



ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

ANALYSIS OF OCCUPATIONAL SAFETY ENGINEERING IN PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION PLANTS

ANÁLISIS DE INGENIERÍA DE SEGURIDAD LABORAL EN PLANTAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Jayme dos Santos Neto¹

e5115238

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i11.5238>

PUBLICADO: 11/2024

RESUMO

O estudo analisa a engenharia de segurança do trabalho em usinas de energia fotovoltaica, considerando os riscos ocupacionais específicos desse setor, com foco na adequação das práticas de segurança às características das usinas. Com a crescente transição para fontes de energia renovável, como a solar, aumentam as demandas por protocolos de segurança que protejam os trabalhadores e assegurem a eficiência das operações. Entre os principais riscos identificados estão a exposição prolongada à radiação solar, que pode causar danos à visão e à pele; os choques elétricos, frequentes em sistemas de alta voltagem; e os problemas ergonômicos, oriundos de posturas inadequadas e movimentos repetitivos durante a instalação de painéis. Além disso, destaca-se a necessidade de observância rigorosa das normativas NR-10 e NR-35, que estabelecem diretrizes para segurança em instalações elétricas e trabalhos em altura. O estudo sugere que a implementação de práticas de segurança customizadas, como o uso correto de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e o treinamento contínuo dos profissionais, podem reduzir significativamente os acidentes e otimizar o desempenho operacional. A revisão da literatura também aponta que a atualização das normas deve acompanhar as inovações tecnológicas para garantir sua aplicabilidade. Por fim, são discutidas as implicações de uma abordagem sistemática de segurança que incorpore planejamento estratégico e *design* seguro nas usinas, promovendo não só a segurança dos trabalhadores, mas também a sustentabilidade do setor de energia solar.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança do Trabalho. Usinas Fotovoltaicas. Riscos Ocupacionais. Normas NR-10 e NR-35. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The study analyzes occupational safety engineering in photovoltaic power plants, considering the specific occupational risks of this sector, with a focus on adapting safety practices to the unique characteristics of these facilities. As the transition to renewable energy sources, such as solar, progresses, there is an increased demand for safety protocols that protect workers and ensure operational efficiency. Key risks identified include prolonged exposure to solar radiation, which can cause vision and skin damage; electrical shocks, common in high-voltage systems; and ergonomic issues arising from improper postures and repetitive movements during panel installation. Additionally, strict adherence to NR-10 and NR-35 regulations, which establish guidelines for safety in electrical installations and work at heights, is essential. The study suggests that implementing customized safety practices, such as the proper use of Personal Protective Equipment (PPE) and continuous professional training, can significantly reduce accidents and optimize operational performance. Literature review findings also indicate that regulatory updates must keep pace with technological innovations to ensure their applicability. Lastly, the study discusses the implications of a systematic safety approach that incorporates strategic planning and secure design in photovoltaic plants, fostering not only worker safety but also the sustainability of the solar energy sector.

KEYWORDS: Occupational Safety. Photovoltaic Plants. Occupational Risks. NR-10 and NR-35 Regulations. Sustainability.

¹ Engenheiro de Produção. Engenheiro de Segurança do Trabalho. Tecnólogo em Mecânica.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

RESUMEN

El estudio analiza la ingeniería de seguridad laboral en plantas de energía fotovoltaica, considerando los riesgos laborales específicos de este sector, centrándose en la adecuación de las prácticas de seguridad a las características de las plantas. Con la creciente transición a fuentes de energía renovables, como la solar, la demanda de protocolos de seguridad que protejan a los trabajadores y garanticen la eficiencia de las operaciones están aumentando. Entre los principales riesgos identificados se encuentran la exposición prolongada a la radiación solar, que puede causar daños en la visión y la piel; descargas eléctricas, frecuentes en sistemas de alta tensión; y problemas ergonómicos, derivados de posturas inadecuadas y movimientos repetitivos durante la instalación de los paneles. Además, se destaca la necesidad de un estricto cumplimiento de las normas NR-10 y NR-35, que establecen pautas de seguridad en instalaciones eléctricas y trabajos en altura. El estudio sugiere que la implementación de prácticas de seguridad personalizadas, como el uso correcto de los Equipos de Protección Personal (EPP) y la capacitación continua de los profesionales, pueden reducir significativamente los accidentes y optimizar el rendimiento operativo. La revisión de la literatura también señala que la actualización de las normas debe seguir las innovaciones tecnológicas para garantizar su aplicabilidad. Por último, se discuten las implicaciones de un enfoque sistemático de la seguridad que incorpore la planificación estratégica y el diseño seguro en las centrales eléctricas, promoviendo no solo la seguridad de los trabajadores, sino también la sostenibilidad del sector de la energía solar.

PALABRAS CLAVE: Seguridad en el trabajo. Plantas fotovoltaicas. Riesgos Laborales. Normas NR-10 y NR-35. Sostenibilidad.

1. INTRODUÇÃO

A expansão das usinas fotovoltaicas representa um marco significativo na busca por soluções energéticas sustentáveis e alinhadas com os desafios globais de mitigação das mudanças climáticas. Essas instalações desempenham um papel crucial na transição para fontes de energias renováveis menos poluentes, contribuindo diretamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a diversificação da matriz energética. A energia solar, convertida em eletricidade por meio de painéis fotovoltaicos, destaca-se pela sua abundância, sustentabilidade e capacidade de atender às crescentes demandas por energia elétrica, especialmente em regiões de alta insolação.

No entanto, além de suas vantagens ambientais e econômicas, as usinas fotovoltaicas apresentam características particulares que requerem atenção especial em relação à segurança do trabalho. Desde o planejamento e instalação até a operação e manutenção dos sistemas, diversas atividades envolvem riscos potenciais que precisam ser gerenciados de forma eficaz para proteger a integridade física e mental dos trabalhadores. Tais riscos incluem exposição a altas temperaturas, contato com componentes elétricos de alta tensão, trabalhos em altura e manuseio de equipamentos especializados.

Nesse contexto, a engenharia de segurança do trabalho desempenha um papel estratégico, não apenas para assegurar a proteção dos trabalhadores, mas também para garantir a eficiência operacional e a sustentabilidade das usinas. A adoção de práticas de segurança específicas para o setor fotovoltaico, aliada à capacitação técnica e ao cumprimento das normativas vigentes, é fundamental para o desenvolvimento seguro e eficaz dessas instalações. Além disso, a



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

implementação de medidas preventivas e corretivas reflete o compromisso com a valorização do capital humano e com a excelência nos processos produtivos.

Portanto, ao abordar as práticas de segurança do trabalho nas usinas fotovoltaicas, busca-se evidenciar a importância de integrar as dimensões técnica, ambiental e humana em um modelo de desenvolvimento sustentável, que responda não apenas às necessidades energéticas do presente, mas também às exigências de um futuro mais equilibrado e responsável.

1.1. Problematização

A geração fotovoltaica é reconhecida por seu potencial de promover a sustentabilidade ambiental, os riscos ocupacionais relacionados a este contexto laboral são de certa forma pouco compreendidos. Consequentemente, há uma lacuna significativa relacionada à aplicação das normas de segurança e de forma análoga no que se refere a saúde no trabalho, especialmente neste setor tecnicamente específico e continuamente em processo de expansão. A escassez de estudos minuciosos sobre os pontos fracos das medidas de segurança nas usinas fotovoltaicas consiste em um obstáculo inegável pelo fato de interferir diretamente no desenvolvimento de políticas eficazes de proteção ao trabalhador.

1.2. Hipótese

Em face de tal cenário, acredita-se que, por intermédio da implementação de melhores práticas de engenharia de segurança, niveladas às particularidades das usinas fotovoltaicas, pode-se promover a redução dos incidentes e acidentes de trabalho, no intuito de aumentar o desempenho operacional e promover a proteção dos trabalhadores.

1.3. Justificativa

A justificativa para este estudo está alicerçada na necessidade de desenvolver e apresentar protocolos de segurança específicos que sejam alinhados às melhores práticas operacionais em usinas fotovoltaicas. Com o crescente número dessas instalações e sua importância estratégica para a transição energética sustentável, torna-se essencial abordar os riscos ocupacionais que emergem nesse contexto. Medidas preventivas bem definidas não apenas protegem os trabalhadores, mas também exercem um impacto direto na redução de custos relacionados a acidentes e doenças ocupacionais, minimizando interrupções operacionais e prejuízos financeiros.

Além disso, a pesquisa visa oferecer subsídios práticos e técnicos para a implementação de estratégias de segurança adaptadas às peculiaridades das usinas fotovoltaicas. Essa abordagem contribui para a criação de um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente, ao mesmo tempo em que reforça a sustentabilidade do setor energético. Ao priorizar a saúde e segurança dos trabalhadores, o estudo também fortalece o cumprimento das normativas legais e promove a valorização do capital humano, elementos fundamentais para o desenvolvimento de um modelo energético sustentável e socialmente responsável.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

1.4. Objetivo Geral

Esse estudo tem por objetivo aprofundar a compreensão sobre as práticas de engenharia de segurança do trabalho orientadas as usinas fotovoltaicas, no intuito de propor melhorias capazes de ampliar a segurança dos trabalhadores e a eficiência das operações.

1.5. Objetivos Específicos

Por meio desse estudo pretende-se ainda mapear riscos ocupacionais mais incidentes no setor de usinas fotovoltaicas. Tal levantamento é essencial para o desenvolvimento de estratégias preventivas que vissem evitar os perigos inerentes a esse ambiente de trabalho. Em seguida, serão analisadas as normativas de segurança do trabalho vigentes, para identificar se se aplicam ao contexto particular das usinas fotovoltaicas, considerando suas características únicas.

Além disso, este estudo visa distinguir e analisar práticas de segurança do trabalho já implementadas em usinas fotovoltaicas. Tal análise possibilitará mitigar deficiências e identificar os pontos fortes das estratégias de segurança vigentes. Com base nos padrões eficazes identificados durante a revisão de literatura, pretende-se desenvolver, em trabalhos futuros, um protocolo de práticas de segurança que se adapte às particularidades das usinas fotovoltaicas.

2. MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão da literatura, compreendendo a análise detalhada de documentos oficiais, normas técnicas, estudos de caso documentados e artigos científicos que abordam questões relacionadas à engenharia de segurança do trabalho em usinas fotovoltaicas. O levantamento bibliográfico foi realizado utilizando bases de dados acadêmicas renomadas, como Scopus, Web of Science e Google Scholar, as quais oferecem acesso a publicações de alta relevância e impacto. Essa etapa inicial permitiu a identificação de estudos e orientações técnicas que subsidiaram a compreensão dos riscos específicos associados às atividades realizadas em usinas fotovoltaicas, bem como das melhores práticas de prevenção e mitigação de acidentes.

Além disso, a análise das fontes referenciais foi complementada por um processo rigoroso de seleção e categorização dos materiais bibliográficos, assegurando a pertinência e a qualidade das informações coletadas. A partir dessas análises, foi possível mapear os principais riscos ocupacionais, como exposição a altas temperaturas, trabalhos em altura e riscos elétricos, e correlacioná-los com as medidas de segurança recomendadas. O objetivo incluiu estruturar um conjunto de diretrizes que contribuam para a melhoria contínua dos processos operacionais sob o enfoque da segurança e saúde no trabalho.

Adicionalmente, a pesquisa contou com entrevistas estruturadas com especialistas da área, incluindo profissionais de engenharia de segurança do trabalho, gestores de projetos fotovoltaicos e técnicos de manutenção, a fim de validar e enriquecer as informações obtidas na revisão bibliográfica. Essas entrevistas permitiram incorporar perspectivas práticas e atualizadas ao estudo,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

fornecendo *insights* valiosos sobre os desafios e as soluções implementadas no dia a dia das operações em usinas fotovoltaicas.

Essa abordagem metodológica integrada possibilitou uma análise crítica das práticas de segurança atualmente aplicadas, destacando suas limitações e potencialidades. Ao mesmo tempo, o estudo busca contribuir para o avanço da literatura técnica sobre o tema e fornecer orientações práticas para os profissionais da engenharia de segurança do trabalho. Dessa forma, o trabalho não apenas promove um entendimento mais aprofundado do campo, mas também colabora para o desenvolvimento de soluções inovadoras e eficazes na proteção dos trabalhadores e na otimização da sustentabilidade operacional das usinas fotovoltaicas.

3. PRÁTICAS DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS FOTOVOLTAICAS

O aprimoramento das práticas de engenharia de segurança em usinas fotovoltaicas requer que se compreendam as variáveis que influenciam a segurança dos trabalhadores e a eficiência operacional das respectivas instalações. Estudos recentes, como as desenvolvidas por Peres (2022), destacam a importância do adequado dimensionamento das usinas, sugerindo que a segurança pode ser intrinsecamente ligada à fase de planejamento e construção. Ademais, estratégias como a implementação de normas mais rígidas e a formação continuada dos profissionais são essenciais para reduzir os riscos, conforme enfatiza Silva *et al.*, (2022), que analisam com rigor científico a segurança no trabalho especificamente em relação à instalação e manutenção de módulos fotovoltaicos (Peres, 2022; Silva *et al.*, 2022).

Para além das questões de segurança, a viabilidade econômica de usinas fotovoltaicas impacta significativamente nas práticas que caracterizam a área de engenharia e segurança. Conforme enfatizado por Godoy Rosolen *et al.*, (2020) o analisar a viabilidade econômica para geração compartilhada contribui para o aperfeiçoamento das práticas operacionais e o aperfeiçoamento das estratégias em segurança do trabalho. O alinhamento entre eficiência econômica e segurança é o que em última análise condiciona práticas eficazes, contribuindo para a concomitante redução dos custos operacionais e da exposição dos trabalhadores a ambientes perigosos (Godoy Rosolen *et al.*, 2020).

Analogamente, a área de engenharia de segurança do trabalho é extremamente relevante para a área emergente de usinas fotovoltaicas, em contínuo desenvolvimento impulsionado pela sustentabilidade. O estudo de Lima *et al.*, (2021) faz alusão ao licenciamento ambiental de usinas de grande porte, destacando a necessidade de considerar os impactos ambientais durante o planejamento do processo produtivo e operacional das usinas. Tal consideração assegura a conformidade com regulamentos ambientais, promovendo um ambiente de trabalho saudável e livre de riscos potenciais, além de evitar a ocorrência de danos ambientais (Lima *et al.*, 2021).

Ao analisar as práticas de engenharia de segurança nas usinas fotovoltaicas é importante considerar as inovações tecnológicas e os avanços na área. Fouréaux *et al.*, (2016), menciona a



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

importância de planejamento para desenvolver estratégias de segurança e como tal procedimento influência nas decisões de projeto em usinas experimentais fotovoltaicas. O trabalho de Rodrigues (2017), por sua vez, refere-se ao comissionamento de usinas fotovoltaicas, enfatizando a importância da integração de novas tecnologias e procedimentos no aprimoramento contínuo das práticas de segurança. A implementação de tecnologias avançadas aumenta a eficiência das operações, melhorando significativamente a segurança dos trabalhadores, à medida que reduz a necessidade de intervenção do agente humano em processos que oferecem risco potencial (Foureaux *et al.*, 2016; Rodrigues, 2017).

3.1. Principais riscos ocupacionais presentes nas usinas fotovoltaicas

A análise e identificação dos riscos ocupacionais em usinas fotovoltaicas é fundamental na engenharia de segurança do trabalho, especialmente devido ao aumento do uso dessa tecnologia para gerar energia elétrica com impacto ambiental reduzido. Usinas fotovoltaicas são tecnicamente e operacionalmente complexas, destacando a necessidade de planejamento e estratégias de segurança eficazes para minimizar riscos. Entre esses riscos, destaca-se a exposição prolongada à radiação solar, que pode ser prejudicial para a visão e resultar em problemas dermatológicos a longo prazo, especialmente para os profissionais diretamente envolvidos na manutenção e instalação dos painéis. Além disso, o risco de choques elétricos de alta voltagem é uma constante, especialmente se os protocolos e melhores práticas não forem rigorosamente seguidos na operação desses sistemas (Peres, 2022).

Igualmente importante, são os planejamentos orientados a redução de risco ergonômico, a que se submetem os trabalhadores devido à necessidade de permanecer em posturas inadequadas ou realizar movimentos repetitivos no processo de instalação dos módulos fotovoltaicos. Tais condições ergonômicas inadequadas podem ocasionar transtornos músculo esqueléticos, além de interferir significativamente na produtividade dos trabalhadores. Merece destaque, ainda, a possibilidade de quedas, particularmente quando a instalação do sistema ocorre em locais elevados. Outro fator agravante muito comum é a ausência ou uso inadequado dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). Circunstâncias adversas dessa natureza podem acarretar acidentes graves (Godoy Rosolen *et al.*, 2020).

Por derradeiro merece destaque as medidas preventivas de risco, que requerem a observância das normas técnicas e normas regulamentadoras as atividades dos profissionais atuantes em atividades de risco. Nesse sentido, novamente as (EPIs) desempenham importante função, que juntamente com o treinamento e formação adequada dos profissionais reduzem significativamente os índices de acidentes de trabalho em usinas fotovoltaicas, garantindo a integridade física dos trabalhadores (Alves, 2019).

Diante disso, é importante realizar o diagnóstico do Risco, para que se possa desenvolver estratégias de redução do risco ocupacional, além de promover treinamento e capacitação



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

profissional compatível com a atividade laboral, é isso requer adaptações contínuas as tecnologias e inovações que alteram o cenário energético de forma cada vez mais impactante.

3.2. Normativas de segurança do trabalho vigentes aplicáveis ao contexto das usinas fotovoltaicas

Na engenharia de segurança do trabalho aplicada às usinas de geração de energia elétrica fotovoltaica, as atividades são disciplinadas por normas específicas, que visam promover Segurança no ambiente laboral. Em virtude de suas peculiaridades, as usinas fotovoltaicas demandam diretrizes de segurança orientadas a proteger os trabalhadores expostos a risco físico, ambientais e ergonômicos. Nesse contexto, a normatização em vigor proporciona uma sólida estrutura de segurança, continuamente revisada para se adaptar às inovações tecnológicas e às mudanças nas condições de trabalho (Peres, 2022).

Além de fundamentar-se em pressupostos básicos de segurança, como o uso de equipamentos de proteção individual e treinamentos específicos para o manuseio seguro dos componentes fotovoltaicos, as normativas são edificadas sobre os pilares da prevenção, no intuito de evitar acidentes de trabalho nas etapas de instalação, manutenção e operação das usinas. As diretrizes são indispensáveis, especialmente nos casos de instalação em locais de difícil acesso ou em grandes alturas, comuns em projetos fotovoltaicos de larga escala. A gestão dos riscos ocupacionais, aliado à fiscalização, é uma condição indispensável para o êxito dessa modalidade de geração de energia (Godoy Rosolen *et al.*, 2020).

Ademais, é indispensável a integração entre normativas de segurança do trabalho e políticas de saúde ocupacional. Profissionais submetidos a períodos prolongados de trabalho sob radiação solar direta estão sujeitos a desenvolver problemas dermatológicos e de visão, havendo a necessidade, portanto, de medidas de proteção específicas e constante monitoramento da saúde dos trabalhadores. A normatização contempla todos os possíveis riscos que afetem a saúde do trabalhador, visando garantir a saúde integral dos envolvidos (Alves, 2019).

No que diz respeito ao aspecto regulatório, a análise crítica das normativas revela que, apesar dos significativos avanços, há lacunas em relação às novas tecnologias e métodos de instalação. Diante da dinamicidade, as normas devem observar as adaptações regulatórias necessárias para acompanhar as inovações do setor, fato imprescindível para os desafios emergentes poderem ser dirimidos e as Legislações adaptadas aos desafios para aperfeiçoar continuamente os protocolos de segurança em usinas fotovoltaicas (Foureaux *et al.*, 2016).

3.2.1. Norma Regulamentadora — NR 10

As normas técnicas são padrões estabelecidos por membros da sociedade civil, dentre os quais grupos de profissionais, fabricantes e entidades, no intuito de solucionar questões controversas no contexto laboral, especialmente relacionadas à saúde e segurança dos profissionais, e nessas, viabilizam formular diretrizes para dirimir a resolução de problemas e prevenir acidentes e trabalho.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

No processo de elaboração destas diretrizes, são normalmente utilizadas tecnologias que permitem assegurar que produtos, sistemas, serviços, processos e outras ações cumpram os propósitos para os quais se destina (Freitas, 2019).

Relativamente ao escopo desse estudo, é de suma relevância para a segurança do trabalho, a observância e aplicação das normas NR-10 e NR-35.

A Norma Regulamentadora n.º 10, de dezembro de 2004, refere-se à Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade (NR-10), sendo promulgada pela Portaria GM n.º 598 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Sua finalidade era atualizar a regulamentação anterior, a saber, a Portaria n.º 3.214, de 08 de junho de 1978.

A NR-10 pretendia delinear medidas de controle e estratégias preventivas no intuito de garantir segurança e saúde aos trabalhadores atuantes de maneira direta ou indireta com instalações e serviços elétricos, estabelecendo pressupostos e condições mínimas para que se pudesse promover um ambiente de trabalho seguro e salutar (Kurata, 2016).

A NR-10 inclui todas as etapas de geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica, incluindo atividades correlatas a instalações, montagens, projetos e fabricação de equipamentos elétricos. Particularmente no que aconselha a geração distribuída de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos, a NR-10 é considerada uma das principais se não a principal norma a ser observada, haja vista que, de modo geral, independentemente da tecnologia utilizada, as unidades geradoras, seguem diretrizes que disciplinam os padrões para instalações e equipamentos expostos à eletricidade, independentemente de níveis de tensão, corrente ou frequências (Freitas, 2019).

3.2.2. Norma Regulamentadora — NR 35

Por norma, instalações e manutenções de sistemas fotovoltaicos são realizadas em locais elevados, comumente os telhados das edificações que utilizam a energia gerada por meio do referido sistema. Em consonância com a normativa em comento, por trabalho em altura compreende-se qualquer atividade executada acima de 2 metros do nível inferior, em que haja risco de queda (Manual de Legislação Atlas, 2017).

Tiecher (2017) destaca-se o estudo denominado “Aplicação da NR 35 no processo de instalação de painéis fotovoltaicos em residências unifamiliares”, a relevância de instalar um cabo-guia ou cabo de segurança para assegurar a estabilização de dispositivos de conexão, dentre os quais o talabarte, anexado ao cinto de segurança tipo paraquedista do profissional.

Em consonância com a Norma Regulamentadora 35 (NR-35), é importante que a extremidade do cabo de segurança seja fixada à estrutura permanente do edifício. Além disso, utiliza-se espera de ancoragem, além de suportes ou grampos de aço inoxidável, ou qualquer outro material desde que seja capaz de oferecer resistência e estabilidade, sendo exigências qualidade e durabilidade compatíveis com a estrutura.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

Porém, observa-se que, na prática, a experiência diária dos instaladores em geral não reflete o cumprimento dessa norma, haja vista que pontos de ancoragem seguros para linhas de vida são dificilmente encontrados nas localidades onde as placas voltais são instaladas.

3.3. Práticas de segurança do trabalho implementadas em usinas fotovoltaicas

As práticas de segurança do trabalho em usinas fotovoltaicas implicam considerar as diferentes dimensões, que inclui as necessidades específicas das engenharias, além da regulamentação e efetiva implementação de medidas de segurança. O ambiente extremamente especializado e técnico das usinas fotovoltaicas requer estratégias especialmente direcionadas para a gestão de riscos em tais sistemas. Além disso, exige a capacitação e a formação continuada dos profissionais da área, bem como a aplicação de tecnologias avançadas para consolidar padrões na prevenção de acidentes. Essas práticas são indispensáveis à segurança dos trabalhadores, e para otimizar a produção de energia, promovendo a sustentabilidade operacional (Peres, 2022).

Nesse contexto, ao analisar a viabilidade econômica e a gestão operacional das usinas fotovoltaicas, observa-se que medidas de segurança devidamente implementadas podem reduzir significativamente os custos associados a acidentes de trabalho e interrupções operacionais. Estudos recentes sugerem que a adequada integração de práticas de segurança no design inicial de projetos fotovoltaicos melhora a eficiência e a segurança das operações, especialmente quando se aplicam abordagens proativas em engenharia de segurança (Godoy Rosolen *et al.*, 2020).

A legislação aplicável, assim como as normas técnicas pertinentes, é também imprescindível na edificação de um ambiente laboral seguro em usinas fotovoltaicas. A observância das respectivas normas cumpre requisitos legais, estabelecendo padrões rigorosos para as operações, disciplinando as melhores práticas para área específica e desenvolvendo uma cultura de segurança (Alves, 2019).

Ademais, o processo de comissionamento, incluindo testes minuciosos e a aferição da confiabilidade de sistemas em consonância com especificações técnicas, exerce função inegável do que concerne a garantia de segurança em instalações fotovoltaicas, para serem operacionalmente seguras, mas também eficientes, do começo ao fim do processo de trabalho.

Essas operações de comissionamento interferem diretamente na competência e no conhecimento dos técnicos envolvidos, aferindo assim a importância de treinamentos específicos e continuado (Rodrigues, 2017).

Por derradeiro, analisar os impactos ambientais e periodicamente os riscos operacionais associados a usinas fotovoltaicas viabiliza a redução de danos potenciais ao meio ambiente e a saúde dos trabalhadores. Processos de avaliação ambiental devem considerar impactos diretos e indiretos em processos de geração de energia fotovoltaica, no intuito de promover a sustentabilidade a longo prazo (Lima *et al.*, 2022).



3.4. Práticas de segurança adaptadas às especificidades das usinas fotovoltaicas

Ao considerar a área de Engenharia de Segurança do Trabalho em usinas de geração de energia elétrica, particularmente nas fotovoltaicas, há protocolos e práticas de segurança que atendem às necessidades dessa modalidade energética. Por serem constituídas de estruturas extensas e expostas a condições ambientais variadas, as usinas fotovoltaicas requerem protocolos de segurança orientados à manutenção da integridade dos equipamentos e principalmente à integridade na saúde dos operadores. A integração de tecnologias avançadas constitui um dos fatores críticos de sucesso, especialmente quando integrado a treinamentos específicos contribuem para a prevenção de acidentes, impedindo a ocorrência de falhas operacionais (Peres, 2022).

De fato, a análise da viabilidade econômica da implementação de protocolos de práticas de segurança em miniusinas fotovoltaicas deixa evidente que investir em segurança potencializa a eficiência energética, além de salvaguardar a operação como um todo.

Portanto, é de suma relevância que usinas de maior escala apliquem estratégias similares, adequando-as para operações específicas proporcionais a suas estruturas. Customizar tais práticas implica considerar variáveis intrínsecas e extrínsecas, dentre as quais a localização geográfica da usina, além das condições climáticas predominantes na região, visto que esses aspectos influenciam na redução ou aumento de riscos operacionais (Godoy Rosolen *et al.*, 2020).

A eficácia de sistemas fotovoltaicos *on-grid* ou *off-grid*, são condicionadas pela eficácia de redes de segurança, que permitam continuidades operacionais continuamente e sem prejuízos à produção de energia. Diante disso, as usinas fotovoltaicas necessariamente devem implementar sistemas de monitoramento ininterrupto, possibilitando a mitigação de possíveis falhas antes que efetivamente ocorram, desta forma garantindo eficiência e estabilidade no sistema energético (Alves, 2019).

A implementação de melhorias e a tomada de decisões baseadas em análises e projetos detalhados reduz o risco de acidentes e otimizam os processos, e quando esses resultados são atingidos considera-se que houve viabilidade técnica, sendo esse um dos pilares centrais para o aperfeiçoamento de práticas de segurança customizadas. Nesse sentido, é interessante ressaltar a experiência da usina experimental fotovoltaicas que apresentam resultados reconhecidos sobre aplicação de design ergonômico e a interferência que exerce na qualidade do sistema, além de contribuir para a minimização de riscos e o aumento da segurança operacional (Foureaux *et al.*, 2016).

Portanto, é sumamente relevante que as usinas fotovoltaicas utilizem uma abordagem sistêmica na gestão de segurança no trabalho, envolvendo concomitantemente o planejamento estratégico dos processos e o design, além da operação e da manutenção, baseando-se em estudos de empresas que obtiveram resultados favoráveis, além de analisar e aplicar as melhores práticas já reconhecidas pela literatura e pela prática empírica no setor em comento. Desta forma, será possível atender às normativas de segurança vigentes, e avançar na proteção dos recursos humanos e dos



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

materiais que integram o processo de geração de eletricidade a partir de energia solar (Strangueto, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo revelou que as usinas fotovoltaicas apresentam riscos ocupacionais específicos, demandando práticas de segurança adaptadas. Entre os riscos principais, destacam-se a exposição prolongada à radiação solar, o risco de choques elétricos de alta voltagem e os problemas ergonômicos, devido às posturas inadequadas e movimentos repetitivos exigidos durante a instalação dos painéis (Peres, 2022). A exposição à radiação solar sem proteção pode gerar problemas de pele e visão, enquanto o manuseio de componentes elétricos envolve riscos de choques e curto-circuito, conforme discutido por Alves (2019).

A aplicação das normas NR-10 e NR-35 é essencial para garantir a segurança dos trabalhadores em instalações elétricas e em alturas, como em telhados onde são instalados os painéis (Manual de Legislação Atlas, 2017). A NR-10, voltada para segurança em serviços elétricos, fornece diretrizes para evitar choques elétricos, enquanto a NR-35 estabelece medidas preventivas para trabalhos em altura. No entanto, a implementação dessas normas ainda enfrenta desafios práticos, especialmente pela escassez de pontos de ancoragem seguros e pelo uso inadequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), como observado por Tiecher (2017).

Adicionalmente, as práticas de segurança implementadas, como o uso de EPIs, o treinamento contínuo e as medidas preventivas ergonômicas, têm mostrado eficácia em reduzir acidentes, mas sua adesão varia entre usinas, muitas vezes dependendo da cultura organizacional (Foureaux *et al.*, 2016). A integração de tecnologias avançadas, como o monitoramento remoto e a automação, tem contribuído para uma operação mais segura e eficiente, reduzindo a necessidade de intervenções manuais em áreas de risco (Silva *et al.*, 2022). Contudo, a adoção dessas tecnologias é limitada pelo custo e pela necessidade de treinamento especializado (Rodrigues, 2017).

O estudo sugere que a atualização contínua das normas de segurança é essencial para acompanhar as inovações tecnológicas e garantir sua aplicabilidade, conforme argumentado por Lima Neto *et al.* (2022). A análise também indica que uma abordagem de segurança que inclua planejamento estratégico e design seguro promove um ambiente de trabalho mais seguro e sustentável nas usinas, contribuindo para o desenvolvimento do setor de energia solar (Godoy Rosolen *et al.*, 2020).

Além disso, o estudo destacou a relevância de uma abordagem proativa para a segurança no trabalho em usinas fotovoltaicas, com foco na prevenção e no monitoramento contínuo dos riscos. Essa abordagem requer o envolvimento ativo de gestores e trabalhadores, promovendo uma cultura de segurança que valorize tanto a capacitação técnica quanto a conscientização dos profissionais sobre os perigos inerentes às suas atividades (Carvalho *et al.*, 2018). A implementação de treinamentos regulares sobre o uso adequado de EPIs, procedimentos de emergência e manutenção preventiva é um elemento-chave para minimizar os acidentes e garantir a eficácia das operações.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

Outro ponto importante levantado refere-se à necessidade de políticas públicas que incentivem a adoção de práticas de segurança em todo o setor. Incentivos fiscais e financiamentos direcionados para a aquisição de tecnologias de segurança e para a realização de treinamentos especializados poderiam ampliar a adesão às práticas recomendadas, especialmente em pequenas e médias usinas, que muitas vezes enfrentam dificuldades financeiras para investir em melhorias estruturais e operacionais (Souza; Amaral, 2021).

Por fim, a pesquisa enfatiza a importância de integrar os avanços tecnológicos no campo da segurança do trabalho com as demandas práticas das operações fotovoltaicas. Tecnologias como sensores de monitoramento em tempo real, drones para inspeção remota e sistemas de inteligência artificial para análise preditiva de falhas têm o potencial de transformar as práticas de segurança, tornando-as mais eficientes e menos dependentes de intervenções humanas em áreas de alto risco (Freitas *et al.*, 2020). No entanto, para que essas inovações se tornem amplamente acessíveis, é necessário promover parcerias entre o setor público, a iniciativa privada e instituições acadêmicas, visando reduzir custos e ampliar o alcance dessas soluções.

O estudo conclui que, embora as usinas fotovoltaicas enfrentem desafios específicos no que diz respeito à segurança do trabalho, as oportunidades para aprimoramento são vastas. Medidas que aliem o cumprimento rigoroso das normas regulamentadoras, a adoção de tecnologias inovadoras e o fortalecimento da cultura organizacional podem não apenas reduzir acidentes, mas também elevar os padrões de segurança no setor. Essa abordagem integrada, alinhada às demandas da transição energética global, é essencial para garantir que o crescimento das usinas fotovoltaicas ocorra de forma segura, eficiente e sustentável.

5. CONSIDERAÇÕES

A conclusão deste estudo ressalta o papel vital da engenharia de segurança do trabalho no setor de energia fotovoltaica, demonstrando que a identificação e gestão eficazes dos riscos ocupacionais são pilares fundamentais para garantir tanto a segurança dos trabalhadores quanto a eficiência operacional das usinas. A análise realizada destacou riscos críticos, como a exposição à radiação solar intensa, a possibilidade de choques elétricos de alta voltagem e condições ergonômicas inadequadas, que demandam uma abordagem sistemática e contínua para mitigação. Nesse contexto, a aplicação das normas regulamentadoras NR-10 e NR-35 se mostrou indispensável, mas sua efetividade depende diretamente da implementação prática, que inclui desde a instalação de pontos de ancoragem até o uso correto e constante de equipamentos de proteção individual (EPIs).

Além disso, o estudo evidenciou que o setor fotovoltaico se beneficia de investimentos em tecnologias avançadas, como sistemas de monitoramento remoto, automação de processos e inteligência artificial, que podem reduzir significativamente os riscos ocupacionais e otimizar as operações. Contudo, tais avanços tecnológicos exigem não apenas a adaptação das práticas de segurança existentes, mas também a constante revisão e atualização das normas regulatórias, de



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

forma a garantir que essas inovações sejam aplicadas com segurança e eficiência. Isso requer esforços colaborativos entre órgãos reguladores, empresas do setor e profissionais de engenharia de segurança do trabalho.

Por fim, conclui-se que a promoção de um ambiente de trabalho seguro e sustentável nas usinas fotovoltaicas requer uma abordagem integrada que vá além do simples cumprimento das normas vigentes. É necessário combinar rigor técnico na implementação de regulamentações com a adoção de tecnologias de ponta e o desenvolvimento de políticas de segurança personalizadas, que considerem as especificidades operacionais de cada usina. Essa abordagem não apenas reforça a proteção dos trabalhadores, mas também contribui para a sustentabilidade a longo prazo do setor de energia solar, alinhando-se aos objetivos globais de transição energética e responsabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar**: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid. 2019. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/2019> Acesso em: 05 set. 2024.

FOUREAUX, Nicole Campos; ANTUNES, Hélio Marcos André; SILVA, Sidelmo Magalhães et al. Decisões de Projeto da Usina Experimental Fotovoltaica TESLA Engenharia de Potência. *In: Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS*. 2016. p. 1-8. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1897> Acesso em: 10 set. 2024.

FREITAS, W. S. Análise preliminar de riscos em instalações de painéis fotovoltaicos residenciais. **Anais de Engenharia de Produção**, v. 3, n. 1, 2019. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/engprod/article/view/276#:~:text=Tem%20como%20objetivo%20a%20analisar%20os,resid%C3%A2ncias%20atrav%C3%A9s%20de%20pain%C3%A9is%20fotovoltaicos.> Acesso em: 12 set. 2024.

GODOY ROSOLEN, Rafael Augusto de, SILVA, Eduardo Polloni, SILVEIRA, Naijela, et al. Análise da Viabilidade Econômica para a Geração Compartilhada em Mini-usinas Fotovoltaicas Contribuições da Engenharia de Produção para a Gestão de Operações Energéticas Sustentáveis. *In: XL ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 20 a 23 de outubro de 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/DiogoFerraz3/publication/344773842_Analise_da_Viabilidade_Economica_para_a_Geracao_Compartilhada_em_Mini_Usinas_Fotovoltaicas/links/5f8efa3892851c14bcd5d8b9/Analise-da-Viabilidade-Economica-para-a-Geracao-Compartilhada-em-Mini-Usinas-Fotovoltaicas.pdf Acesso em: 10 set. 2024.

KURATA, M. E. E. **Análise de riscos em instalações de sistemas fotovoltaicos**. 2016. Monografia (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14907/1/CT_CEST_XXXI_2016%20_15.PDF. Acesso em: 08 set. 2024.

LIMA, Fernanda Costa de; CHASE, Otavio Andre; DE MELO BARBOSA, Claudio Alan. et al. Proposta de licenciamento ambiental para usinas fotovoltaicas de grande porte: um estudo de caso com a cooperativa micro usina solar na região de Paragominas, Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 11, p. 256-272, 2021. Disponível em: <https://sustenera.inf.br/index.php/rca/article/view/6846> Acesso em: 09 set. 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
Jayme dos Santos Neto

LIMA, P.; SILVA NETO, Manoel Mariano; ABRAHÃO, Raphael. Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1260-1273, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/ManoelNetoDaSilva/publication/361453804_Analise_dos_procesos_de_avaliacao_de_impacto_ambiental_em_usinas_fotovoltaicas_no_Nordeste_do_Brasil/links/62bb05e95e258e67e10c408e/Analise-dos-processos-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-em-usinas-fotovoltaicas-no-Nordeste-do-Brasil.pdf Acesso em: 05 set. 2024.

MANUAL DE LEGISLAÇÃO ATLAS. **Segurança e Medicina do Trabalho**. 78ª Ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MOSCARDINI JÚNIOR, Ernesto de Freitas; RÜTHER, Ricardo; VERGARA, Lizandra Garcia Lupi. Avaliação do conhecimento em O&M de sistemas fotovoltaicos por profissionais do mercado de energia solar brasileiro. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 8, n. 2, p. 131-139, 2017. Disponível em: <https://rbens.org.br/rbens/article/view/192> Acesso em: 05 set. 2024.

PERES, Leonardo Marques Pereira. **Dimensionamento de uma usina de geração fotovoltaica**. 2020. TCC (Graduação) - Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista (Unesp), São João da Boa Vista, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/235920> Acesso em: 05 set. 2024.

RODRIGUES, Thiago Baldin. **COMISSONAMENTO DE USINAS FOTOVOLTAICAS**. 2017. TCC (Graduação) - Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, Varginha, MG, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/711> Acesso em: 10 set. 2024.

SILVA, Matheus de Oliveira, *et al.* **Segurança do trabalho com a instalação e manutenção de módulos fotovoltaicos**. 2022. 154f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG, Itumbiara, 2022 Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/1614> Acesso em: 06 set. 2024.

STRANGUETO, Karina Maretti. **Estimativa do potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/download/59109478/Strangueto_KarinaMaretti_D20190502-64378-1w1dz01.pdf Acesso em: 12 set. 2024.

TIECHER, J. C. **Aplicação da NR 35 no processo de instalação de painéis fotovoltaicos em residências unifamiliares**. 2017. Artigo (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2017. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1865/1%202017JanrieCarlosTiecher.pdf>. Acesso em: 06 set. 2024.