

REVISTA BRASILEIRA DE INCÊNDIOS

Revista técnica da ciência do fogo

Artigo Publicado Vol. 01 – Primeira Edição 21 julho 2025 – **ISSN 3086-0539**

Versão online www.revistabrasileiraincendios.com.br

APOIO TÉCNICO WSN PERÍCIA

Incêndios em sistemas fotovoltaicos: riscos da desconformidade elétrica

Análise técnica e panorama goiano à luz da NBR 17193:2025

[Doi.org/10.5281/zenodo.17210597](https://doi.org/10.5281/zenodo.17210597)

<https://orcid.org/0009-0007-5723-7219>

Circulação prevista: pares da ABEE, CONFEA/CREA, Corpos de Bombeiros, ANEEL/Distribuidoras, órgãos de defesa do consumidor e MP.



Este documento sustenta, com dados e engenharia, uma conclusão incômoda e necessária: **a NBR 17193:2025 vem sendo amplamente ignorada em instalações sobre edificações; não há fiscalização efetiva; quem ignora o requisito de segurança colhe vantagem competitiva enorme; o mercado não se autorregula.**

Enquanto isso, expõem-se pessoas, civis e militares, a dois perigos de alta tensão inerentes a sistemas fotovoltaicos com inversor convencional: **eletrocussão** e **arco elétrico em corrente contínua**.

Raciocínio Dedutivo - NFPA 921

Guia para Investigações de Incêndios e Explosões

É meio dia, céu limpo. Um grande hipermercado funciona em uma tarde de sábado ensolarado, coberto de módulos fotovoltaicos. No quadro geral lá embaixo, o disjuntor do padrão de entrada está ligado, tudo funcional; no telhado, a luz do sol segue alimentando módulos em série. A tensão continua alta — invisível, silenciosa, letal.

1

Situação Inicial

Em uma eletrocalha, com 10 circuitos CC de 1kV. Cada circuito com 20 módulos de 600W conectados. Portanto, cada circuito alimentado com 12kW.

2

Falha do Sistema

Um conector MC4 mal crimpado finalmente atinge a temperatura de fusão do plástico isolante. Esse derretimento insere impurezas na conexão, e aumenta ainda mais a potência do ponto quente.

3

Arco Elétrico

Até o ponto que a isolamento de outro cabo CC é comprometida. Acontece então um potente arco elétrico de 12kW. Arco entre cabos positivos e negativos dos strings de módulos.

4

Tentativa de Desligamento

Alarmados, os funcionários desligam o padrão de entrada, e o inversor corta a corrente contínua. No entanto, esse inversor é um inversor convencional string, então ele não pode controlar arcos elétricos entre fases dos cabos fotovoltaicos. O sol continua alimentando 1kV nesses cabos de corrente contínua apertados em uma eletrocalha.

5

Persistência do Perigo

Agora, com isolamento comprometida, os arcos entre cabos continuam a acontecer. Um funcionário descarrega um extintor de incêndio. Porém, a fonte de energia continua ativa. O sol está lá. E não existe dispositivo algum para cortar essa energia.

6

Chegada dos Bombeiros

Os bombeiros são chamados enquanto a evacuação do mercado acontece. Muita fumaça preta começa a tomar conta do ambiente, uma vez que os cabos passam por locais próximos a produtos plásticos. Ao chegar, os bombeiros nada podem fazer a não ser jogar água e aguardar na evacuação. A água não é efetiva, uma vez que os arcos elétricos são alimentados pelo sol.

Esse cenário é fictício. Mas pode ter acontecido algo parecido no galpão da Dietz and Watson em 2014 nos Estados Unidos. Fato que motivou a criação da normativa prevendo uso dos RSDs no mercado americano (NEC).

O Brasil demorou a ter a própria normativa. Agora a luta é por ela ser seguida.

⊗ No Brasil existem hospitais, escolas, batalhões da polícia militar, locais de difícil evacuação. Espero que o leitor entenda a gravidade da situação.

Definições Essenciais

Para alinhamento rápido

1

Limite do Arranjo

Área dos módulos: região física ocupada pelo conjunto de módulos no telhado e seus condutores imediatamente associados. Neste dossiê, usamos o atalho didático "área dos módulos" para se referir a essa região.

2

RSD em Nível de Módulo

Module-Level Rapid Shutdown: arquitetura em que cada módulo (ou pequenos grupos de não mais que dois módulos em série) possui um receptor integrado ou acoplado que, quando acionado por um comando externo, secciona/colapsa a tensão no próprio módulo/ramal, permitindo atingir <120 Vdc em ≤30 s dentro do limite do arranjo.

Exemplos práticos: microinversores, otimizadores com FDR integrada, receivers RSD externos por módulo.

3

RSD em Nível de String

Tecnologia antiga: dispositivos que apenas abrem/desconectam a string do restante da instalação. Não reduzem a tensão dentro do arranjo (os módulos em série permanecem energizados). **Não atende** ao item 7.4(b) da NBR 17193 para telhados.

AFCI (Arc-Fault Circuit Interrupter)

Função/dispositivo que detecta a assinatura de arco elétrico em CC e interrompe o circuito, no ponto do inversor. Mitiga arcos, mas não reduz a tensão na área dos módulos; não substitui o RSD.

MLPE (Module Level Power Electronics)

Otimizadores, microinversores, solaredge. Eletrônica de Potência em Nível de Módulo - dispositivos eletrônicos instalados junto a cada módulo fotovoltaico (ou a dois módulos), com a função de otimizar, controlar e/ou proteger a geração de energia de forma individualizada. MLPE usualmente atendem aos requisitos da normativa.

Sobre a NBR 17193

ABNT NBR 17193:2025 — Sistemas fotovoltaicos em edificações — Requisitos de segurança contra incêndio. Norma lançada e tornada vigente em 04/02/2025, que estabelece, entre outros, a **Função de Desligamento Rápido (FDR/RSD)** para reduzir riscos a pessoas e ao patrimônio em situações de emergência.

-  O item 7.4 alínea B dessa norma traz explícito que os circuitos localizados dentro do arranjo devem ser limitados a não mais que 120 V em corrente contínua em até 30 s após inicialização do desligamento rápido. Que pode ser manual via botoeira, ou automática, via desligamento da rede pelo disjuntor geral do padrão de entrada.

A NBR 17193 não é aplicável a sistemas de solo, e sistema com armazenamento (bateria).

O que os Dados Mostram

Recorte Goiás, sistemas homologados entre 02/04/2025 a 31/07/2025

<1K	>4K	~3K	15K
Instalações Conformes	Sistemas String	Sistemas Rurais	Módulos com RSD
Menos de 1000 novas instalações em Goiás utilizaram microinversor ou arquitetura SolarEdge — topologias que, por projeto, já cumprem o requisito 7.4(b).	Mais de 4000 sistemas foram conectados com inversores string, exigindo RSD externo para atender ao 7.4(b).	Outras quase três mil sistemas rurais podem também não serem regulares.	Três fabricantes de RSD informaram vendas somadas que cobrem cerca de 15 mil módulos no Brasil.

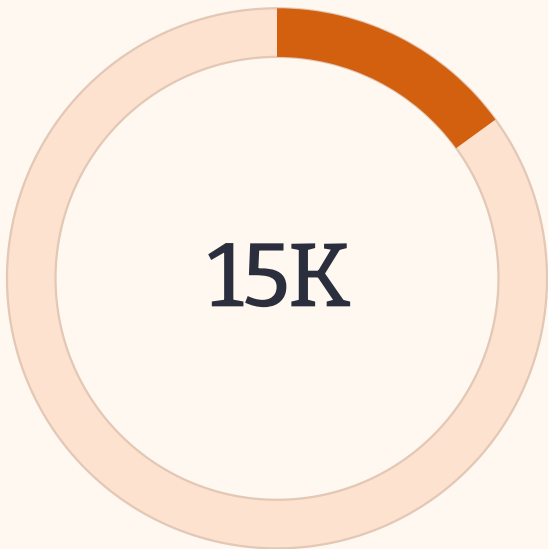
O número de RSD vendidos é diminuto quando comparado ao volume de sistemas string instalados apenas no recorte goiano — um estado, em que os bombeiros têm reputação de fiscalização **mais rígida** e onde o **uso de microinversores** é **acima da média** nacional.

⚠ **Distribuidores de equipamentos fotovoltaicos relatam "baixíssima demanda" por RSD.** Note que, o maior distribuidor do estado de Goiás, a empresa SOOLLAR, sequer tem RSD em estoque.



Módulos Precisando RSD

No estado de Goiás, entre 02/04/2025 e 31/07/2025, foram instalados 103.265 módulos fotovoltaicos precisando de RSD externo.



RSDs Vendidos

Comparando com o dado de que foram vendidos RSDs para atender apenas 15.000 módulos, em todo Brasil, fica clara a discrepância.

A discrepância entre **o que foi instalado precisando do RSD externo** e **o que foi vendido de RSD** não é um detalhe estatístico: é um sintoma de **desconformidade sistêmica**.

E dois detalhes importantes: Goiás é estabelecido pela SOOLLAR, essa distribuidora tem um dos menores custos de microinversor do país. Além de que a NT de Goiás, é uma das mais bem fiscalizadas. Por inferência, e baseado em outros gráficos, asseguro que os demais estados brasileiros estão em situações muitíssimo piores.

Nota Metodológica

As evidências foram obtidas por **cruzamento de duas bases públicas da ANEEL** (extrações no período do estudo). A classificação de arquitetura decorre do campo **marca/modelo de inversor**.

A base ANEEL não possui um campo "RSD". Portanto inferência de desconformidade considera: se é **microinversor/SolarEdge** como topologias que atendem ao requisito da NBR 17193 item 7.4(b), está conforme; se **inversores string** como topologias que **requerem RSD externo** por módulo/ramal para atender ao 7.4(b), não está conforme, haja vista que o RSD ainda mal vende no Brasil.

Para evitar vieses, foram **excluídos** sistemas tipicamente rurais, a norma exclui sistema solo e **sistemas com baterias** (evento muito raro). O objetivo é **magnitude e tendência**, não censo exato.

Por que o Não-Conforme Vende

Há um argumento econômico real, que precisa ser admitido para ser enfrentado. Em sistemas residenciais com **12 módulos**:

		
Sistema Não Conforme	Sistema Conforme	Sistema Conforme
Mais vendido — Inversor String 5 kW sem RSD	Microinversor (3 inversores de 2 kW)	Inversor String 5 kW com otimizadores
R\$ 7.500	R\$ 8.042	R\$ 11.950

A diferença para sistemas residenciais de pequeno porte não parece muita, mas R\$ 550,00 representa um valor razoável do montante. **7% de margem de negociação a mais para quem vende o sistema em desconformidade.**

Para Sistemas em Escala Comercial

		
Sistema Não Conforme	Sistema Conforme	Sistema Conforme
Inversor 75kW + 166 módulos sem RSD	Inversor 75kW + 166 módulos com RSD WEG	42 microinversores para 166 módulos
R\$ 93.000	R\$ 118.934	R\$ 116.000

⊗ **Os números falam: o preço tem puxado a desconformidade.** Note a diferença enorme entre um sistema comercial com inversor string sem RSD R\$ 93.000,00 e o mesmo sistema com microinversor R\$ 116.000,00.

Em muitos orçamentos, o RSD externo representa **dezenas de pontos percentuais** de acréscimo; já o microinversor costuma majorar a conta em torno de 10% para sistemas residenciais, e até 25% para sistemas comerciais de maior porte no limite da microgeração (75kW). Quanto maior a usina, maior a diferença entre o sistema conforme e o desconforme. Portanto, maior o impacto da concorrência desleal.

O resultado prático é cruel: **quem cumpre a norma perde propostas; quem a ignora** fecha contratos e desloca o concorrente ético do mercado. Não existe "mão invisível" corrigindo isso.

Dois Perigos Explicados da Falta de Conformidade



Eletrocussão

É a morte por causa elétrica. O corpo humano responde à corrente com marcos fisiológicos conhecidos: percepção, "**lock-on**", **eletrocussão**. Em telhados fotovoltaicos, strings operam tipicamente entre **400 e 600 Vcc** (podendo chegar perto de **1000 Vcc**), em sistemas solo chegam até 1500Vcc.

Desligar o inversor string não derruba a tensão dos módulos fotovoltaicos em série sob sol: **os módulos continuam energizados** em série. Sem RSD, o ambiente de manutenção e de resgate **permanece perigoso**.



Arco Elétrico em CC

Em uma string de **até 20 módulos** ($\approx 10 \text{ kW}$ a 500 W/módulo), uma falha de isolação dos cabos juntos em eletrocalha ou em conexões pode gerar arcos persistentes de 10kW.

Diferentemente do CA, o **arco CC não cruza por zero**; ele **se sustenta**, alimenta chama, **dificulta o combate** e pode **reacender** no rescaldo — inclusive com **módulos parcialmente queimados** ainda produzindo tensão.



Há um agravante operacional adicional: **os bombeiros brasileiros**, em geral, **não dispõem de EPI e treinamento específicos** para combate em telhados fotovoltaicos energizados; as **luvas** comuns de combate dos bombeiros têm **classe de isolação baixa** e **permeabilidade à água**.

Em medições, eu pessoalmente usando a luva dos bombeiros molhada, obtive resistência de isolação de 300ohm, a 1V. Por questões de segurança não subi a tensão do aparelho medidor. Porém, para efeitos de comparação no curso de combate a incêndio com sistema fotovoltaico feito no FSRI, é considerado em situação prejudicada a resistência de isolação de 500ohm entre mãos. Usando a luva dos bombeiros, minha resistência entre mãos caiu de 2k ohm para 300ohm. Quanto menor a resistência de isolação, mais o risco.

Fiscalização pelos Corpos de Bombeiros

Prerrogativa e lacunas

Os Corpos de Bombeiros detêm a prerrogativa de **fiscalizar a segurança contra incêndio** na concessão e, sobretudo, na **renovação do alvará de funcionamento** de estabelecimentos enquadrados. No tema fotovoltaico em telhados, entretanto, há um descompasso entre a **atribuição de fiscalizar** e a **competência técnica específica** para verificar se a **Função de Desligamento Rápido (RSD)** é **real** e **conforme** o item 7.4(b).

i Note que, não existe NT associado a sistemas fotovoltaicos em SP, portanto, essa fiscalização por parte dos bombeiros inexistente no estado de São Paulo.

Botoeiras "Falsas"

Em campo, tenho ciência de **botoeiras "falsas"** — comandos sem vínculo funcional com RSD de nível módulo — sendo **aprovadas**.

RSD Inadequado

Também há casos de botoeiras que **apenas desenergizam a nível de string (RSD TSUN Vendido pela Esfera Solar, dou como prioridade a notificação formal)**, o que **não atende** a NBR17193 item 7.4(b), pois **não garante** a queda para **<120 V em ≤30 s dentro do limite do arranjo**.

Falsa Segurança

Na prática, o telhado continua perigoso para quem sobe. Porém pode gerar falsa sensação de segurança para o bombeiro, e tornar uma situação de resgate, em mais um óbito.

Minas Gerais

Há pontos objetivos a aprimorar

São Paulo

Ainda não tem NT dos bombeiros.

Estados Modelo

A última revisão da NT de Goiás ficou muito bem redigida; e a NT do Espírito Santo iniciou recentemente sob coordenação do Major André Lugon

Em síntese: as **NTs deveriam explicitar fronteiras claras** sobre **o que é** e **o que não é** um RSD **conforme** — incluindo **critérios de ensaio funcional, pontos de medição** e **aceites temporais/tensionais**. Sem isso, a fiscalização tende a aceitar **simulacros de conformidade**.

Por que 120 V? — Base fisiológica e experimentos com bombeiros

O limite de **120 V** adotado pela NBR 17193 no 7.4(b) tem **fundamento fisiológico** coerente com a literatura de segurança para bombeiros. O projeto **Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project** (2011) reporta, em condições desfavoráveis de umidade e contato, uma **resistência equivalente do corpo humano de 500 Ω** (item 4.5) e utiliza **240 mA** como **corrente de eletrocussão fatal** em cenários de risco (item 5).

$$V = I \times R$$

$$V = 0,240 \times 500 = 120V$$

Portanto, **120 V** não é um número arbitrário: é um **limiar de segurança** que **reduz a probabilidade de eletrocussão fatal** para quem opera em telhados FV sob emergência — exatamente o objetivo do 7.4(b). Sem que a tensão **caia abaixo desse patamar** no **tempo devido**, o socorro trabalha **dentro do risco**.

Na prática, o valor de 120 V foi retirado como base a ABNT 5410, que rege as instalações elétricas de baixa tensão no Brasil.

ABNT - Parte do Problema

A engrenagem institucional **não facilita a conformidade**. A **ABNT** aprovou e tornou a norma vigente **no mesmo dia**, sem período de transição. Quando questionada, **não compartilhou atas** de comissão com profissionais externos.

CREA

Verifica a **existência de ART**, mas **não** o **mérito técnico** do atendimento ao 7.4(b).

ANEEL

Não coleta, no rito regular, **evidência objetiva de RSD** na conexão.

Distribuidores

Continuam a vender "**kits fotovoltaicos**" como se fossem completos para telhados, **sem** chamar o cliente à exigência do RSD.



O resultado final é o **desconhecimento** entre grande parte dos engenheiros, **incentivo econômico** para ignorar a exigência e **ausência de verificação funcional** na ponta.

Fechamento

Este dossiê foi escrito para que um engenheiro eletricista chegue, por si, às conclusões essenciais:

- 1

Regra de Ouro

O **7.4(b)** é a **regra de ouro** da segurança em instalações fotovoltaicas: **<120 V em ≤30 s** dentro do limite do arranjo.
- 2

Desconformidade Massiva

A **imensa maioria** das instalações **não cumpre os requisitos da NBR17193 após a publicação**, à luz do recorte analisado e do contraste entre instalação e vendas de RSD.
- 3

Ausência de Fiscalização

Não há **fiscalização efetiva** desse requisito.
- 4

Incentivo

O **incentivo econômico** atual **premia o não-conforme** e **expulsa** quem cumpre.
- 5

Perigos Reais

Os **perigos** não são teóricos: **eletrocussão** e **arco CC** já mataram e já incendiaram.
- 6

Omissão Comercial

As distribuidoras vendem os inversores convencionais sem sequer colocarem o RSD como opcional.

Os documentos anexos trazem a metodologia de dados, as séries completas do recorte de Goiás, documentos e o laudo pericial. A leitura é simples: **ou a tensão cai no telhado em 30 segundos, ou o perigo continua lá em cima.**



Rogo para que algo seja feito. As instalações elétricas brasileiras já são caóticas o suficiente.

Acredito que esse problema poderia ser resolvido com a Aneel solicitando a documentação do RSD instalado já no projeto submetido. Esse ponto forçaria os engenheiros assinando esses projetos a reconhecerem a necessidade do dispositivo, agravando juridicamente sua conduta. De forma que, aumentando a punição, se espera maior consciência. Para tal, seria necessário alteração do PRODIST módulo 3. Para os sistemas residenciais, as NTs dos bombeiros não surtirão efeito.

Me coloco à disposição dessa associação para futuras contribuições.

Anexos (separados)



Para acesso aos anexos, basta usar o QR Code acima e será direcionado ao acervo no GitHub

1. Metodologia e pipeline de dados (ANEEL)
2. Séries, tabelas completas do recorte GO
3. Laudo pericial (fatalidade por eletrocussão)
4. Preços de kits
5. NBR17193
6. Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project - November 29, 2011
7. Dados de sinistros envolvendo sistemas fotovoltaicos coletados pela ABRACOPEL em 2025