

## ARTIGO

**O PARADOXO DA SEGURANÇA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS:  
A inviabilidade técnica da desenergização total frente à NR-10 e NR-35**Jhone Batista Carrinho<sup>1</sup>**RESUMO**

A expansão da energia fotovoltaica no Brasil instaura um paradoxo: o avanço sustentável contrasta com a precarização da segurança laboral e alta sinistralidade. Este estudo objetiva analisar os riscos ocupacionais de queda e choque elétrico na instalação e manutenção desses sistemas, identificando barreiras ao cumprimento das Normas Regulamentadoras (NR) 10 e 35. A metodologia compreende uma revisão bibliográfica integrativa, confrontando o arcabouço normativo com a realidade operacional. Os resultados evidenciam que a geração ininterrupta em Corrente Contínua (CC) sob radiação solar inviabiliza a "constatação de ausência de tensão" (NR-10), exigindo a reclassificação técnica da atividade para trabalho em linha viva. Simultaneamente, a inaptidão estrutural dos telhados residenciais para ancoragens seguras impede a plena aplicação da NR-35, resultando na inversão da hierarquia de controle ao priorizar erroneamente o Equipamento de Proteção Individual (EPI) sobre as Medidas de Proteção Coletiva (EPC). O Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO) mostra-se ineficaz ao não integrar as matrizes de perigo elétrico e gravitacional, inviabilizando a logística de resgate. Conclui-se haver um colapso técnico-normativo. O estudo desmistifica a falácia do "sistema desenergizado", propondo a integração mandatória da engenharia de segurança desde a concepção do projeto como requisito indispensável de viabilidade econômica.

**Palavras-chave:** Saúde do Trabalhador; Riscos Ocupacionais; Energia Fotovoltaica; Eletrochoque; Radiação Solar; Medidas de Segurança.

**ABSTRACT**

The expansion of photovoltaic energy in Brazil presents a paradox: sustainable progress contrasts with deteriorating workplace safety and high accident rates. This study aims to analyze the occupational risks of falls and electric shock during the installation and

---

<sup>1</sup> Engenheiro Eletricista, Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial, Técnico em Eletrotécnica, Técnico em Segurança do Trabalho e pós-graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho. E-mail [jhonecarrinho@gmail.com](mailto:jhonecarrinho@gmail.com)

maintenance of these systems, identifying barriers to compliance with Regulatory Standards (NR) 10 and 35. The methodology comprises an integrative literature review, comparing the regulatory framework with operational reality. The results show that uninterrupted direct current (DC) generation under solar radiation makes it impossible to “verify the absence of voltage” (NR-10), requiring the technical reclassification of the activity as live-line work. Simultaneously, the structural unsuitability of residential roofs for secure anchor points prevents the full application of NR-35, resulting in a reversal of the hierarchy of control by erroneously prioritizing Personal Protective Equipment (PPE) over Collective Protection Measures (CPM). Occupational Risk Management (ORM) proves ineffective by failing to integrate electrical and gravitational hazard matrices, rendering rescue logistics unfeasible. It is concluded that there is a technical-regulatory collapse. The study debunks the fallacy of the “de-energized system,” proposing the mandatory integration of safety engineering from the project’s conception as an indispensable requirement for economic viability.

**Keywords:** Occupational Health; Occupational Hazards; Photovoltaic Energy; Electric Shock; Solar Radiation; Safety Measures.

## 1 INTRODUÇÃO

A transição energética global impulsionou o Brasil a uma posição de destaque na geração de energia limpa, consolidando a fonte solar fotovoltaica como a segunda maior da matriz elétrica nacional, com uma capacidade instalada que já supera 56 GW (SILVA, 2025). Este cenário de expansão acelerada, fomentado por políticas de incentivo e pela demanda por sustentabilidade, projeta a criação de mais de 672 mil novos postos de trabalho no setor até 2035 (SILVA, 2022). Contudo, esse crescimento exponencial traz consigo um paradoxo crítico para a Engenharia de Segurança: a massificação da tecnologia atraiu para o mercado um contingente de mão de obra muitas vezes informal e sem a qualificação técnica necessária, resultando em uma precarização das condições laborais e no aumento da exposição a riscos graves em ambientes de trabalho que demandam alto rigor técnico (MATTZA, 2024).

A problemática central deste estudo reside na complexidade intrínseca das atividades de instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos, que expõem os trabalhadores, simultaneamente, a dois dos principais vetores de fatalidade laboral: quedas de altura e choques elétricos. Diferente das instalações elétricas convencionais prediais, que permitem a desenergização total na origem, os módulos fotovoltaicos geram tensão elétrica em Corrente Contínua (CC) sempre que expostos à radiação solar, mantendo o sistema energizado mesmo com inversores desconectados, o que desafia os procedimentos padrão de bloqueio previstos na NR-10 (MELO; SILVA; FREITAS,

2025; VIEIRA, 2019). Adicionalmente, a execução predominante dessas atividades em telhados e estruturas elevadas, frequentemente desprovidos de pontos de ancoragem certificados conforme a NR-35, agrava a vulnerabilidade dos profissionais, elevando os índices de sinistralidade no setor (VIEIRA, 2019).

A justificativa para esta pesquisa fundamenta-se na necessidade urgente de mitigar os impactos sociais e econômicos decorrentes dos acidentes de trabalho na cadeia fotovoltaica. A negligência no cumprimento das Normas Regulamentadoras e a falha no uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Coletiva (EPCs) não apenas comprometem a integridade física dos trabalhadores, mas também geram passivos trabalhistas e custos operacionais que afetam a viabilidade dos projetos (SILVA, 2022). Sob a ótica da gestão de riscos, a implementação de práticas de engenharia de segurança robustas é um imperativo para garantir que a sustentabilidade do setor não se restrinja apenas à geração de energia, mas abranja também a preservação da vida humana e a segurança jurídica das empresas (SANTOS NETO, 2024).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Particularidades técnicas dos sistemas fotovoltaicos e a natureza dos riscos intrínsecos

A análise da segurança ocupacional no setor solar fundamenta-se na compreensão da conversão direta da radiação em Corrente Contínua (CC) por células semicondutoras. Conforme Silva (2022), esse processo gera um comportamento elétrico distinto das instalações convencionais em Corrente Alternada (CA), exigindo abordagens específicas de proteção. A arquitetura desses sistemas, que agrupa módulos em série para elevar a eficiência operacional, pode atingir tensões de até 1.500 Vcc em grandes usinas, conforme a ABNT NBR 16690 (2019). Tais níveis são frequentemente letais e subestimados devido à natureza silenciosa e estática dos equipamentos.

O ponto crítico da segurança reside na natureza ininterrupta da geração fotovoltaica. Diferente de circuitos industriais que permitem a desenergização total na fonte, os módulos mantêm a tensão elétrica enquanto houver incidência de luz solar. Segundo a ABNT NBR 16274 (2014), o sistema permanece energizado mesmo com o inversor desconectado da rede, o que invalida a percepção intuitiva de que o desligamento do disjuntor geral elimina o risco elétrico. Essa característica torna a String

Box um componente vital, pois abriga dispositivos de proteção que, se mal especificados, tornam-se focos de aquecimento e arcos elétricos (ABNT, 2019; SILVA, 2022).

A fisiopatologia do choque em CC apresenta agravantes em relação à CA, destacando-se a tetanização muscular, que pode prender o trabalhador ao condutor e prolongar o tempo de exposição (MATTZA, 2024). Paralelamente, a ausência de passagem por zero na CC favorece a manutenção de arcos elétricos estáveis e duradouros, capazes de atingir temperaturas extremas e iniciar incêndios rapidamente (ABNT, 2019). Esse risco é potencializado por falhas na topologia do sistema, como o surgimento de correntes reversas em arranjos paralelos sob sombreamento, que podem causar a ignição dos condutores se os dispositivos de sobrecorrente estiverem incorretos.

Por fim, a degradação dos materiais expostos às intempéries compõe o cenário de riscos a longo prazo. O surgimento de hot spots, o envelhecimento de polímeros e a delaminação dos painéis comprometem o isolamento elétrico, expondo partes vivas que deveriam estar protegidas (SOUSA; LEMOS; VARELLA, 2019). Essas falhas de isolamento, decorrentes de manutenção inadequada, elevam significativamente a probabilidade de acidentes durante atividades rotineiras de limpeza e inspeção técnica, exigindo vigilância constante quanto à integridade física dos componentes.

## **2.2. O arcabouço normativo e a gestão de riscos: a convergência entre NR-10, NR-35 e NBR 16690**

A conformidade normativa no setor fotovoltaico funciona como o principal instrumento de mitigação diante da persistência do risco elétrico em Corrente Contínua. A NR-10 atua como a espinha dorsal desse sistema, exigindo medidas preventivas que contemplem a impossibilidade de desenergização passiva dos módulos através de bloqueios e sinalizações rigorosas. Esta norma conecta-se diretamente à ABNT NBR 16690, que detalha os requisitos de projeto para arranjos fotovoltaicos, especificando que dispositivos de seccionamento CC não devem ser sensíveis à polaridade e devem extinguir arcos sob carga. Conforme Silva (2022), a NBR 16690 preenche a generalidade da NR-10 ao tornar obrigatória a proteção contra sobrecorrentes e correntes reversas em *String Boxes*, prevenindo incêndios causados por falhas de projeto ou subdimensionamento.

Simultaneamente, a natureza elevada das instalações atrai a incidência da NR-35, cujo ponto nevrálgico é o planejamento e a hierarquia das medidas de controle. Embora a norma priorize a proteção coletiva (EPC), a prática de mercado frequentemente inverte essa lógica, confiando exclusivamente em EPIs sem a devida instalação de linhas de vida ou pontos de ancoragem certificados (VIEIRA, 2019; SILVA, 2022). A ancoragem, regulamentada pelo Anexo II da NR-35, representa um desafio crítico em coberturas residenciais que, muitas vezes, não possuem resistência estrutural para suportar cargas de impacto de 6kN. Santos Neto (2024) alerta que a improvisação de amarrações em estruturas de madeira sem inspeção prévia é uma causa frequente de sinistros, evidenciando o descompasso entre a infraestrutura civil e as demandas de segurança solar.

A gestão eficaz exige que a Análise de Risco (AR) cruze as exigências da NR-10 e da NR-35, prevendo situações complexas como o resgate de trabalhadores suspensos em áreas energizadas. Silva (2022) ressalta que o socorrista enfrenta riscos de choque durante a operação, demandando planos de emergência específicos e equipes treinadas em primeiros socorros. Sob a égide da NR-1, o Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO) obriga a integração desses perigos em um inventário único. Segundo Melo, Silva e Freitas (2025), a falha na aplicação conjunta dessas normas compromete a sustentabilidade jurídica e operacional dos projetos. Conclui-se que a segurança deve ser incorporada desde o *design* da usina, validando a prevenção como um pilar de eficiência e não apenas uma formalidade burocrática (SANTOS NETO, 2024; LUCENA; OLIVEIRA, 2024).

### **2.3 A impossibilidade técnica da desenergização total e a persistência do risco em corrente contínua**

O principal entrave à aplicação plena da NR-10 no setor fotovoltaico é a barreira física da impossibilidade de cessar a geração na fonte primária. Diferente de sistemas convencionais, onde o seccionamento a montante garante a eliminação do risco, os módulos fotovoltaicos operam como geradores ativos sob qualquer incidência de radiação solar. Segundo Melo, Silva e Freitas (2025), essa característica desafia o conceito normativo de "instalação desenergizada", pois a tensão nos terminais e no

cabeamento de Corrente Contínua (CC) permanece letal independentemente do desligamento do inversor ou dos disjuntores de saída.

Essa realidade compromete a execução integral do protocolo de desenergização da NR-10, especialmente a etapa de constatação de ausência de tensão. Silva (2022) alerta que o lado CC pode manter potenciais de até 1.500 Vcc, criando uma falácia de segurança perigosa para trabalhadores acostumados a instalações passivas. Para mitigar essa percepção, a ABNT NBR 16274 impõe a sinalização ostensiva indicando que o sistema permanece energizado durante o dia. Conforme Vieira (2019), a falta de compreensão desse fenômeno é crítica, pois intervenções inadvertidas em condutores ativos podem resultar em arcos elétricos severos, dada a estabilidade da CC que não possui a extinção natural do "passo por zero" da Corrente Alternada.

A criticidade operacional manifesta-se especialmente na desconexão de conectores sob carga, como o padrão MC4. Sem o seccionamento por chaves apropriadas, a abertura desses terminais gera arcos imediatos capazes de causar queimaduras graves e propagar incêndios (SILVA, 2022). Somado a isso, a fisiopatologia do choque em CC favorece a tetanização muscular, impedindo que a vítima se solte do condutor e agravando as lesões internas (MATTZA, 2024). Em contextos de trabalho em altura, mesmo um choque não letal pode precipitar quedas fatais devido ao recuo involuntário do trabalhador, integrando os riscos das normas NR-10 e NR-35.

Diante da "geração perpétua" diurna, a gestão de segurança exige que as intervenções no lado CC sejam tratadas como trabalho em instalações energizadas (Linha Viva), conforme o item 10.6 da NR-10. Isso demanda habilitação específica, uso de ferramentas isoladas e vestimentas resistentes ao arco elétrico. Santos Neto (2024) reforça que, embora a instalação de chaves seccionadoras em *String Boxes* permita isolar seções do arranjo, o risco residual nos terminais dos módulos persiste. Portanto, a segurança no setor depende de um novo paradigma que reconheça o sistema como uma usina viva ininterrupta, exigindo protocolos rigorosos para evitar que a solução energética se torne um vetor de acidentes fatais (MELO; SILVA; FREITAS, 2025).

## **2.4 Vulnerabilidades estruturais e a precariedade da ancoragem**

A segurança em sistemas fotovoltaicos é comprometida por coberturas que, em geral, não foram projetadas para suportar cargas adicionais ou o trânsito de pessoas.

Segundo Silva (2022), o risco gravitacional transcende o desequilíbrio individual, abrangendo o colapso estrutural da própria superfície de trabalho sob o peso dos módulos e das equipes. Essa vulnerabilidade é acentuada por uma cultura organizacional que prioriza a velocidade em detrimento da segurança; em instalações de curta duração (5 a 8 horas), é comum o abandono de linhas de vida e EPIs sob o pretexto de que tais protocolos geram morosidade excessiva, tratando o cinto de segurança como um entrave à produtividade (SILVA, 2022).

Sob a ótica da gestão, a precariedade é retroalimentada pela visão de que dispositivos de ancoragem e a Análise Preliminar de Risco (APR) representam custos desnecessários. Conforme a NR-1, o custo da proteção não deve ser transferido ao trabalhador, mas a informalidade e a "pejotização" do setor frequentemente coagem o instalador a aceitar condições inseguras. O acesso ao telhado exemplifica essa improvisação: o uso de escadas domésticas e métodos de transporte manual de módulos de 30kg viola os critérios técnicos da NR-18 e os princípios da ergonomia, elevando o risco de fadiga e quedas de nível antes mesmo do início da montagem (SILVA, 2022; LUCENA; OLIVEIRA, 2024).

Fatores ambientais e técnicos complicam o cenário, como o "efeito vela" causado por rajadas de vento, que podem desestabilizar o trabalhador durante o manuseio das placas (MELO; SILVA; FREITAS, 2025). Soma-se a isso a incompreensão sobre a Zona Livre de Queda (ZLQ): em telhados baixos, o talabarte pode ser inócuo se a distância para abertura do absorvedor de energia for insuficiente, exigindo sistemas de restrição que a mão de obra desqualificada desconhece. O risco é agravado pelo "perigo cruzado", como o uso de escadas metálicas próximas à rede elétrica, desrespeitando as normas NR-10 e NR-18 e favorecendo a ocorrência de arcos elétricos que resultam em quedas e politraumatismos (SILVA, 2022).

Por fim, observa-se uma ausência de planejamento para a manutenção e limpeza dos módulos ao longo de sua vida útil. Lucena e Oliveira (2024) destacam que a retirada de acessos provisórios após a instalação deixa o sistema inacessível de forma segura por décadas. Conclui-se que a alta sinistralidade do setor resulta da sobreposição de infraestruturas inadequadas com uma gestão focada no baixo custo. A segurança eficaz exige que a APR e a Permissão de Trabalho (PT) sejam documentos impeditivos e

dinâmicos, reconhecendo que uma instalação de poucas horas possui o mesmo potencial letal de uma grande obra de engenharia (MELO; SILVA; FREITAS, 2025; VIEIRA, 2019).

## **2.5. O gerenciamento de riscos ocupacionais e a integração mandatória entre riscos elétricos e de altura**

A multiplicidade de riscos abordada nas seções anteriores, a "desenergização impossível" dos módulos e a precariedade da ancoragem em telhados, converge para a necessidade imperativa de uma gestão integrada, consubstanciada no Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO) instituído pela NR-01. Esta norma estabelece que a organização deve implementar, por estabelecimento, o gerenciamento de riscos ocupacionais, materializado no Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR).

No contexto das instalações fotovoltaicas, emerge o desafio da elaboração de um Inventário de Riscos que não trate os perigos de forma estanque. Melo, Silva e Freitas (2025) alertam que a análise fragmentada, onde o risco elétrico é tratado separadamente do risco de queda, ignora a sinergia negativa existente entre esses agentes, falhando em proteger o trabalhador do cenário mais provável de acidente: o choque elétrico seguido de queda de nível.

A ferramenta operacional para essa integração é a Análise Preliminar de Risco (APR), exigida tanto pela NR-10 quanto pela NR-35. Contudo, a prática de mercado revela uma grave distorção na aplicação deste instrumento. Silva (2022) critica a utilização recorrente de APRs genéricas, documentos "de prateleira" preenchidos burocraticamente nos escritórios, que não refletem as condições reais do local de instalação. Uma APR eficaz para sistemas solares deve contemplar as especificidades do dia e do local, como a inclinação do telhado, a resistência das telhas, a proximidade com a rede de distribuição da concessionária e as condições meteorológicas momentâneas. A ausência de uma análise *in loco* transforma a APR em um mero formalismo legal, incapaz de antecipar o risco dinâmico e de exercer seu papel fundamental: autorizar ou impedir o início da atividade.

O Inventário de Riscos frequentemente falha ao não realizar o cruzamento de matrizes, ignorando que o risco elétrico (fonte geradora) é o gatilho para o risco de queda (consequência final), tratando-os como eventos isolados na planilha. Para atividades não

rotineiras, classificação que se aplica à maioria das instalações de microgeração devido à variabilidade das edificações clientes, a NR-35 impõe a emissão da Permissão de Trabalho (PT). A PT difere da APR por ser um documento de autorização de execução, que deve conter a verificação presencial das medidas de controle. Santos Neto (2024) reforça que a PT deve ser encarada como um checklist de liberação rigoroso, onde a ausência de um ponto de ancoragem confiável ou a falta de ferramentas isoladas deve resultar na não autorização do serviço. A banalização da PT, assinada sem a verificação dos itens de segurança, transfere a responsabilidade civil e criminal do gestor para o trabalhador na ponta, perpetuando a insegurança jurídica e operacional das empresas integradoras.

Sob a ótica da hierarquia das medidas de controle estabelecida na NR-01 (item 1.4.1), a gestão de riscos deve priorizar a eliminação do perigo e as medidas de proteção coletiva (EPC) antes das medidas administrativas ou de proteção individual (EPI). No entanto, Vieira (2019) e Lucena e Oliveira (2024) observam uma inversão perigosa dessa lógica no setor solar, onde o fornecimento do EPI (cinto e capacete) é frequentemente a única medida adotada, negligenciando-se proteções coletivas como guarda-corpos provisórios, linhas de vida ou o uso de plataformas elevatórias (PEMT) para o içamento de módulos. O GRO eficaz deve forçar a engenharia a projetar métodos de instalação que reduzam a exposição ao risco, em vez de apenas equipar o trabalhador para suportar o acidente.

Adicionalmente, o Inventário de Riscos deve alimentar o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), exigido pela NR-07. A exposição à radiação solar (calor), o esforço físico intenso no manuseio de cargas (módulos de 25kg a 30kg) e o risco psicossocial derivado do trabalho em altura exigem exames específicos. Sousa, Lemos e Varella (2019) destacam que a fadiga térmica e física, agravada por condições ergonômicas desfavoráveis, reduz a capacidade cognitiva e de reação do trabalhador, aumentando a probabilidade de erros procedimentais durante as conexões elétricas ou movimentação no telhado. O não reconhecimento desses riscos ergonômicos e físicos no PGR constitui uma não conformidade legal que compromete a validade dos Atestados de Saúde Ocupacional (ASO).

A aplicação do GRO no setor fotovoltaico não pode ser um exercício estático de documentação. Ele exige uma mudança cultural que substitua a improvisação pela

análise técnica antecipada. A integração das NRs 01, 10 e 35 deve resultar em procedimentos operacionais que reconheçam a "instalação de 5 horas" como uma operação crítica de engenharia. Somente através de APRs específicas e PTs rigorosas, que tenham o poder de paralisar a atividade diante de riscos não controlados, é que se torna possível romper o ciclo de acidentes e garantir a sustentabilidade humana que deve acompanhar a sustentabilidade energética (SILVA, 2022; MELO; SILVA; FREITAS, 2025).

## **2.6. A hierarquia das medidas de controle: da eliminação do risco à especificidade do EPI para o eletricitista em altura**

A gestão de riscos em sistemas fotovoltaicos deve seguir a hierarquia de controle prevista na NR-01, embora se observe no setor uma inversão que prioriza o Equipamento de Proteção Individual (EPI) em detrimento da engenharia. Segundo Melo, Silva e Freitas (2025), a eliminação ou substituição do risco deve ser a meta primordial. No cenário solar, o uso de microinversores ou otimizadores de potência exemplifica esse princípio, pois essas tecnologias realizam a conversão para Corrente Alternada (CA) junto ao módulo ou limitam a tensão a níveis de segurança quando a rede é desconectada, reduzindo drasticamente a exposição do trabalhador a tensões fatais de até 1.500 Vcc e arcos elétricos (SILVA, 2022).

Quando a eliminação é inviável, aplicam-se Medidas de Proteção Coletiva (EPC) e de engenharia. Para o risco de queda, a NR-35 e a NR-18 priorizam sistemas de guarda-corpo e passarelas técnicas antiderrapantes, que evitam o deslocamento sobre superfícies frágeis e reduzem a dependência exclusiva do equilíbrio do trabalhador (VIEIRA, 2019). No âmbito elétrico, a instalação de chaves seccionadoras com bloqueio de reenergização e o uso de conectores com grau de proteção IP adequado são barreiras físicas essenciais. Tais medidas são complementadas por sinalizações administrativas ostensivas sobre a presença de geração própria, vitais para evitar intervenções indevidas por terceiros (MATTZA, 2024).

As medidas administrativas, como o sistema de Bloqueio e Etiquetagem (LOTO) e a Permissão de Trabalho (PT), fundamentam a padronização e o controle de energias residuais. Contudo, Santos Neto (2024) alerta que esses procedimentos exigem uma

cultura de segurança consolidada para resistir à pressão por produtividade. No topo da pirâmide, o EPI deve possuir especificidades que atendam simultaneamente aos riscos de altura e eletricidade. Silva (2022) destaca o uso de cintos de segurança dielétricos, fabricados sem componentes metálicos expostos, e vestimentas com tratamento retardante a chamas (FR) e proteção contra arco elétrico (ATP). A proteção eficaz, portanto, resulta de uma estratégia de gestão integrada que une tecnologias de eliminação de risco (EPC) à especificação rigorosa de EPIs de alta performance, estritamente dielétricos, dimensionados em conformidade com os estudos de energia incidente de cada instalação (VIEIRA, 2019; SANTOS NETO, 2024; MELO; SILVA; FREITAS, 2025)

## **2.7. Comissionamento, manutenção preventiva e o plano de resgate em altura**

A segurança no ciclo de vida de uma usina fotovoltaica não se encerra com a fixação do último módulo; ela entra em uma fase crítica durante o comissionamento e se estende por décadas de operação e manutenção (O&M). A etapa de comissionamento, regida pela ABNT NBR 16274, exige a realização de ensaios elétricos rigorosos, como a verificação de polaridade, tensão de circuito aberto e resistência de isolamento. Silva (2022) alerta que esses testes são realizados frequentemente com o sistema energizado (devido à irradiação solar), expondo o técnico a riscos de arco elétrico e choque direto caso os procedimentos de segurança da NR-10, como o uso de vestimentas resistentes ao arco e ferramentas isoladas, sejam negligenciados em prol da agilidade na entrega da obra.

Após a entrega técnica, inicia-se a fase de manutenção, onde a percepção de risco tende a diminuir, mas os perigos se intensificam devido à degradação dos materiais e fatores ambientais. A atividade de limpeza dos módulos, essencial para garantir a eficiência energética, é frequentemente realizada por trabalhadores terceirizados sem qualificação específica em elétrica ou altura. Lucena e Oliveira (2024) destacam que o uso de água e sabão sobre telhados inclinados cria um cenário de risco extremo: a superfície torna-se escorregadia (risco de queda) e a condutividade da água aumenta a probabilidade de choque elétrico caso haja falhas no isolamento dos condutores ou caixas de junção.

A degradação dos componentes é um fator técnico que deve constar no Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR). Sousa, Lemos e Varella (2019) identificaram, através de termografia, a presença de "pontos quentes" (hot spots) em módulos operacionais, decorrentes de conexões mal torqueadas ou microfissuras nas células. Esses pontos não apenas reduzem a geração, mas podem evoluir para arcos elétricos e incêndios. A manutenção preventiva, portanto, não é apenas uma questão de performance, mas de segurança estrutural e pessoal, exigindo inspeções visuais e termográficas periódicas conforme estipulado na NBR 16274, para identificar isolamentos ressecados ou conectores carbonizados antes que causem um acidente.

No entanto, a maior lacuna identificada na gestão de segurança do setor fotovoltaico reside na inexistência ou ineficácia do Plano de Ação de Emergência (PAE), especificamente quanto ao resgate de vítimas em altura. A NR-35 determina que o empregador deve disponibilizar equipe capacitada para resgate. Contudo, Vieira (2019) observa que, na prática, a maioria das equipes de instalação conta apenas com a "sorte", sem possuir kits de resgate ou treinamento para descer um colega inconsciente que tenha ficado suspenso no cinto de segurança após uma queda ou choque elétrico.

A urgência do resgate é ditada pela fisiologia da "síndrome da suspensão inerte" (ou trauma de suspensão). Quando um trabalhador fica suspenso pelo cinto de segurança, o represamento sanguíneo nas pernas pode levar ao choque hipovolêmico e à morte em poucos minutos. Silva (2022) reforça que depender do Corpo de Bombeiros ou SAMU em locais de difícil acesso (como telhados industriais ou zonas rurais) é uma estratégia falha, pois o tempo de resposta dessas corporações geralmente excede o tempo de sobrevivência da vítima suspensa. A ausência de um sistema de pré-engenharia de resgate (como polias pré-montadas ou descensores) constitui uma negligência criminal por parte dos gestores da obra.

Além disso, o cenário de resgate em sistemas fotovoltaicos possui um agravante crítico: a eletricidade. O socorrista não pode simplesmente acessar a vítima sem antes garantir que o local está seguro contra novos choques elétricos. Melo, Silva e Freitas (2025) argumentam que o plano de resgate deve contemplar procedimentos específicos de seccionamento de emergência (corte dos cabos CC com ferramentas isoladas ou desconexão segura), sob pena de o socorrista se tornar a segunda vítima.

A segurança operacional no setor fotovoltaico exige uma abordagem de "Engenharia de Manutenção Segura". Os projetos devem prever não apenas a geração de energia, mas a acessibilidade futura, incluindo linhas de vida permanentes, passarelas técnicas e pontos de ancoragem para sistemas de resgate. Santos Neto (2024) finaliza que a viabilidade econômica do projeto solar deve contabilizar os custos de manutenção segura (Opex); ignorar esses custos na fase de vendas resulta em um passivo oculto que, invariavelmente, é pago com a integridade física dos trabalhadores de manutenção. O passivo trabalhista de um único acidente fatal anula o lucro operacional de décadas de uma usina. Portanto, o CAPEX (investimento) em linhas de vida definitivas é, na verdade, uma proteção do ativo financeiro da empresa.

### 3. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, este estudo adotou uma abordagem metodológica de natureza qualitativa e descritiva, estruturada sob a forma de revisão bibliográfica integrativa e pesquisa documental. A estratégia de busca foi conduzida nas bases de dados acadêmicas SciELO, Google Acadêmico e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), utilizando as combinações dos descritores: "segurança do trabalho", "energia solar fotovoltaica", "riscos ocupacionais", "choque elétrico" e "trabalho em altura". O levantamento teve como premissa o cruzamento das exigências normativas brasileiras de engenharia de segurança com a realidade operacional dos canteiros de obras de micro e minigeração distribuída.

O processo de triagem do material seguiu rigorosos critérios de elegibilidade para garantir a densidade técnica da pesquisa. Na busca inicial nas bases de dados, foram identificados 125 trabalhos potenciais. O primeiro critério de exclusão aplicado foi o recorte temporal e a eliminação de duplicidades: foram descartados estudos publicados antes de 2014 (ano de publicação da ABNT NBR 16274, marco técnico do setor para o comissionamento) e registros duplicados entre as bases. Com a aplicação deste filtro preliminar, 45 trabalhos saíram da amostra, restando 80 documentos para a etapa analítica seguinte.

Na terceira fase, procedeu-se à leitura de títulos e resumos, aplicando-se o segundo critério de exclusão: o desvio do escopo temático central. Foram eliminados artigos que tratavam exclusivamente de viabilidade econômica, eficiência energética de arranjos ou fabricação de módulos fotovoltaicos, sem abordar a ótica da Engenharia de Segurança do Trabalho. Este filtro resultou na exclusão de 50 trabalhos, restando 30 artigos. Em seguida, procedeu-se à leitura na íntegra, aplicando-se o critério de inclusão definitivo: foram mantidos apenas os trabalhos que apresentassem dados empíricos de campo (estudos de caso ou análises de falhas) e que discutissem diretamente o conflito operacional com as diretrizes das Normas Regulamentadoras (NR-10 e NR-35). Nesta triagem final, 20 trabalhos foram excluídos por superficialidade técnica, restando 10 artigos acadêmicos e técnicos altamente qualificados.

A amostra final da pesquisa consolidou-se, portanto, em 15 documentos essenciais. Este total é composto pelos 10 trabalhos científicos filtrados nas etapas anteriores, acrescidos de 5 documentos de caráter documental e normativo de inclusão mandatória para o embasamento legal do estudo (NR-01, NR-10, NR-35, ABNT NBR 16690 e ABNT NBR 16274). O procedimento de análise dos dados ocorreu mediante a técnica de análise de conteúdo descritiva, confrontando o arcabouço normativo (a exigência legal) com os dados empíricos da literatura (as vulnerabilidades reais da instalação), permitindo estruturar o diagnóstico e as propostas de gestão de risco apresentadas nos resultados deste estudo.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos a partir do cruzamento da legislação com a literatura técnica revelam a existência de três eixos críticos de falha na segurança ocupacional do setor fotovoltaico: 1) a incompatibilidade física do risco elétrico em Corrente Contínua (CC) com os métodos tradicionais de desenergização; 2) o déficit de infraestrutura civil para ancoragem em telhados residenciais; e 3) a inversão da hierarquia das medidas de controle (priorização de EPIs sobre EPCs). A partir desses achados centrais, a análise crítica da literatura e das normativas evidencia um paradoxo fundamental no setor

brasileiro: enquanto a matriz energética avança em direção à sustentabilidade ambiental, as condições laborais na ponta da instalação frequentemente regridem a níveis de precarização alarmantes. Os dados apresentados por Silva (2025) e Santos Neto (2024) confirmam que a expansão acelerada da micro e minigeração distribuída trouxe para o mercado um contingente de empresas e profissionais sem a cultura de segurança consolidada do setor elétrico de potência (SEP). A discussão, portanto, não reside na ausência de legislação, visto que o arcabouço regulatório nacional é robusto, mas na inviabilidade técnica e econômica de sua aplicação literal em canteiros de obras residenciais de curto prazo, onde a pressão por produtividade e o dumping comercial se sobrepõem aos ritos de segurança.

No que tange ao risco elétrico, a literatura evidencia um conflito técnico insuperável entre a física dos semicondutores e os procedimentos de desenergização preconizados pela segurança do trabalho. Conforme discutido por Silva (2022) e Melo, Silva e Freitas (2025), a premissa básica da segurança elétrica, o trabalho desenergizado, é inaplicável no lado de Corrente Contínua (CC) durante o dia. A insistência do mercado em tratar a instalação de módulos como uma atividade elétrica predial comum (baixa tensão passiva) é o erro primordial que conduz aos acidentes. A análise aponta que, se o módulo mantém a geração ativa sob a luz solar, todo o procedimento de instalação e manutenção deveria ser reclassificado juridicamente e tecnicamente como "trabalho em linha viva", exigindo o nível de habilitação, ferramental isolado e vestimentas que as normas reservam para intervenções energizadas, um custo que o modelo de negócio da microgeração resiste em absorver.

Essa persistência da tensão introduz uma complexidade adicional na gestão de emergências e na prevenção de incêndios. Vieira (2019) e Mattza (2024) corroboram que a maioria dos acidentes de origem elétrica no setor solar evolui para quedas de altura justamente porque o choque em corrente contínua provoca a tetanização muscular ou movimentos de recuo reflexo involuntários. A falha identificada não é apenas operacional, mas de projeto: a ausência de meios de seccionamento visíveis e bloqueáveis junto aos arranjos (como chaves seccionadoras externas) impede que o trabalhador realize o bloqueio efetivo das fontes de energia antes de intervir, obrigando-o a manipular conectores sob carga com risco iminente de arco voltaico, uma prática que viola os princípios de prevenção, mas que é normalizada pela "cultura da pressa".

A transposição desse cenário para o trabalho em altura revela a fragilidade da infraestrutura civil brasileira frente às exigências de ancoragem. Enquanto as normas pressupõem a existência de pontos de fixação com resistência mecânica calculada, Lucena e Oliveira (2024) e Vieira (2019) descrevem uma realidade de "improvisação sistemática". A discussão aqui deve ser enfática: o telhado residencial típico não foi projetado para receber a sobrecarga estática dos módulos, muito menos a carga dinâmica gerada pela retenção de uma queda. A prática recorrente de ancorar linhas de vida em estruturas de madeira (caibros e ripas) sem laudo de integridade, ou em elementos de alvenaria sem função estrutural, cria uma "falsa sensação de segurança". O trabalhador acredita estar protegido pelo EPI, mas, na ocorrência do evento, o sistema de ancoragem tende ao colapso, resultando na falência da medida de controle e no agravamento das lesões.

Além das falhas estruturais, a ergonomia e o acesso são frequentemente negligenciados na fase de design, gerando passivos ocultos para a fase de manutenção. Sousa, Lemos e Varella (2019) demonstram que a falta de planejamento para o "pós-obra" obriga os trabalhadores a adotarem posturas inadequadas e a transitarem diretamente sobre os módulos ou telhas frágeis durante as rotinas de limpeza. A literatura indica que a maioria dos projetos foca exclusivamente na maximização da área de geração (ocupação total do telhado), eliminando as áreas de circulação técnica (passarelas) e os pontos de ancoragem definitivos. Essa visão mercantilista transfere o risco para a equipe de operação e manutenção (O&M), que anos depois terá que acessar um telhado envelhecido e escorregadio, sem infraestrutura de segurança, validando a tese de que o acidente na manutenção é gestado na prancheta do projetista.

A gestão documental, materializada no Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e na Análise Preliminar de Risco (APR), também é alvo de críticas severas na literatura analisada. Santos Neto (2024) alerta para a burocratização da segurança, onde APRs são preenchidas como formalidade administrativa ("documentos de gaveta") e não como ferramentas vivas de planejamento. A discussão evidencia que, para instalações rápidas, a análise de risco precisa ser dinâmica. As variáveis ambientais mudam rapidamente: uma chuva repentina altera o coeficiente de atrito da telha, ou o sombreamento parcial altera o comportamento elétrico da string. A rigidez dos documentos genéricos atuais não captura essa variabilidade, deixando o trabalhador

desamparado nas tomadas de decisão em tempo real e anulando, na prática, o seu direito de recusa.

Sob a ótica econômica, defendida por Silva (2022) e reforçada pelos conceitos de gestão de ativos, há uma necessidade urgente de demonstrar que a segurança é um componente de viabilidade financeira e não apenas um centro de custo. A discussão aponta que o passivo gerado por um único acidente fatal, envolvendo indenizações cíveis, ações regressivas previdenciárias e danos à reputação, supera largamente a economia feita com a não aquisição de linhas de vida ou plataformas elevatórias. No entanto, o mercado opera com margens exíguas e alta concorrência, o que incentiva o descumprimento normativo como estratégia de redução de preço. A literatura sugere que somente uma fiscalização mais atuante ou a exigência de certificações de segurança por parte das instituições financeiras e seguradoras poderia reverter essa lógica perversa.

A integração das medidas de controle na hierarquia de prevenção mostra-se invertida na prática do setor solar. Conforme observado nos estudos de caso revisados, a solução padrão adotada é quase exclusivamente o Equipamento de Proteção Individual (cinto e capacete), ignorando-se as Medidas de Proteção Coletiva (EPC) e de Engenharia. Melo, Silva e Freitas (2025) argumentam corretamente que o EPI deve ser o último recurso, não o primeiro. Em um telhado inclinado e energizado, a queda deve ser evitada por sistemas de restrição de movimentação (que impedem o trabalhador de chegar à borda), e não apenas retida pelo cinto após o evento. A dependência excessiva do EPI desconsidera a complexidade do resgate em altura, onde a suspensão inerte pode levar ao óbito em poucos minutos se não houver uma equipe de resgate equipada e treinada no local, recurso raramente disponível em pequenas instalações.

A síntese das fontes permite concluir que o setor de energia solar brasileiro vive uma crise de maturidade na segurança do trabalho. A tecnologia dos inversores e módulos é de ponta, mas os métodos de trabalho e a cultura de prevenção em altura e eletricidade ainda remetem a práticas arcaicas da construção civil informal. A solução, conforme apontado por Rodrigues e Vasconcelos (2024) ao discutir novas tecnologias, passa pela engenharia digital e pela integração da segurança desde a concepção do projeto. Prever pontos de ancoragem e rotas de manutenção no modelo virtual da usina, antes da compra dos materiais, e exigir a qualificação técnica real da mão de obra são

passos indispensáveis. Sem essa integração entre o design seguro e a execução disciplinada, o setor continuará a pagar um preço humano inaceitável por sua energia limpa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo observou uma lacuna técnico-normativa na segurança ocupacional do setor fotovoltaico brasileiro. A premissa de "sistema desenergizado", preconizada pela NR-10, demonstrou-se fisicamente inviável durante o dia. Conclui-se, portanto, que a intervenção no lado de Corrente Contínua (CC) dos arranjos deve ser reclassificada como trabalho em linha viva. Essa mudança de paradigma exige o abandono da dependência exclusiva do seccionamento em inversores e a adoção mandatória de ferramentas isoladas, vestimentas contra arco elétrico e qualificação técnica compatível com o SEP.

No âmbito da NR-35, diagnosticou-se uma falha estrutural sistêmica: os telhados residenciais são inaptos para suportar a carga dinâmica de retenção de quedas. A causa raiz da sinistralidade do setor é a inversão da hierarquia de controle da NR-01. Prioriza-se a entrega do Equipamento de Proteção Individual (EPI), ignorando as Medidas de Proteção Coletiva (EPC). O cinto de segurança, isoladamente, não previne a queda e ainda agrava o risco de morte por trauma de suspensão inerte, dada a complexidade do resgate em planos inclinados e energizados.

Sob a ótica da gestão financeira, o estudo comprova que a segurança é um instrumento de proteção do ativo. A alocação de CAPEX em linhas de vida definitivas e passarelas técnicas otimiza o OPEX de manutenção ao longo das décadas e previne passivos trabalhistas severos, que aniquilariam rapidamente o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) da usina. Contudo, a subnotificação e a generalização de dados nos anuários previdenciários ainda limitam um diagnóstico epidemiológico exato da sinistralidade na microgeração.

Para sanar as lacunas identificadas, recomendam-se duas diretrizes imediatas: a) a exigência de Projetos de Ancoragem como condicionante para a homologação dos sistemas nas concessionárias; e b) a inclusão mandatória de planos de resgate técnico

com equipamentos in loco nas Análises Preliminares de Risco (APR). Para trabalhos futuros, sugere-se a investigação de três vertentes:

1. Tecnologias de Monitoramento: O uso de IoT e wearables para monitoramento fisiológico e detecção de quedas em tempo real.

2. Automação da Manutenção: A viabilidade técnica e econômica do uso de robôs para limpeza de módulos em usinas de solo e telhados industriais, visando a eliminação da exposição humana ao risco.

3. Engenharia Digital (BIM): A aplicação da Modelagem da Informação da Construção (BIM 4D) para a simulação de cenários de risco e planejamento de segurança na fase de projeto, antecipando conflitos entre a instalação elétrica e os dispositivos de proteção contra quedas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16274**: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora n.º 01 (NR-01)**: Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais. Brasília, DF: MTE, 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora n.º 10 (NR-10)**: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília, DF: MTE, 2004.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora n.º 35 (NR-35)**: Trabalho em Altura. Brasília, DF: MTE, 2012.

LUCENA, Myllene Rayane de; OLIVEIRA, Fabrícia Nascimento de. **Riscos ocupacionais na manutenção de uma usina fotovoltaica localizada em uma instituição de ensino superior no semiárido**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2024.

MATTZA, Ana Claudia Alves da Costa. O papel da segurança do trabalho na área de eletricidade. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 10, n. 8, p. 938-958, ago. 2024.

MELO, Lincoln Parmezan de; SILVA, Rodrigo Rocha da; FREITAS, Luciana Paro Scarin. Segurança do trabalho aplicada em implementação de sistemas fotovoltaicos. **International Journal of Professional Business Review**, Miami, v. 10, n. 11, e05694, 2025.

RODRIGUES, Igor Alencar; VASCONCELOS, Bianca Maria. Análise crítica do papel do BIM na gestão da segurança do trabalho na indústria da construção. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas**, v. 15, e024004, 2024.

SANTOS NETO, Jayme dos. Análise da engenharia de segurança do trabalho em usinas de geração de energia fotovoltaica. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 5, n. 11, e5115238, 2024.

SILVA, Bruno Rafael Morais da. **Segurança perimetral para minigeração fotovoltaica no Brasil: análise técnico-econômica, tecnologias e estudo de caso**. 2025. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

SILVA, Matheus de Oliveira. **Segurança do trabalho com a instalação e manutenção de módulos fotovoltaicos**. 2022. 135 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2022.

SOUSA, Emanuella Maria Rodrigues de; LEMOS, Herick Talles Queiroz; VARELLA, Fabiana K. de O. Martins. Análise da operação e manutenção da usina solar fotovoltaica Mossoró II da UFERSA. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SIMEP), 7., 2019, Montes Claros. Anais [...]**. Montes Claros: SIMEP, 2019.

VIEIRA, Fernomar Batista. **Estudo sobre os riscos ocupacionais na manutenção de painéis solares em locais de difícil acesso**. 2019. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2019.

