

# Renováveis



ENERGIAS COMPLEMENTARES

Ano 4 - Edição 53 / Abril de 2021



Atitude.editorial

## PROTEÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Técnicas para que infraestruturas tenham função de blindagem eletromagnética

COLUNA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: PL 5829 e as melhores práticas em GD

COLUNA ENERGIA EÓLICA: Novidades sobre os certificados de energia renovável

COLUNA ENERGIA SOLAR: Gargalos e vantagens de uma tendência irreversível

APOIO





## FASCÍCULO PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Por Ronaldo Kascher\*

36

# Capítulo III

## Proteção de sistemas fotovoltaicos contra descargas atmosféricas



## Introdução

Apresentamos o terceiro das quatro publicações que têm por objetivo avaliar as consequências das descargas atmosféricas no funcionamento dos sistemas fotovoltaicos e apresentar os métodos possíveis e recomendados para prover suas proteções.

O objetivo deste capítulo é complementar as recomendações descritas no segundo capítulo para a efetiva proteção das instalações fotovoltaicas com painéis alocados no topo de edificações contra descargas atmosféricas diretas (fonte S1 – ABNT NBR 5419). As usinas no solo, ou as fazendas solares, serão avaliadas no capítulo 4 a ser publicado na próxima edição.

Nos dois capítulos anteriores foram apresentadas as consequências de raios diretos em equipamentos de usinas fotovoltaicas, a base normativa para balizamento das soluções de proteção, um método simplificado para se estimar a quantidade de eventos de surtos devido às descargas diretas nos equipamentos expostos em usinas fotovoltaicas, os cuidados no projeto de sistemas de captação de descargas que possibilitem a alocação dos equipamentos protegidos na ZPR OB (NBR 5419), e as estimativas dos ganhos que podem ser obtidos com investimentos em proteção.

Neste capítulo são apresentadas as técnicas recomendadas para que as infraestruturas que acondicionam os cabos CC e de supervisão tenham também função de blindagem eletromagnética.

Com alguns cuidados no projeto pode-se conseguir desempenho otimizado das usinas fotovoltaicas frente aos transitórios acoplados por descargas atmosféricas. Em países como o Brasil, em que a maioria das regiões apresenta grandes densidades de descargas atmosféricas, o retorno econômico dos investimentos necessários para conferir maior suportabilidade da usina frente às descargas atmosféricas é rápido, justificando o investimento.

## O que são “laços de indução” e como identificá-los em um sistema fotovoltaico

Os denominados laços de indução (ABNT NBR 5419-4) são os principais responsáveis pelos acoplamentos de surtos elétricos em usinas fotovoltaicas devido às descargas atmosféricas.

A maioria dos laços de indução em uma instalação fotovoltaica ocorre de forma natural, geralmente, incentivada pela perspectiva de se economizar cabos, criando “atalhos” na instalação.

As Leis de Ampère e de Faraday do eletromagnetismo explicam como uma descarga atmosférica pode acoplar surtos de tensão e corrente nos circuitos CC e de supervisão das usinas fotovoltaicas através dos laços de indução.

Quando um campo magnético variante no tempo produzido pela corrente do raio próximo é concatenado em um laço metálico fechado (em curto), conforme Figura 1 (A), uma corrente elétrica é induzida no laço com amplitude e direção tais que o campo produzido por esta corrente induzida tenderia a cancelar ou atenuar o crescimento do fluxo magnético concatenado produzido pela corrente do raio.

Caso o laço seja aberto em um ponto, conforme Figura 1 (B), a corrente induzida evidentemente cessa, aparecendo nos terminais abertos do laço uma tensão induzida. Supondo o laço feito de material superconductor (sem perdas), esta tensão induzida tem valor tal que, se dividida por sua reatância do laço, forneceria a corrente que circularia no laço quando em curto.

Esta última situação é a que encontramos na prática nas interfaces CC e de supervisão de uma planta solar. Os cabos CC das strings são isolados das massas (referências elétricas) dos painéis e dos inversores, assim como os cabos de sinais e de supervisão e controle, configurando pontos de “abertura” dos laços, onde as tensões de surtos se desenvolveriam.

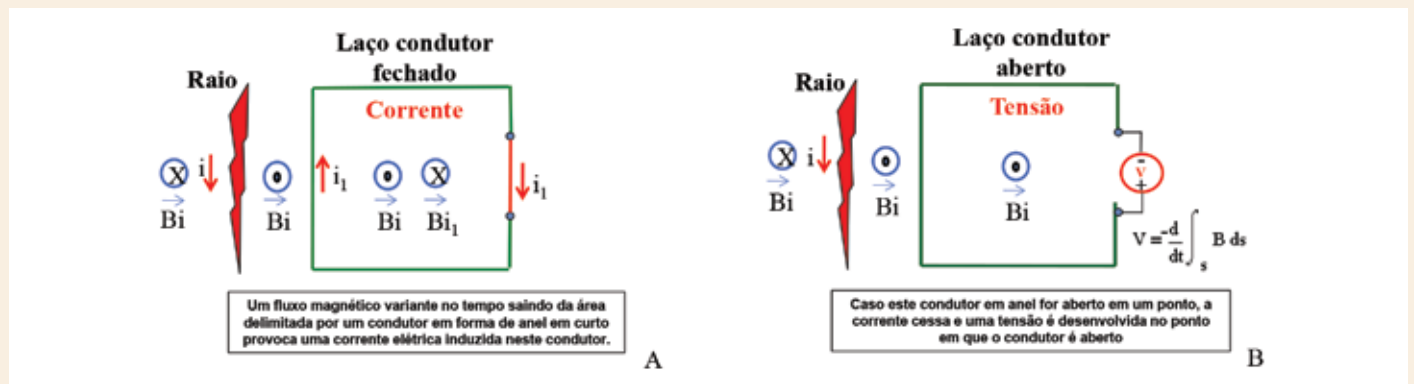


Figura 1 – Consequências do acoplamento de um campo magnético impulsivo em laços em curto (A) e aberto (B). Aplicação prática das leis de Ampère e de Faraday.



# FASCÍCULO PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

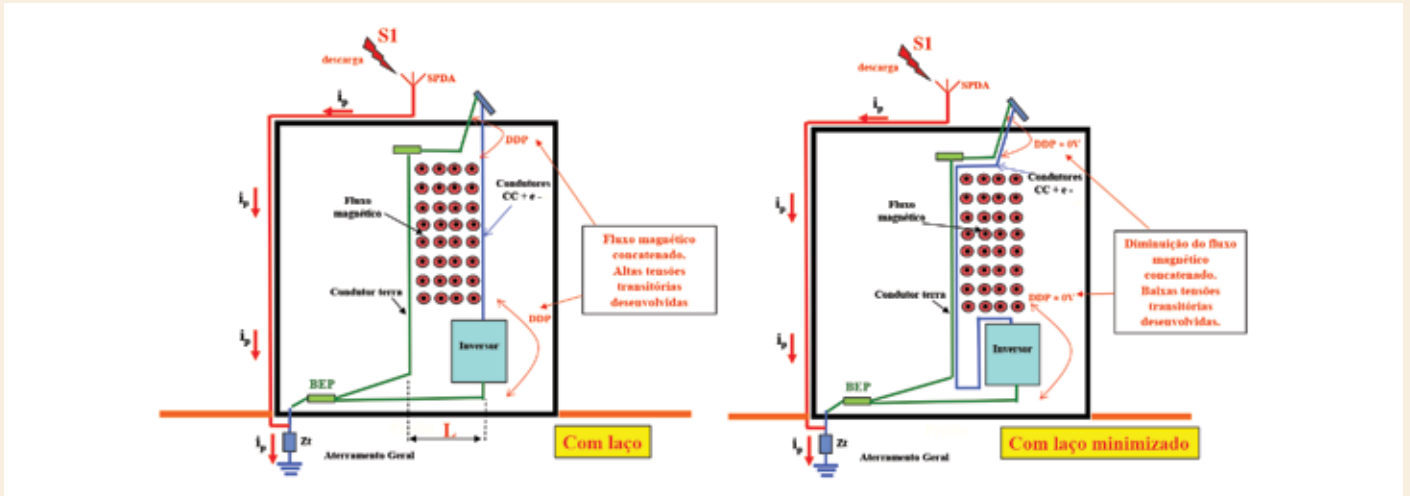


Figura 2 – Exemplo de instalações fotovoltaicas com laço de indução e com laço de indução minimizado. Nesta ilustração, o laço de indução é formado pelos condutores CC e o condutor de aterramento.

38

Nestes pontos na ocorrência de descarga atmosférica, tensões de surto de grandes amplitudes podem ser desenvolvidas. Como exemplo, a Figura 2 mostra como o correto roteamento dos cabos pode reduzir as áreas de laços e por conseguinte, diminuir as amplitudes dos surtos acoplados aos equipamentos.

Caso estes surtos superem o nível de isolamento das interfaces dos equipamentos, provavelmente produzirão suas “queimas” e conseqüente saída de operação.

A diminuição das áreas de concatenamento de fluxo magnético através da escolha da melhor forma de rotear os condutores da usina é uma medida eficaz para a diminuição da área de laço e o controle dos surtos induzidos por descargas atmosféricas.

## Como funciona uma blindagem eletromagnética para mitigar acoplamento de surtos provocados por descargas atmosféricas

A blindagem das redes pela infraestrutura também é uma medida eficaz e é fortemente recomendada principalmente quando se torna difícil o planejamento das rotas de cabos para a conseqüente diminuição das áreas de laços. Pode também ser usada como medida adicional às ações para reduções das áreas dos laços, dando mais robustez à usina fotovoltaica frente às agressões dos raios.

O assunto “blindagem eletromagnética” é muito vasto. Temos blindagens para campos estáticos (magnéticos e elétricos), para campos

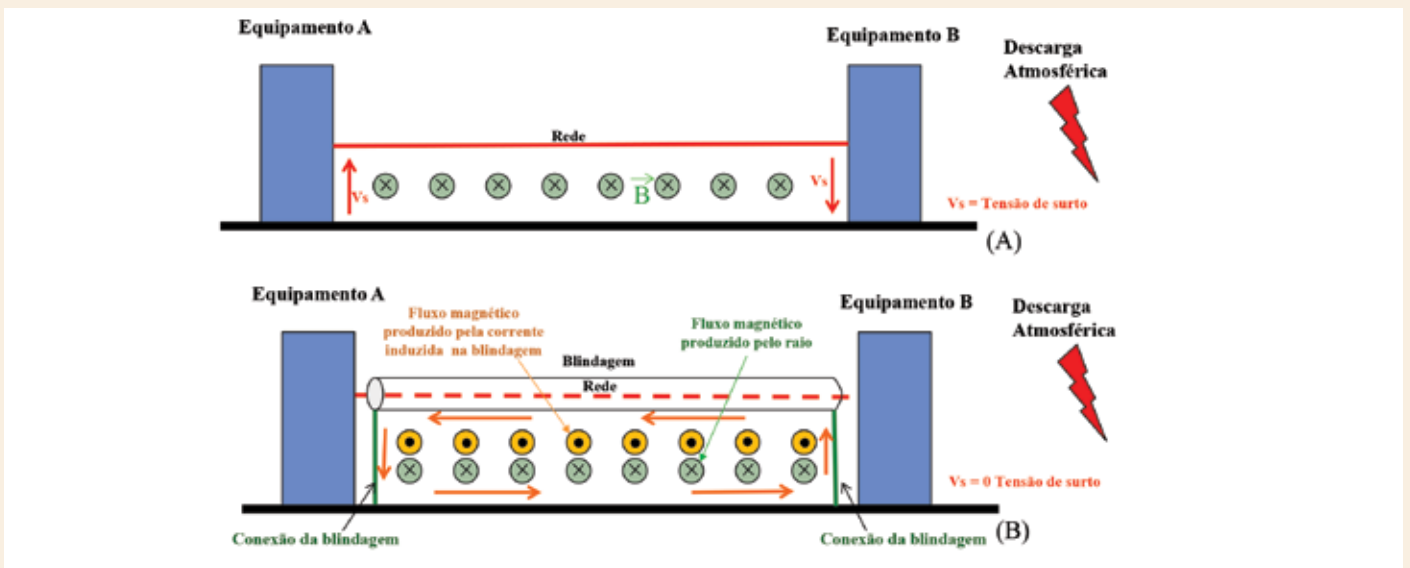


Figura 3 – Funcionamento da blindagem provida pela infraestrutura.

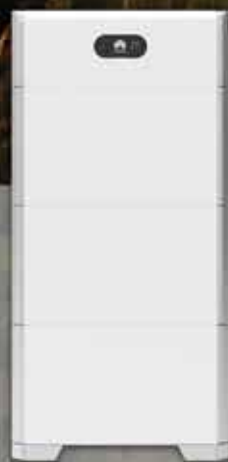
(A) Rede sem blindagem com as tensões de surto desenvolvidas nos equipamentos. (B) Rede com infraestrutura fornecendo fator de blindagem.

# Gere mais negócios, mais energia limpa e inteligente, 24 horas.

A Solução FV Inteligente FusionSolar da Huawei, há anos inova, em usinas solares pelo mundo e também no Brasil.

Agora, expande sua atuação para os cenários residencial, comercial e industrial, e você poderá levar a mais avançada tecnologia baseada em Inteligência Artificial até a sua instalação fotovoltaica.

Segurança, simplicidade e eficiência tem nome. Huawei.



LUNA2000  
5/10/15-S0



SUN2000L  
2/3/4/5KTL



SUN2000  
450W-P



FusionSolar  
App

Saiba Mais:





# FASCÍCULO PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

à frequência industrial, 60 Hz e harmônicos (magnéticos e elétricos), para campos eletromagnéticos de alta frequência, ondas planas, etc. Quando à aplicação temos ainda blindagens de cabos, de infraestrutura, de equipamentos e de ambientes. Para cada tipo de campo e aplicação temos técnicas de blindagem mais convenientes e efetivas.

No caso das descargas atmosféricas prevalece o acoplamento entre o fenômeno e as instalações pelo campo magnético, pois as descargas próximas, que têm capacidade para acoplar surtos de grande amplitude, podem ser classificadas como fontes de baixa impedância, operando na região de indução. Assim, as normas técnicas que tratam do assunto (IEC 62305, NBR 5419, etc.) consideram apenas a contribuição do campo magnético no acoplamento de surtos. Esta assunção simplificada fornece a precisão necessária para a maioria das avaliações e investigações de engenharia.

Concluindo, para que a blindagem eletromagnética provida pela infraestrutura de condicionamento dos cabos da usina fotovoltaica funcione é necessário que seja assegurada sua continuidade elétrica longitudinal e que pelo menos suas duas extremidades sejam aterradas e conectadas às massas dos equipamentos interligados que se pretende proteger.

A conexão da infraestrutura em apenas uma extremidade, método muito utilizado nas instalações, praticamente torna a o efeito de blindagem nulo para os campos de descargas atmosféricas. Para que a blindagem funcione, a descarga atmosférica tem que induzir corrente na infraestrutura. Esta corrente produzirá o campo magnético que atenuará o campo indutor, conforme ilustrado na Figura 3.

Observa-se, nesta figura, que o sentido da corrente induzida pela descarga no trajeto da blindagem, conexões e plano terra produz um fluxo magnético que se contrapõe ao fluxo produzido pela descarga atmosférica, propiciando o fator de blindagem.

## Desempenho das blindagens providas pela infraestrutura dos sistemas fotovoltaicos

Várias são as infraestruturas que têm sido utilizadas para acondicionamento dos cabos de usinas fotovoltaicas. Algumas não oferecem praticamente nenhum fator de blindagem, tais como as infraestruturas dielétricas e outras, fatores de blindagem que variam muito conforme as particularidades da instalação.

O parâmetro importante para a avaliação da blindagem é a sua impedância de transferência. Quando a descarga induz uma corrente na infraestrutura que tem continuidade elétrica longitudinal garantida e é conectada ao aterramento dos equipamentos interligados, a tensão de surto que se desenvolve nos equipamentos é igual ao produto da corrente induzida pela “impedância de transferência” da infraestrutura.

A norma IEC 61000-5-2 estima as indutâncias mútuas entre os condutores PEC (parallel earth conductor), que são instalados com a finalidade de blindagem, podendo ser a própria infraestrutura e as redes a serem protegidas. Estas indutâncias mútuas agem como a impedância de transferência da infraestrutura. A Figura 4 apresenta a indutância mútua por metro de várias possibilidades de infraestrutura.

Observa-se que as indutâncias mútuas variam tipicamente de 300 nH/m, no caso da utilização para blindagem de um condutor singelo próximo e acompanhando rigorosamente o trajeto do cabo a ser protegido, até praticamente 0 nH/m, como no caso de um eletroduto metálico e contínuo acondicionando o cabo a ser protegido em todo o trajeto. Neste último caso podemos estimar a impedância de transferência como sendo a resistência elétrica longitudinal em  $\Omega/m$ , do eletroduto.

Como exemplo, consideremos uma edificação dotada de SPDA e sistema de geração fotovoltaico, conforme Figura 5. Analisando

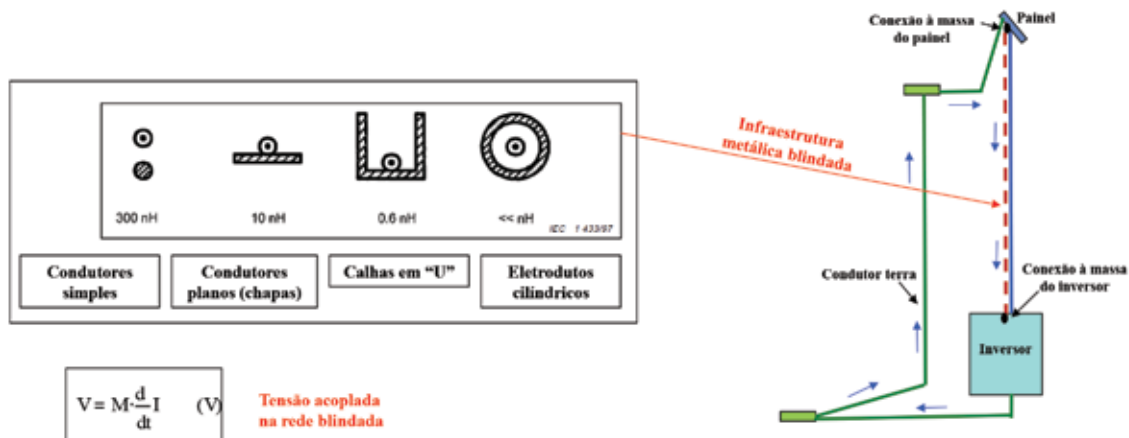


Figura 4 – Indutâncias mútuas típicas para alguns tipos de infraestrutura.  
Fonte: IEC 61000-5-2.



a geometria do prédio, o laço de indução é formado pelo trajeto do condutor terra e dos cabos CC que ligam os painéis ao inversor que se encontra no térreo e tem comprimento aproximado  $b = 30$  m e largura  $L = 5$  m. O laço dista da parede  $d_{lw} = 2,5$  m e seu ponto médio dista da cobertura  $d_{lv} = 15$  m. Uma descarga atmosférica com corrente de pico de 100 kA / 1  $\mu$ s atinge o SPDA. Conforme método de cálculo da ABNT NBR 5419 -4, o laço de indução tem uma indutância própria de 84  $\mu$ H e desenvolve uma tensão em aberto de 214 kV.

Considerando, portanto, a inexistência de infraestrutura que confira fator de blindagem à instalação, os painéis e inversores, que representam os pontos onde o laço se encontra aberto, receberiam um surto de tensão cuja soma seria 214 kV. Haveria uma distribuição de tensão conforme as capacitâncias parasitas de cada equipamento, mas, de qualquer forma, eles não resistiram a esta sollicitação elétrica tendo em vista que suportam tipicamente impulso de 4 kV a 6 kV de pico.

Instalando-se uma infraestrutura blindada acondicionando os cabos CC do inversor aos painéis, uma grande redução das tensões de surto aplicadas aos equipamentos ocorreria. Esta infraestrutura está representada na Figura 5.

Nesta situação propicia a circulação no laço, incluindo a infraestrutura que condiciona os condutores CC, de uma corrente de 2,5 kA.

As tensões totais induzidas com a infraestrutura devidamente instalada, no caso da ocorrência da descarga atmosférica de 100 kA de pico, seriam as apresentadas na Figura 6.

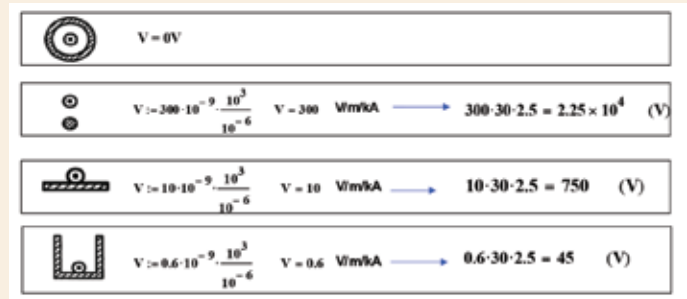


Figura 6 – Tensões de surto totais induzidas nos cabos CC para várias soluções de infraestrutura blindada, conforme arranjo apresentado na Figura 5, em que:  $b = 30$  m,  $L = 5$  m, Indutância total = 84  $\mu$ H,  $I = 2,5$  kA (corrente induzida na infraestrutura),  $I_p = 100$  kA / 1  $\mu$ s (corrente de pico da descarga atmosférica).

### Conclusão

Este artigo analisou, para instalações fotovoltaicas no topo de estruturas, a influência do uso de algumas soluções de infraestrutura para acondicionamento dos cabos com fator de blindagem para assegurar maior suportabilidade da instalação.

Avaliando as amplitudes dos surtos acoplados nos sistemas fotovoltaicos com algumas soluções viáveis para obter fatores de blindagem através da infraestrutura que condiciona os cabos CC entre os painéis e inversores, a solução mais simples e econômica, que seria a utilização de condutor de seção típica de 4 mm<sup>2</sup> acompanhando rigorosamente o trajeto dos cabos CC e interligado em suas extremidades às referências de terra dos equipamentos interligados, ainda permite o desenvolvimento de tensões muito altas (22,5 kV).

A aplicação desta filosofia deverá ser complementada, portanto, pela instalação de DPS nos cabos CC. A aplicação conjunta destas duas soluções aumentaria muito a suportabilidade a transitórios de origem atmosférica da instalação.

O uso de infraestrutura metálica contínua tipo placa plana ou calha assegurando-se a conveniente continuidade elétrica longitudinal ao invés do condutor simples onera a instalação, mas garante tensões de surtos muito baixas (750 V e 45 V), que podem não exigir a instalação de DPSs adicionais.

No próximo capítulo serão avaliadas algumas soluções da proteção contra descargas atmosféricas aplicáveis às usinas fotovoltaicas no solo.

\*Ronaldo Kascher é engenheiro eletrônico e de telecomunicação, mestre e doutor em engenharia elétrica. É diretor e responsável técnico na Kascher Engenharia e Comércio Ltda. desde 1982. É professor dos Departamentos de Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica e Engenharia Aeronáutica da PUC-MG. Membro da comissão da ABNT CE-03:64.10, que revisa a ABNT NBR 5419. É consultor e responsável técnico por diversos projetos na área de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), compatibilidade eletromagnética e proteção contra transitórios de instalações elétricas de controle e automação de telecomunicação e eletrônicas.

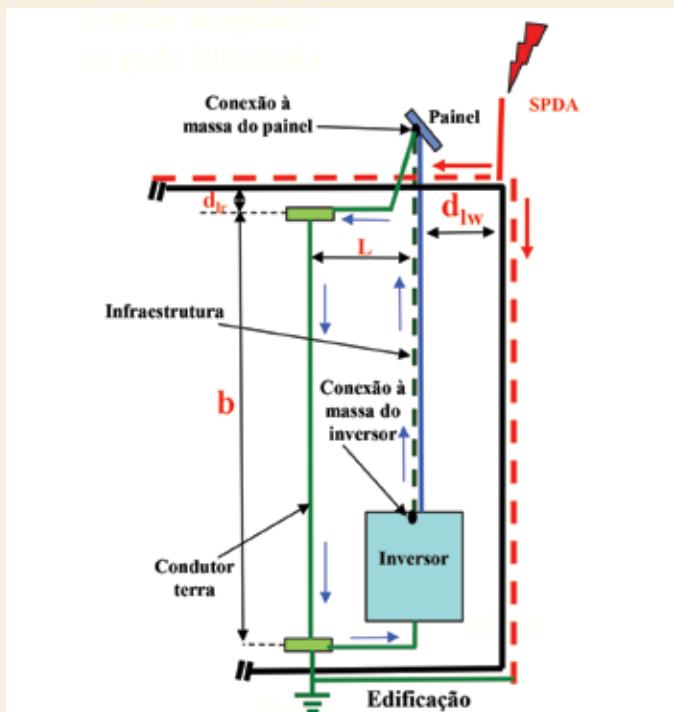


Figura 5 – Arranjo da instalação do sistema fotovoltaico em edificação com SPDA com distância de segurança entre equipamentos e SPDA assegurada. Infraestrutura blindada.