

Capítulo XI

Energia solar fotovoltaica Sistemas conectados à rede elétrica: requisitos para a conexão e proteções

Por Jonas Rafael Gazoli, Marcelo Gradella Villalva e Juarez Guerra*

Neste artigo vamos abordar os requisitos técnicos para a conexão de sistemas de energia solar fotovoltaica à rede elétrica e os dispositivos de proteção de surtos (DPS).

Considerável esforço vem sendo realizado por empresas e membros da academia para a criação das normas que regem os requisitos dos equipamentos para energia solar fotovoltaica e as instalações elétricas para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica.

Os trabalhos realizados por comitês técnicos responsáveis pela elaboração das normas IEC ABNT e pelos grupos de trabalho da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee) foram a base para a elaboração das notas técnicas que começam a ser disponibilizadas pelas concessionárias de eletricidade, aguardando a entrada e a expansão em 2013 dos sistemas fotovoltaicos de autoprodução de eletricidade.

Enquanto normas e procedimentos são elaborados para atender a resolução nº 482/2012 da Aneel, que

regulamenta os sistemas de micro e minigeração conectados às redes de distribuição de baixa tensão, esforços também são realizados para a capacitação de mão de obra para atuar no mercado fotovoltaico.

O país hoje é carente de profissionais, incluindo engenheiros projetistas e técnicos para montagem, instalação, configuração e testes de sistemas de geração fotovoltaica. Algumas medidas vêm sendo tomadas pelos grupos de trabalho da Abinee no sentido de traçar as necessidades de aperfeiçoamento para profissionais já formados, segundo o gráfico apresentado na Figura 1, para que a energia solar fotovoltaica possa ser incluída nos currículos dos cursos técnicos profissionalizantes.

Requisitos técnicos para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica

Os requisitos técnicos para o acesso de sistemas de geração fotovoltaica às redes de distribuição de baixa tensão estão sendo elaborados pelas concessionárias com base em normas nacionais

e internacionais. Os requisitos podem variar de uma empresa para outra, entretanto, seguem as diretrizes discutidas no Grupo Setorial de Energia Fotovoltaica da Abinee e os requisitos apresentados nas normas IEC 62116:2012 (Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica), IEC 61727 (Sistemas Fotovoltaicos – Características da conexão com a rede elétrica) e IEC 60364-7-712 (Instalação de sistemas fotovoltaicos).



Figura 1 – Qualificação dos profissionais de eletricidade e aperfeiçoamentos necessários para a atuação no setor fotovoltaico.
Fonte: Abinee.

A seguir serão discutidos alguns dos requisitos que terão de ser atendidos pelos usuários que desejarem instalar sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de baixa tensão.

Procedimentos de acesso

O usuário interessado em conectar à rede elétrica um sistema de geração fotovoltaica deverá seguir os procedimentos estabelecidos pela concessionária. Em geral será exigido o preenchimento de um formulário de acesso, onde vão constar as características dos equipamentos empregados, a potência instalada e outras informações pertinentes.

A solicitação deverá ser acompanhada de ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) do projeto do sistema de geração fotovoltaica, assinada pelo engenheiro eletricitista responsável. Em seguida, a concessionária terá um prazo para emitir um parecer técnico, aprovando ou não a solicitação de acesso.

Em caso de parecer favorável, procede-se à celebração do contrato de relacionamento operacional, a partir do qual o consumidor terá a autorização para iniciar a instalação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

Após a conclusão da instalação, esta será submetida à vistoria da concessionária, a partir da qual serão elaborados o relatório de vistoria e o termo de aprovação para a operação do sistema de autoprodução de energia em paralelo permanente com a rede elétrica.

Deve-se atentar ao fato de que as etapas do procedimento e os prazos podem variar de acordo com a concessionária. Veja o exemplo na Figura 2.

Instalações de responsabilidades do acessante

O acessante, ou seja, o interessado em instalar um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, será responsável pela construção das instalações e proteções necessárias no ponto de conexão com a rede elétrica. O acessante também será responsável pelo custo da troca do medidor de energia elétrica necessário para o registro do fluxo de energia bidirecional, necessário para o funcionamento do sistema de compensação de créditos previsto na resolução n. 482/2012 da Aneel.

A conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica não requer o uso de sistemas de proteção como relés de sincronismo de fase, frequência, fluxo de potência, subtensão, sobretensão e outras funções normalmente necessárias na conexão de geradores rotativos baseados em máquinas síncronas ou assíncronas. Para a conexão dos sistemas fotovoltaicos é suficiente utilizar inversores do tipo grid-tie (especiais para a conexão à rede elétrica) certificados pelo Inmetro.

Neste momento a certificação não está ocorrendo no Brasil, pois os procedimentos de teste encontram-se em elaboração e não há laboratórios credenciados no país. Entretanto, esta homologação será compulsória em breve e somente serão aceitos equipamentos dentro das normas estabelecidas no país. Na ausência de normas e procedimentos de certificação nacionais, as concessionárias poderão exigir equipamentos certificados por normas internacionais para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

A Figura 3 ilustra as exigências mínimas para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede de baixa tensão. Neste caso é usado como exemplo o diagrama de conexão elaborado pela Cemig. O acessante será responsável pela instalação do padrão de entrada dotado de medidor bidirecional e dispositivo de seccionamento visível, instalado fora do quadro de medição. O inversor ou conjunto de inversores do sistema fotovoltaico e o quadro de distribuição geral das cargas consumidoras serão conectados ao dispositivo de seccionamento.

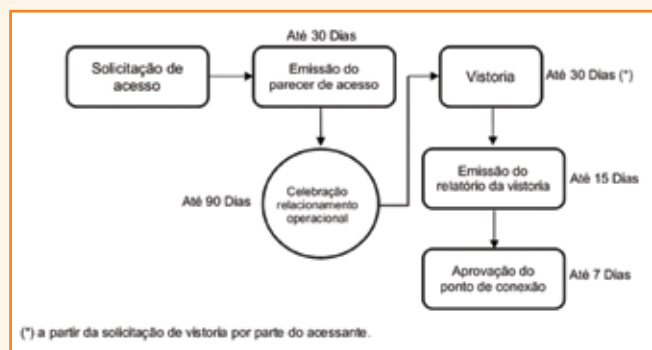


Figura 2 – Etapas de acesso de microgeradores ao sistema de distribuição da CEMIG. Fonte: Cemig.

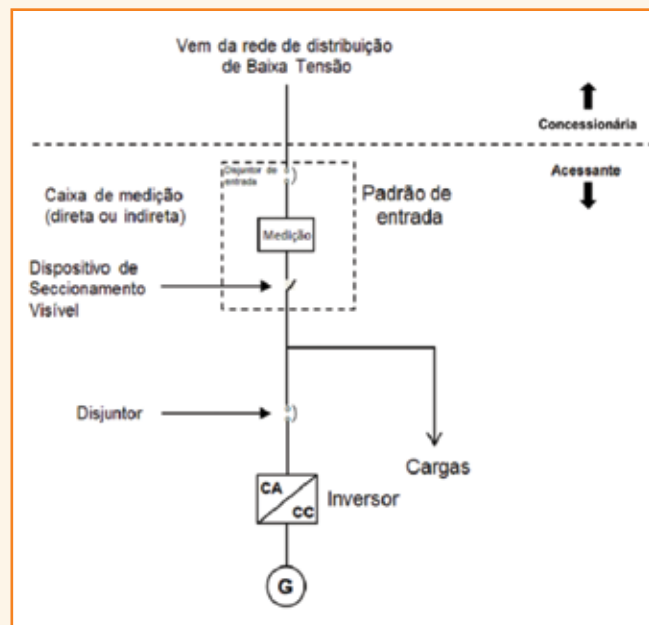


Figura 3 – Forma de conexão do acessante (por meio de inversor) à rede de BT. Fonte: Cemig.

A Figura 4 ilustra os requisitos exigidos pela concessionária AES Eletropaulo. Neste caso, são exigidos alguns itens adicionais no ponto de conexão do sistema fotovoltaico com a rede elétrica.

De acordo com o diagrama da Figura 4, deverá ser instalado um quadro elétrico (CAG1) exclusivo para o acoplamento do sistema fotovoltaico. Este quadro será dotado de um dispositivo de proteção de surto (DPS Classe II), um relé de subtensão (Função 27), um disjuntor diferencial residual (DDR) e duas lâmpadas sinalizadoras.

Os itens de proteção adicionais mostrados na Figura 4 oferecem segurança redundante para a conexão do sistema fotovoltaico. Em princípio, as proteções necessárias para a conexão à rede elétrica são

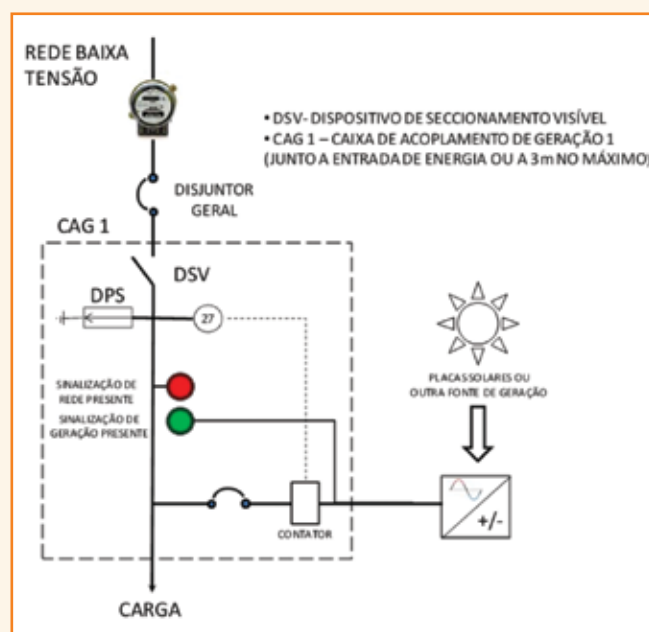


Figura 4 – Forma de conexão do acessante (por meio de inversor) à rede de BT (tipo I). Fonte: AES Eletropaulo.

realizadas pelos inversores do tipo grid-tie, quando homologados pelas normas nacionais e internacionais que regem as características destes equipamentos para que façam a conexão à rede de forma segura.

As concessionárias de energia elétrica são soberanas para elaborar as normas técnicas que devem ser observadas pelos acessantes com seus sistemas fotovoltaicos, os quais deverão atender aos requisitos e instalar os equipamentos de proteção exigidos, sem os quais a solicitação de conexão não será atendida. As Figuras 3 e 4 indicam que esses requisitos no momento não são padronizados nacionalmente.

Medição de energia

O sistema de medição de energia utilizado pelos usuários que possuem um sistema fotovoltaico de autoprodução de energia será do tipo bidirecional. Em outras palavras, o medidor instalado na entrada deste usuário será capaz de registrar o consumo e a geração de eletricidade. O consumo corresponde ao fluxo de potência com o sentido tradicional da concessionária para o usuário. A geração corresponde à injeção ou exportação de energia para a rede elétrica, que ocorrerá nos instantes em que a geração fotovoltaica for superior ao consumo do usuário.

O medidor do tipo bidirecional terá dois registradores, com numerações distintas, um para o consumo e outro para a geração de eletricidade. Isso permitirá a apresentação de dois valores, um de geração e outro de consumo, nas faturas de eletricidade dos usuários que possuem um sistema fotovoltaico registrado junto à concessionária.

As concessionárias serão responsáveis pela troca do medidor convencional pelo medidor bidirecional. O custo da substituição será cobrado do usuário. Clientes existentes pagarão apenas a diferença do custo entre o medidor antigo e o novo.

A Figura 5 apresenta o diagrama de medição de eletricidade com medidor bidirecional. Existe um único ponto de conexão do medidor com a rede elétrica, no qual pode ocorrer entrada ou saída de energia. O gerador fotovoltaico e as cargas consumidoras são conectados ao dispositivo de seccionamento visível (DSV), instalado após o medidor bidirecional.

Forma de conexão

De acordo com a classe de potência do acessante, o sistema fotovoltaico será monofásico ou trifásico. A Tabela 1 mostra as diferentes classes e as formas de conexão previstas pela Cemig.

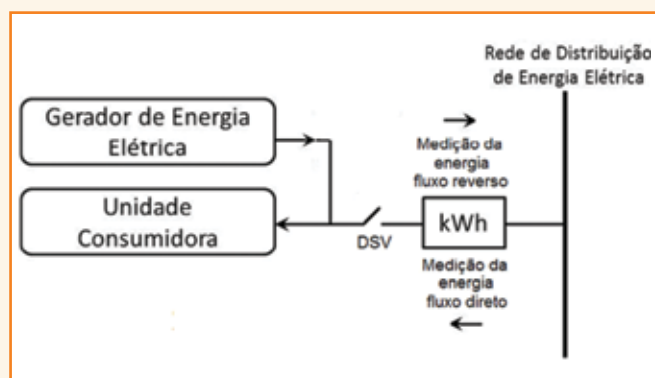


Figura 5 – Disposição simplificada do medidor bidirecional.
Fonte: Cemig.

Sistemas com potência instalada inferior a 10 kW poderão ser instalados nas modalidades monofásica, bifásica ou trifásica. Sistemas com potência entre 10 kW e 15 kW deverão ser bifásicos ou trifásicos.

Sistemas acima de 15 kW deverão obrigatoriamente ser trifásicos, com a exceção dos sistemas rurais com transformador de alimentação exclusivo, que poderão excepcionalmente acessar a rede elétrica monofásica para a conexão da geração fotovoltaica.

TABELA 1 – FORMA DE CONEXÃO EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA

Potência Instalada	Forma de conexão
< 10 kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
10 a 15 kW	Bifásico ou trifásico
> 15 kW (em rede trifásica)	Trifásico
< 30 kW (em RDR ⁽¹⁾ monofásica com transformador exclusivo)	Monofásico

Notas:
(1) RDR - Rede de distribuição rural

A Tabela 2, encontrada na nota técnica elaborada pela AES Eletropaulo, mostra que as classes de potência e as formas de conexão exigidas podem variar de uma concessionária para outra. No caso desta concessionária, acessantes com sistemas fotovoltaicos com até 20 kW de potência instalada poderão optar livremente pelas conexões monofásica, bifásica ou trifásica. A conexão trifásica será exigida somente para potências acima de 20 kW.

TABELA 2 – FORMA DE CONEXÃO EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA (AES ELETROPAULO)

Potência Instalada	Forma de conexão
≤ 20 kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
> 20 kW	Trifásico

Dispositivos de proteção de surtos (DPS) – Proteção contra descargas atmosféricas em sistemas fotovoltaicos

Sistemas fotovoltaicos geralmente se localizam nas partes externas de edifícios e construções, sendo que podem ser submetidos a uma descarga atmosférica direta. A instalação de painéis fotovoltaicos em telhados não aumenta o risco de uma descarga elétrica direta. Entretanto, o uso de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) continua sendo necessário e é a única forma prática de proteção contra os efeitos de uma descarga elétrica promovida por um raio.

Os efeitos indiretos de descargas atmosféricas podem ser atenuados pela adequada utilização dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS). Estes efeitos indiretos ocorrem quando uma descarga atmosférica acontece nas proximidades de uma estrutura em que a indução eletromagnética gera uma sobtensão nos condutores, sendo um grande perigo para pessoas e equipamentos. Em especial, os cabos do SPDA serão expostos ao surto constituído de uma corrente contínua (CC), causada pela descarga atmosférica.

Sobretensões em sistemas fotovoltaicos não são originadas apenas de agentes atmosféricos, sendo necessário considerar sobretensões devido a mudanças na rede elétrica ocasionadas por equipamentos elétricos e eletrônicos conectados a ela.

Sobretensões podem ser prejudiciais tanto para os inversores

quanto aos painéis fotovoltaicos. Dispositivos de proteção de surtos (DPS) são necessários nos lados CC e CA do sistema fotovoltaico, garantindo a perfeita proteção dos módulos e inversores.

Sistemas de instalação

Tensão fotovoltaica [UOC STC]: corresponde à tensão máxima de funcionamento do DPS e deve ser maior ou igual à tensão máxima sem carga do sistema fotovoltaico (FV). Dependendo da configuração, pode-se usar aterramento isolado ou conectado ao neutro. Sugere-se que a máxima tensão sem carga do sistema FV seja calculada com base na fórmula a seguir:

$$1,2 \times N \times U_{OC} \text{ (Painel)}$$

Em que:

- U_{OC} (Painel) é a tensão sem carga de um painel fotovoltaico individual em condições normais;
- N é o número de módulos conectados em série, em cada matriz do sistema FV (TS 50539-12).

Sistema de aterramento isolado

Este sistema é muito utilizado em pequenas instalações com o lado CC flutuante, sem aterramento. O parâmetro UOC STC refere-se à tensão entre os polos positivo e negativo. Painéis fotovoltaicos são normalmente utilizados com sistema de terra livre. Entretanto, se forem utilizados painéis Classe I, a moldura metálica deve estar ligada à terra por razões de segurança.

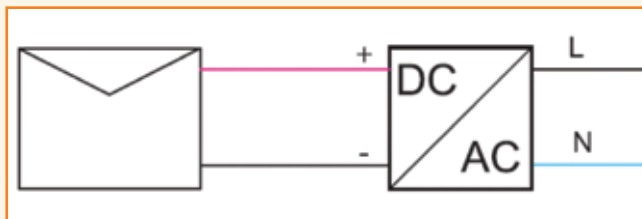


Figura 6 – Instalação com sistema de aterramento isolado.
Fonte: Finder.

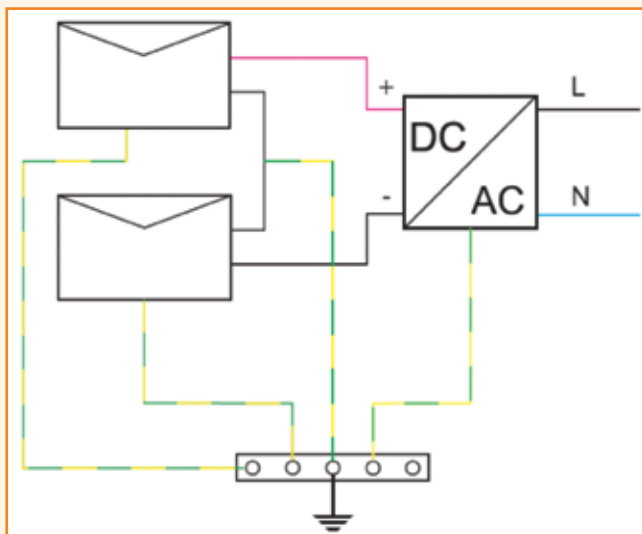


Figura 7 – Sistema com aterramento centralizado.
Fonte: Finder.

Sistema aterramento centralizado

Este sistema é utilizado em grandes instalações, nas quais existem altas tensões. A conexão com o ponto central da instalação reduz pela metade o valor máximo da tensão em relação ao solo. Neste caso, UOC STC é a tensão entre o polo ligado ao DPS e o solo.

Sistema fotovoltaico em edifícios sem SPDA

Como um exemplo, a Figura 8 representa um sistema fotovoltaico simplificado instalado em um prédio sem para-raios. Neste caso, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas deve considerar os seguintes pontos de instalação:

- Entrada do inversor em CC;
- Saída do inversor em CA;
- Tensão na rede de alimentação.

Na entrada CC do inversor, deverá ser instalado o DPS Classe II específico para sistemas fotovoltaicos, de acordo com a tensão de proteção do sistema fotovoltaico (FV). Na saída CA do inversor, conforme o sistema,

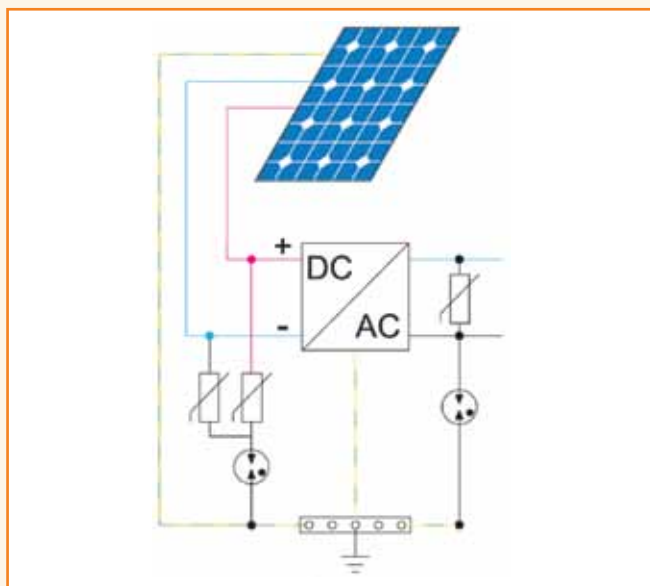


Figura 8 – Esquema simplificado de uma instalação fotovoltaica situada sobre um edifício sem SPDA, protegido pelo lado DC com DPS com UOC STC = 420 V e pelo lado AC com um TP.22 específico para instalações TT.
Fonte: Finder.



Figura 9 – Coordenação de DPS em uma instalação fotovoltaica.
Fonte: Finder.

deverá ser instalado o dispositivo de proteção contra surtos do tipo Classe II e na conexão com a entrada de energia em baixa tensão, considerando o tipo do sistema de aterramento (IT,TT,TN), poderá ser necessária a coordenação com outros DPS Classe II se não houver risco contra limp e caso haja o risco combinado com um Classe I ou diretamente instalado um Classe I+II.

Em sistemas mais complexos, poderão ser necessários DPS adicionais, perto do painel de conexão e proteção FV (caso a distância entre o mesmo e o inversor seja superior a 10 m). Outro DPS será necessário para o ponto onde os cabos CC adentram no edifício (caso a distância entre o painel do sistema FV e o inversor seja superior a 20 m).

Sistema fotovoltaico em edifícios com SPDA

Em edifícios dotados de SPDA é indicado que os painéis fotovoltaicos sejam instalados nas áreas protegidas pelos para-raios. Os para-raios, o DPS e todas as partes metálicas da estrutura devem ser equipotencializados com o sistema de aterramento.

O DPS que protege o lado CC é o mesmo para sistemas sem SPDA, portanto, aconselha-se a utilização de para-raios para sistemas fotovoltaicos e DPS de uma tensão adequada (UOC STC).

Para a proteção do lado CA do inversor é suficiente um DPS classe II, pois este deverá estar protegido por um DPS classe I. Segundo a norma EN 62305, a instalação de um DPS Classe I é obrigatória no circuito de entrada de alimentação da concessionária de energia, caso o prédio tenha SPDA (com ou sem painéis solares).

No entanto, se o inversor estiver situado no campo, por exemplo, abaixo da estrutura que suporta os painéis, recomenda-se a instalação de um DPS Classe I para o lado CA, em vez do Classe II para prover a proteção contra limp. Como opção para a coordenação de DPS é possível utilizar neste caso o Classe I+II, que é caracterizado por suportar limp e ter um baixo valor de U_p .

Coordenação de DPS

Uma ótima proteção contra surtos requer uma cascata de DPS, chamada coordenação. A coordenação tem o objetivo de dividir a energia associada com as tensões entre os DPS. Esta coordenação é obtida pela introdução entre eles de uma impedância de valor adequado ou, de maneira alternativa, ligando-os pelos condutores com o comprimento mínimo indicado nas figuras a seguir, a fim de utilizar a impedância dos próprios condutores.

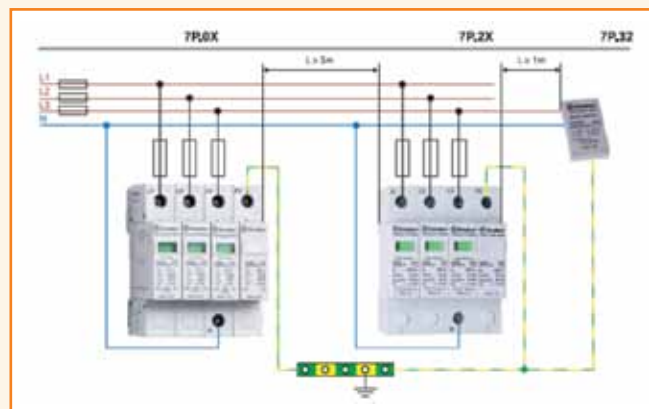


Figura 10 – Coordenação de DPS em uma instalação fotovoltaica.
Fonte: Finder.

Conexão em série (V-shape)

A ligação em série (V-shape) permite aumentar a eficácia de proteção, eliminando a contribuição da tensão induzida pelos condutores de ligação do DPS durante a drenagem da sobrecorrente. O limite desta instalação é dado pela corrente nominal do sistema que deve atravessar o terminal duplo do DPS e não pode exceder a corrente de 125 A.

Para sistemas em que a corrente nominal é maior do que 125 A, deve-se continuar com a instalação tradicional do DPS, em paralelo com o sistema (T-shape).

Cabos de conexão

Dependendo do tipo de ligação, em série (V-shape) ou em paralelo (T-shape), deve-se tomar cuidado para que o comprimento e a seção mínima dos cabos que alimentam o DPS estejam de acordo com as normas ABNT NBR 5410 e IEC 60364-5-534.

A seção transversal dos condutores de cobre para conexão ao aterramento não deve ser inferior a 6 mm² (DPS Classe I e I+II), 4 mm² (DPS Classe II) e 1,5 mm² (DPS Classe III).

Proteção com fusível

Recomenda-se promover proteção contra curtos-circuitos ao DPS, sendo esta feita por dispositivos de proteção de sobrecorrente (fusíveis tipo gL / gG).

Proteção em AC

Se os dispositivos de proteção de sobrecorrente FI (que fazem parte

da instalação) têm menor ou igual capacidade ao máximo recomendado de acordo com a classificação para dispositivos de proteção F2 (fusível de backup), os F2 podem ser omitidos (ver Figura 14).

Se $F1 > 160\text{ A}$, F2 terá de ser de 160 A.

Se $F1 \leq 160\text{ A}$, F2 pode ser omitido.

7P.0X (Classe I+II):

Se $F1 > 250\text{ A}$, F2 terá de ser de 250 A.

Se $F1 \leq 250\text{ A}$, F2 pode ser omitido.

7P.1X (Classe I), 7P.2X (Classe I+II):

Se $F1 > 160\text{ A}$, F2 terá de ser de 160 A.

Se $F1 \leq 160\text{ A}$, F2 pode ser omitido.



Figura 11 – Coordenação de DPS em uma instalação fotovoltaica.

Fonte: Finder.

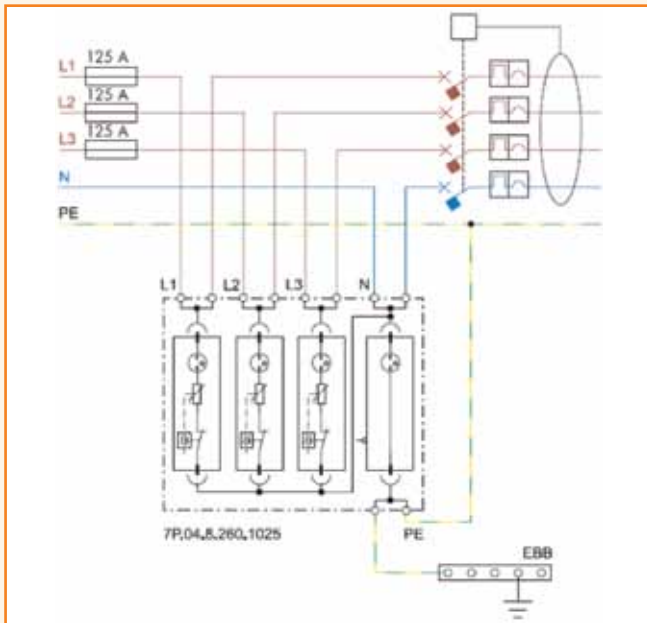


Figura 12 – Ligação V-Shape de DPS.

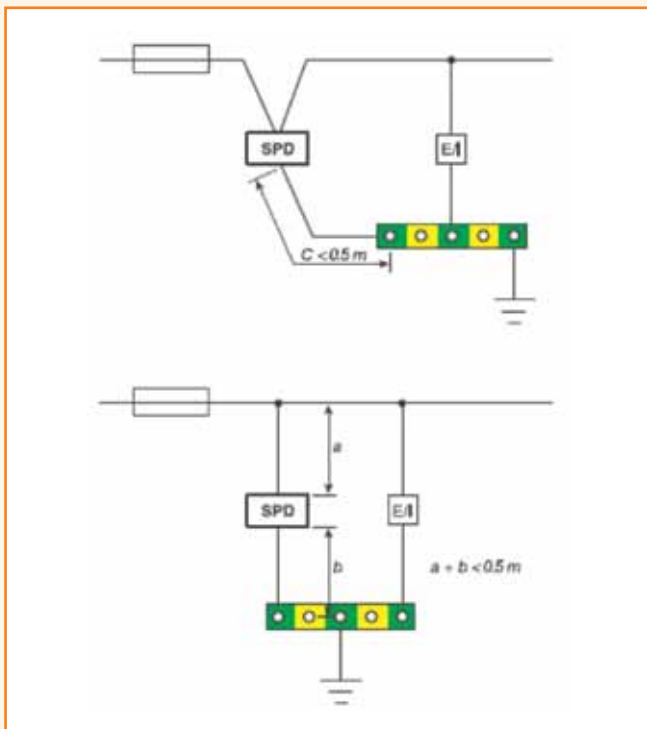


Figura 13 – Cabos de conexão para DPS.

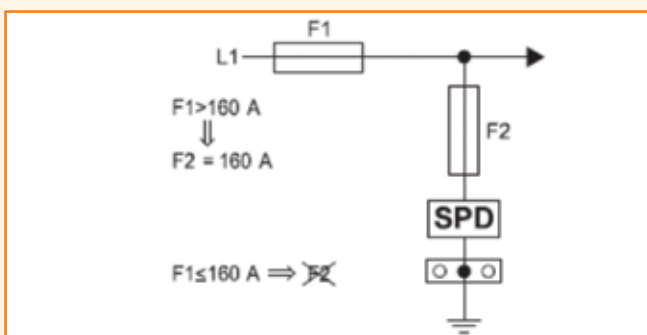


Figura 14 – Instalação de fusíveis para DPS.

Proteção em CC

O DPS é capaz de interromper individualmente correntes da ordem de 100 A CC. Isso significa que para correntes de curto-circuito (I_{sc}) inferiores a 100 A não é necessário inserir um fusível de backup, como mostrado na Figura 15.

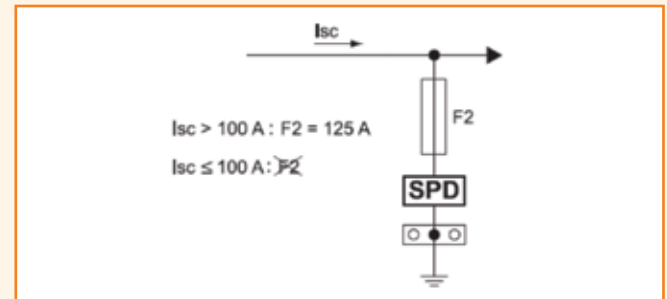


Figura 15 – Instalação de fusíveis para DPS.

Referências

- Curso Básico de Energia Solar Fotovoltaica, Curso de Instalador fotovoltaico, Curso de Projetista Fotovoltaico. Disponível em: <<http://www.eudorasolar.com.br>>.
- Requisitos para a conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição CEMIG – Conexão em Baixa Tensão, CEMIG, Diretoria de Distribuição e Comercialização, 2012.
- NT-6.012 Requisitos Mínimos para Interligação de Microgeração e Minigeração Distribuída com a Rede de Distribuição da AES Eletropaulo com Paralelismo Permanente Através do Uso de Inversores – Consumidores de Média e de Baixa Tensão, AES Eletropaulo, 2012.
- VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. “Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações – Sistemas Isolados e Conectados à Rede”. Editora Érica, 2012
- Finder – Guia para aplicação de Dispositivos de Proteção contra Surtos – DPS, 2012. Disponível em: <<http://www.findernet.com>>.s em instituições de ensino. Atualmente é diretor comercial da Finder do Brasil.

**JONAS RAFAEL GAZOLI é engenheiro eletricista, mestre e doutorando em Engenharia Elétrica pela Unicamp. É especialista em inversores fotovoltaicos na Universidade de Padova, Itália. Autor de trabalhos sobre energia solar fotovoltaica publicados em revistas e congressos no Brasil e no exterior. É membro da Associação Brasileira de Eletrônica de Potência e do IEEE. É autor do livro “Energia solar fotovoltaica – conceitos e aplicações”, publicado pela Editora Érica em 2012. Atualmente é diretor da Eudora Solar.*

MARCELO GRADELLAVILLALVA é engenheiro eletricista, mestre e doutor em Engenharia Elétrica pela Unicamp. É especialista em inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Professor e palestrante nas áreas de sistemas fotovoltaicos, energias renováveis, eletrônica de potência e máquinas elétricas. Autor de trabalhos científicos e artigos publicados no Brasil e no exterior. É membro da Associação Brasileira de Eletrônica de Potência e do IEEE. É autor do livro “Energia solar fotovoltaica – conceitos e aplicações”, publicado pela Editora Érica em 2012. Atualmente é professor e pesquisador da Universidade Estadual Paulista (Unesp).

JUAREZ GUERRA é engenheiro eletricista. É membro ativo do Conselho de Desenvolvimento Econômico de São Caetano do Sul e diretor adjunto da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp). Realiza trabalhos como consultor palestrante em congressos, fóruns e palestras em instituições de ensino. Atualmente é diretor comercial da Finder do Brasil.

>>>> FIM <<<<

Obtenha este e outros capítulos do fascículo sobre “Energias renováveis alternativas”, em formato PDF, no site www.osetoreletrico.com.br. Dúvidas e outros comentários podem ser encaminhados para redacao@atituedeeditorial.com.br