

Renováveis



ENERGIAS COMPLEMENTARES

Ano 4 - Edição 52 / Março de 2021



Atitude.editorial

PROTEÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Análise preliminar dos danos provenientes de descargas atmosféricas diretas

COLUNA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: O MARCO LEGAL DA GD

COLUNA ENERGIA EÓLICA: A DIVERSIDADE NO SETOR DE ENERGIA

COLUNA ENERGIA SOLAR: O ARCABOUÇO LEGAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

APOIO





FASCÍCULO PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Por Ronaldo Kascher*

36



Capítulo II

A proteção de sistemas fotovoltaicos contra descargas atmosféricas

Este artigo é o segundo de 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 foco deste capítulo é apresentar análise preliminar da fonte de danos S1 (descargas atmosféricas diretas) em instalações fotovoltaicas com painéis alocados no topo de edificações e em sistemas com os painéis fixados no solo através de suportes, as denominadas fazendas solares de maiores potências.

Os eventos “S1” são fontes de correntes com grande energia específica, e quando ocorrem nas partes expostas, geralmente, nos painéis coletores, provocam danos, perda de isolamento e, em certas circunstâncias, podem aumentar o risco “R1” – Risco de perda de vida humana (ABNT NBR 5419 – Parte 2) dos usuários da energia.

Estes eventos podem provocar também o aumento do risco “R4” – Risco de perda econômica (ABNT NBR 5419 – Parte 2) em decorrência dos custos inerentes às manutenções corretivas com substituição de painéis, inversores, equipamentos de monitoração, trackers etc., além dos prejuízos referentes à falta de geração.

Considerações sobre a descarga atmosférica direta

O raio é uma fonte de corrente, ou seja, na ocorrência de uma descarga atmosférica de 40 kA de pico, haverá necessariamente a injeção desta corrente no ponto de conexão, independentemente da impedância do trajeto da corrente ou da impedância do sistema de aterramento onde a corrente será injetada.

Assim, a ABNT NBR 5419 define um parâmetro muito importante para a corrente da descarga que é a “energia específica” que tem por unidade “J/Ω”. Multiplicando-se este parâmetro pela resistência elétrica por onde trafega a corrente do raio, obtemos energia em Joule transferida pela descarga. A Figura 1 apresenta parcialmente a Tabela 3 da ABNT NBR 5419 onde, para o primeiro impulso positivo, que acopla alta energia, apresenta as “Energias Específicas confoeme os “Níveis de Proteção” – NP previstos.

Por exemplo, uma descarga com corrente de pico de 200 kA, 10 x 350 μs, (NP I), tem uma energia específica de 10 MJ/Ω. Caso esta corrente passe por um conector com mau contato, com resistência de

0,5 Ω, haveria a transferência de 5 MJ. Isto explica o rompimento de cabos nos pontos de conexão, o início de incêndios e a destruição de painéis fotovoltaicos, quando sujeitos a estes eventos. Este enfoque justifica a necessidade de boas conexões elétricas entre componentes do SPDA principalmente ao longo do percurso da corrente da descarga atmosférica desde a captação até o sistema de aterramento.

Outro ponto importante a ser considerado, e responsável por grande parte das “queimas” de componentes ativos das usinas, são as tensões elétricas desenvolvidas ao longo dos condutores, devido à resposta de suas indutâncias às altas taxas de variação no tempo das correntes conduzidas do raio.

Devido a estas tensões impulsivas desenvolvidas, especial atenção deve ser dada às denominadas “distâncias de separação” (ABNT NBR 5419) no projeto de captadores que protegem os painéis e demais componentes contra descargas diretas, ou seja, que aloquem os componentes expostos do sistema fotovoltaico nas ZPR OB (ABNT NBR 5419), conforme Figura 2.

Por exemplo, uma descarga com corrente de pico de 200 kA, 10 x 350 μs, (NP I), tem uma energia específica de 10 MJ/Ω. Caso esta corrente passe por um conector com mau contato, com resistência de 0,5 Ω, haveria a transferência de 5 MJ. Isto explica o rompimento de cabos nos pontos de conexão, o início de incêndios e a destruição de painéis fotovoltaicos, quando sujeitos a estes eventos. Este enfoque justifica a necessidade de boas conexões elétricas entre componentes do SPDA principalmente ao longo do percurso da corrente da descarga atmosférica desde a captação até o sistema de aterramento.

Outro ponto importante a ser considerado, e responsável por grande parte das “queimas” de componentes ativos das usinas, são as tensões elétricas desenvolvidas ao longo dos condutores, devido à resposta de suas indutâncias às altas taxas de variação no tempo das correntes conduzidas do raio.

Devido a estas tensões impulsivas desenvolvidas, especial atenção deve ser dada às denominadas “distâncias de separação” (ABNT NBR 5419) no projeto de captadores que protegem os painéis e demais componentes contra descargas diretas, ou seja, que aloquem os componentes expostos do sistema fotovoltaico nas ZPR OB (ABNT NBR 5419), conforme Figura 2.

Primeiro impulso positivo			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Corrente de pico	<i>I</i>	kA	200	150		100
Carga do impulso	<i>Q_{curta}</i>	C	100	75		50
Energia específica	<i>W/R</i>	MJ/Ω	10	5,6		2,5
Parâmetros de tempo	<i>T₁ / T₂</i>	μs / μs	10/350			

Figura 1 - Tabela 3 da ABNT NBR 5419 - 1 – Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção (NP) – Primeiro impulso positivo.



FASCÍCULO PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

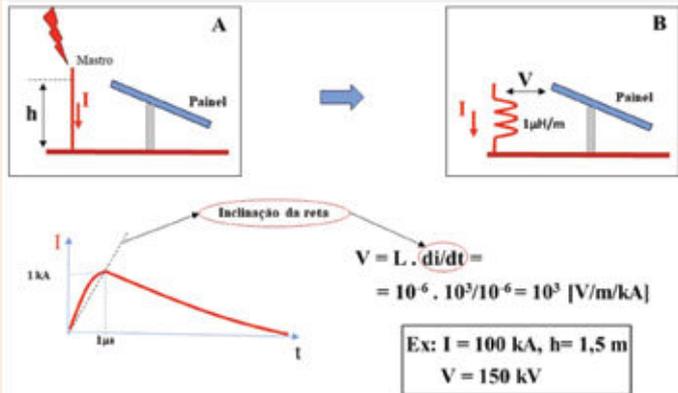


Figura 2 – (A) Mastro captor de descarga atmosférica próximo a painel fotovoltaico. (B) Circuito equivalente. Cálculo da tensão impulsiva desenvolvida entre o mastro captor e o painel na ocorrência de uma descarga de 100 kA / μs.

• Usinas fotovoltaicas na cobertura de edificações

No caso de instalação de sistemas fotovoltaicos em prédios ou estruturas já dotadas de SPDA, situação muito comum na maioria das instalações em prédios existentes, o ideal é que toda a instalação fotovoltaica permaneça na ZPR OB – Zona de Proteção de Raios e que sejam respeitadas as distâncias de separação para evitar que, em caso de ocorrência de descarga atmosférica, ocorram arcos elétricos entre o SPDA do prédio e os painéis do sistema fotovoltaico. A ideia é garantir que as distâncias entre os dois sistemas sejam suficientemente longas para que o isolamento natural provido por esta separação suporte as tensões impulsivas desenvolvidas pelo corrente do raio. A Figura 4 ilustra esta situação.

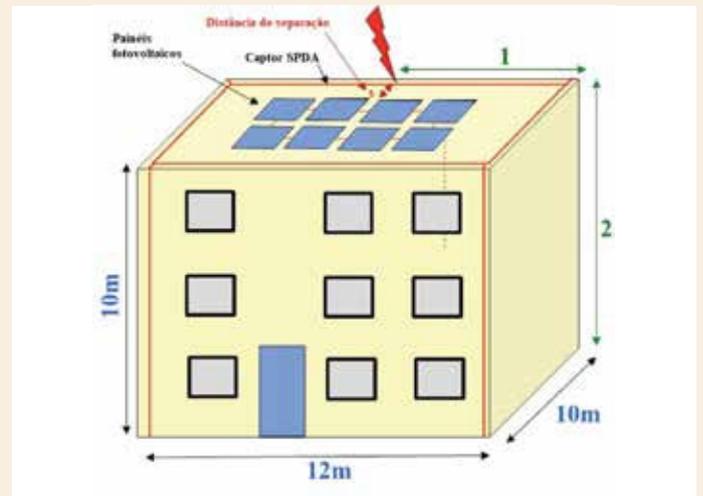


Figura 4 – Exemplo de cálculo da distância de separação entre o SPDA e o sistema fotovoltaico.

Conforme método simplificado apresentado na IEC 63227 – Anexo C, partindo-se do NP ou Classe do SPDA” e do material que proverá o isolamento, obtém-se os coeficientes “ki e “km” cujos valores são apresentados nas Tabelas 10 e 11 da ABNT NBR 5419-3 reproduzidas na Figura 5.

Tabela 10 – Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente k_i	
Nível de proteção do SPDA	k_i
I	0,08
II	0,06
III e IV	0,04

Tabela 11 – Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente k_m	
Material	k_m
Air	1
Concreto, tijolos	0,5

NOTA 1 No caso de vários materiais isolantes estarem em serie, é uma boa prática usar o menor valor de k_m .
NOTA 2 A utilização de outros materiais isolantes está sob consideração.

Figura 5 – Tabelas 10 e 11 com definição dos coeficientes k_i e k_m para cálculo da distância de separação. Fonte: ABNT NBR 5419.

Em seguida, analisando-se as interligações entre captores e condutores de descida estimam-se os coeficientes de divisão da corrente “kc” ao longo de todo o trajeto entre captor e aterramento,

38 As altas tensões desenvolvidas nas indutâncias dos condutores e captores podem ocasionar o rompimento da isolação, provocando um arco elétrico que injeta parcela da corrente da descarga no painel tirando o sistema de operação e expondo a instalação a risco de incêndio e às suas consequências.

Observa-se ainda que o dimensionamento dos mastros captores deve propiciar a criação de um volume livre de descargas atmosféricas (ZPR OB – NBR-5419), conforme modelo eletrogeométrico para proteção do sistema e considerar as eventuais sombras que serão projetadas sobre os painéis. Caso ocorram sombras, devem ser “difusas” para se evitar a degradação destes componentes. A Figura 3 ilustra a criação de ZPR OB através de metros captores.

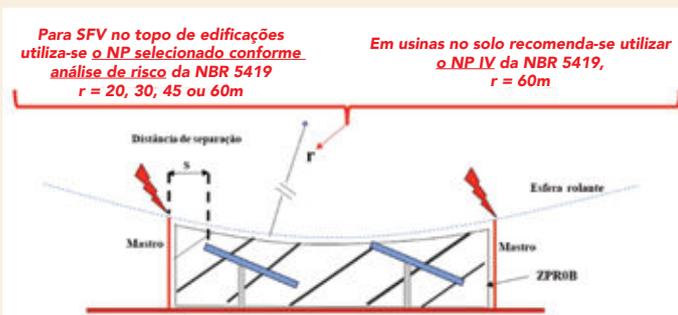


Figura 3 – Distância de separação entre captores e painéis.

Compatibilização entre o SPDA e os sistemas fotovoltaicos

Basicamente, existem instalações fotovoltaicas com painéis alocados no topo de edificações e com os painéis fixados no solo através de suportes, sendo estas últimas geralmente características das usinas de média e grande potências.

A opção do projetista pela melhor filosofia a ser adotada depende da análise de riscos e da topologia do sistema fotovoltaico.

KanaLex®

O duto PEAD corrugado original.
Fabricado no Brasil desde 1.984.
Diâmetros internos de 1.1/4" até 8".

Duto para
proteção de cabos
subterrâneos.

O Kanalex, duto de PEAD
corrugado flexível, está
sendo amplamente aplicado
nas UFV's e Eólicas brasileiras.

- Atende as normas reconhecidas no país: ABNT 13.897/13.898 e 15.715.
- Dispensa totalmente o envelopamento em concreto ao longo da linha.
- Arame guia de aço galvanizado e revestido em PVC já fornecido no interior do duto.
- Fita de aviso "PERIGO" para energia ou telecomunicações.
- É fornecido tamponado nas extremidades.
- Elevada resistência à abrasão, produtos químicos, compressão diametral e impacto.

É utilizado na infraestrutura de redes de energia, telecomunicações, indústrias, ferrovias, rodovias, aeroportos, subestações, shopping centers, condomínios, cftv's...



A Kanaflex é dotada de laboratório equipado capaz de executar todos os ensaios requisitados nas normas brasileiras.

Kanaflex®

S/A INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS

Fone: 11 3779-1670

vendapead@kanaflex.com.br
www.kanaflex.com.br



FASCÍCULO PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

considerando-se a contribuição de cada comprimento "l" na distância de separação total necessária para se evitar o rompimento da isolamento entre sistema fotovoltaico e SPDA do prédio.

Calcula-se então a distância mínima de separação, com a expressão [1].

Depende do NP $NP IV = 0,04$ Depende da divisão da corrente

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l$$

Depende do isolamento $ar = 1$ Comprimento do trajeto da corrente

[1]

No exemplo da Figura 4, considerando o ponto de conexão da descarga, NP IV, o ar como isolante e o percurso da corrente do raio apresentado temos uma distância de separação mínima de 22 cm, conforme [2].

$$0,04 \cdot (0,5 \cdot 6 + 0,25 \cdot 10) = 0,22 \text{ (m)}$$

[2]

Observa-se, neste exemplo, a importância de se prover várias rotas de condução para a corrente da descarga no sentido de obter-se distâncias de separação menores, viabilizando as soluções de projeto. Nem sempre é fácil conseguir as distâncias necessárias em prédio altos, antigos e com muitas interferências na cobertura (antenas, painéis solares de aquecimento de água, tubulações metálicas diversas, etc.).

Caso não seja possível conseguir os afastamentos necessários, e existindo SPDA no prédio, resta a alternativa de prover equalização de potencial entre o sistema fotovoltaico e o SPDA de forma a se evitar arcos elétricos, mas em contrapartida, esta ação permite a injeção de parcela da corrente da descarga na instalação. Esta opção onera o projeto e sempre que possível deve ser evitada. Isto será assunto para os próximos capítulos deste artigo.

• Usinas fotovoltaicas no solo

Com relação às usinas no solo, a colocação dos painéis e demais equipamentos do campo (sensores, trackers, equipamentos meteorológicos, etc.) na ZPR OB pode ser feita instalando-se captosres verticais com comprimentos e distâncias calculadas conforme o "modelo eletrogeométrico", ilustrado na Figura 6.

Observa-se que, no caso das usinas no solo, devido à configuração distribuída dos circuitos CC dos strings, na resposta do sistema de aterramento às solicitações transitórias, geralmente, a proteção contra descargas diretas não fica ainda plenamente assegurada, sendo necessário complementar a instalação com infraestrutura que forneça fator de blindagem satisfatório complementada com a instalação de DPS.

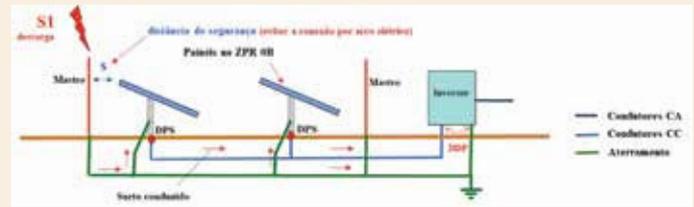


Figura 6 – Colocação dos painéis e equipamentos ativos de usinas fotovoltaicas no solo na ZPR OB através de captosres verticais.

O fator de blindagem provido pela infraestrutura por onde transitam os cabos CC, CA, de controle e de monitoração da usina é muito importante para o bom desempenho dos sistemas fotovoltaicos frente aos transitórios acoplados por descargas atmosféricas, principalmente em usinas no solo que possuem grandes lances de cabos metálicos, ficando sujeita à formação de grandes laços de indução.

Este assunto será desenvolvido nos próximos capítulos deste artigo.

Estimativa da quantidade de descargas diretas (fonte S1) que atingem os painéis e equipamentos expostos de uma usina fotovoltaica

A quantidade de descargas diretas que podem atingir o sistema fotovoltaico por ano pode ser estimada a partir do cálculo da área de coleção (ABNT NBR 5419-2) e da densidade de descarga do município onde se localiza a usina.

Esta estimativa inicial é útil para uma primeira avaliação do desempenho da instalação e orientação do projeto de SPDA. Nos próximos capítulos esta avaliação preliminar será complementada por outras variáveis, como as "medidas de proteção contra surtos" – MPS (ABNT NBR 5419-4) adotadas visando o melhoramento do desempenho das instalações.

• Usinas fotovoltaicas na cobertura de edificações

Neste caso, para se estimar a quantidade de descargas diretas, utiliza-se o procedimento da ABNT NBR 5419-2.

A área de coleção de descargas é obtida planejando-se a estrutura, considerando sua altura multiplicada por três e complementando as faces planejadas, conforme mostra a Figura 7.

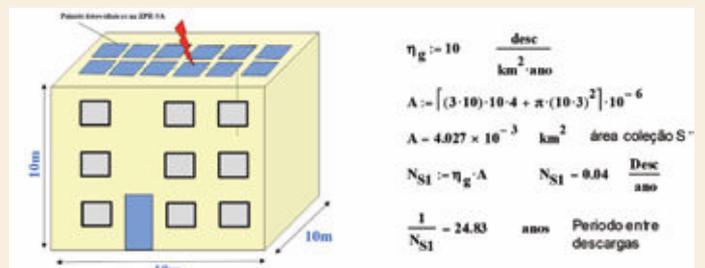


Figura 7 – Estimativa da quantidade de descargas que atingiu o sistema fotovoltaico instalado no topo de uma estrutura em 1 ano e do período estimado entre descargas.

Em uma estrutura com as dimensões da Figura 7 em um local com densidade de 10 descargas atmosféricas / km² / ano incidiriam 0,04 descargas / ano, que invertido, daria o período estimado de 24,83 anos entre ocorrências.

• **Usinas fotovoltaicas no solo**

Em instalações no solo, com painéis instalados a baixas alturas em relação ao solo, a área de coleção de raios diretos é basicamente a área destinada aos painéis.

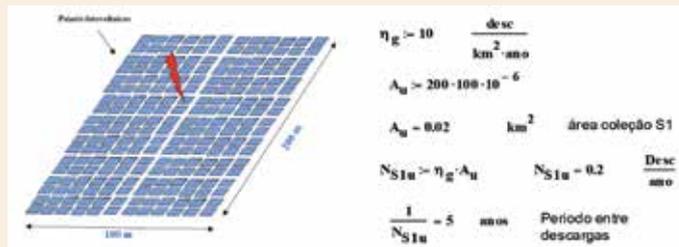


Figura 8 – Estimativa da quantidade de descargas que atingiriam os painéis de uma usina fotovoltaica instalada no solo em 1 ano e do período estimado entre descargas.

Conforme Figura 8, considerando uma usina no solo, cujos painéis se encontram à altura típica de 1,5 m, e ocupam uma área de 20.000 m² em local com densidade de 10 descargas atmosféricas / km² / ano, incidiriam 0,2 descargas / ano, que invertido, daria o período estimado de 5 anos entre ocorrências.

Conclusão

Os equipamentos de usinas fotovoltaicas não suportam descargas atmosféricas diretas. A probabilidade de uma descarga atmosférica

atingir painéis ou equipamentos de supervisão e controle de usinas depende da exposição da instalação a estes fenômenos que, por sua vez, é função da densidade de descargas na região da instalação e da área de coleção de raios. A descarga direta nos painéis de uma instalação típica de prédios pode provocar aumento do risco de perda de vida aos habitantes da estrutura (Risco R1 – ABNT NBR 5419) e aumento do risco de perda econômica (Risco R4 – ABNT NBR 5419). A descarga direta nos painéis de uma usina no solo provoca geralmente aumento de risco de perda econômica, sendo baixo o risco de perda de vidas devido à baixa probabilidade de presença de pessoas próximas à instalação e às oportunidades de equalização de potencial naturais providas pela perda de isolamento da instalação. Geralmente, as avaliações recomendam a colocação dos painéis em volumes protegidos de descargas diretas (ZPR OB – NBR 5419) devido à frequência de ocorrência de descargas diretas em usinas com potências acima de 1 MWp em locais com densidades de raios acima de 6 descargas /km²/ano. Esta ação deve ser complementada pela instalação de infraestrutura que forneça fatores de blindagens compatíveis e de DPS em pontos críticos.

**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.*

Termostatos para Painéis KTO 111 & KTS 111



- Conexão rápida sem ferramenta
- Conexão segura com terminal Push In
- Entradas de ar ampliadas para melhor ventilação
- Ajuste fácil de temperatura de chaveamento
- Para uso em até 5.000 metros de altitude

MAIS INFORMAÇÕES

