS**, em 06/05/2025 13:24:32.

Este documento foi armazenado no SUAP em 06/05/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1481022

Código de Autenticação: 4e3479f36f

