

PROFESSOR ENGENHEIRO HILTON MORENO

CABOS ELÉTRICOS PARA INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

1 USO EM SISTEMA FOTOVOLTAICO

OLARCOM USO EM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Cobrecom



CABOS ELÉTRICOS PARA INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

PROF. ENG.º HILTON MORENO

Cobrecom



Direitos reservados para
I.F.C. Indústria e Comércio de Condutores
Elétricos Ltda.
2019

Nenhuma parte desta publicação poderá ser
reproduzida ou transmitida por qualquer meio sem
prévia autorização por escrito da IFC/COBRECOM.

Autor: Eng.º Hilton Moreno

Diagramação e ilustrações: NucleoTCM



APRESENTAÇÃO
IFC/COBRECOM

A IFC/COBRECOM é uma empresa 100% nacional, fundada na década de 90, e conta com uma equipe altamente especializada e treinada para a fabricação e comercialização de fios e cabos elétricos de cobre para fins elétricos em baixa tensão.

A empresa possui presença em todo o território nacional, atendendo a vários segmentos do mercado como indústrias, engenharias, construtoras, lojas de materiais elétricos e de construção, home centers, instaladoras elétricas, indústrias de eletrodomésticos, montadora de painéis elétricos, órgãos públicos e concessionários de energia elétrica.

Nosso portfólio de produtos é composto por fios e cabos elétricos para tensões de até 1 kV para instalações elétricas prediais e industriais, além de cabos para alimentação de equipamentos, atendendo a todas as normas técnicas exigidas por lei.

Os valores da IFC/COBRECOM incluem a transparência e ética com o cliente, funcionários e sociedade, a capacitação e valorização dos colaboradores e parceiros, além da sustentabilidade econômica, financeira e socioambiental.

A IFC/COBRECOM tem a tecnologia como prioridade absoluta, e tem investido cada vez mais em máquinas e mão de obra treinada a fim de garantir mais qualidade nos seus produtos e melhor atendimento aos seus clientes.

A área de Engenharia Industrial possui profissionais atualizados, que acompanham as tendências nacionais e internacionais, projetando e construindo soluções para atender às necessidades da empresa, numa busca constante da melhoria dos resultados em processos.

O investimento em tecnologia e a busca constante por manter um padrão sério e arrojado para satisfazer seus clientes e parceiros resultam em confiabilidade, compromisso, segurança e satisfação.

A publicação deste manual focado em cabos elétricos para instalações fotovoltaicas é uma contribuição da IFC/COBRECOM para a formação, atualização e aperfeiçoamento dos profissionais que desejam seguir as prescrições das normas técnicas e regulamentos aplicados no Brasil.

Tenham uma ótima leitura!



Novembro de 2019.



***APRESENTAÇÃO
DO AUTOR***



Prof. Eng.º Hilton Moreno

Agradeço imensamente a IFC/COBRECOM pela oportunidade e incentivo que me deu para escrever este Manual.

Com esta publicação espero compartilhar com toda a comunidade envolvida direta ou indiretamente com as instalações elétricas não apenas os conhecimentos próprios, porém e, sobretudo, os conhecimentos coletivos adquiridos em contatos diretos com outros profissionais e na literatura nacional e internacional disponível sobre o tema.

O texto apresentado inclui a compilação de trechos de materiais já publicados por mim em artigos, revistas, seminários, internet e outras fontes, além de muitos textos inéditos que complementam as informações.

Este documento é totalmente baseado nos requisitos das várias normas técnicas que envolvem o mundo dos condutores elétricos existentes na época da sua publicação e procura, na medida do possível, disponibilizar a interpretação mais adequada das exigências, acrescentando exemplos práticos quando cabível.

Espero sinceramente que este documento seja muito útil a todos os profissionais da área elétrica que buscam conhecimento e atualização contínua.

Saudações!

PROF. ENG.º HILTON MORENO

Novembro de 2019.

1. O Prof. Hilton Moreno é engenheiro eletricista pela Escola Politécnica da USP; Consultor da IFC/COBRECOM; Professor universitário; Cocriador do curso de pós-graduação em Instalações Elétricas Prediais, Comerciais e Industriais; Membro de Comissões de Estudos da ABNT (NBR 5410; NBR 16690, NBR 14039; etc.); Autor de livros, manuais, artigos; Autor do livro Cabos Elétricos para Baixa Tensão conforme a NBR 5410 publicado pela COBRECOM; Palestrante profissional; Diretor da Revista Potência.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. Introdução | 14 |
| 2. Visão geral de uma instalação elétrica fotovoltaica | 16 |
| 3. Componentes de uma instalação fotovoltaica | 21 |
| 4. Características dos cabos para instalações fotovoltaicas | 24 |
| 5. Instalação de cabos elétricos fotovoltaicos | 30 |
| 6. Dimensionamento de cabos elétricos fotovoltaicos | 41 |
| 7. Exemplo de dimensionamento de cabos elétricos fotovoltaicos | 62 |
| 8. Bibliografia | 68 |





1. INTRODUÇÃO

A geração de energia fotovoltaica tem evoluído a cada ano no Brasil, impulsionada sobretudo pelos avanços na regulamentação tarifária e na redução dos preços dos componentes.

Esse crescimento acelerado é verificado tanto na geração centralizada (usinas de grande porte) localizadas em grandes áreas ligeiramente afastadas dos centros de consumo, quanto nas mini e micro gerações distribuídas, que estão localizadas junto aos centros consumidores, como nos telhados de residências, prédios, hospitais, indústrias, etc.

Qualquer que seja o tipo de geração, centralizada ou distribuída, os cabos elétricos exercem papel fundamental tanto no trecho em corrente contínua quanto alternada. Em particular, no lado CC, devido às características peculiares desse tipo de instalação, os condutores elétricos possuem características especiais que os diferenciam dos cabos elétricos usualmente empregados nas instalações elétricas de baixa tensão em CA.

Quais são as características específicas dos cabos fotovoltaicos, assim como fazer a seleção, dimensionamento e instalação adequados destes produtos é o objetivo desta publicação.

2. VISÃO GERAL DE UMA INSTALAÇÃO ELÉTRICA FOTOVOLTAICA

Uma instalação elétrica fotovoltaica é a soma da montagem de diversos componentes elétricos e mecânicos, adequadamente escolhidos, que são responsáveis pela geração de eletricidade em corrente contínua a partir da radiação solar, pelo transporte dessa energia elétrica por meio dos condutores, por um eventual armazenamento e, finalmente, pela conversão desta eletricidade em corrente alternada, que será utilizada diretamente pelos aparelhos eletroeletrônicos existentes no local ou que será distribuída pelas redes elétricas até os centros de consumo.

Há também casos especiais, onde o arranjo fotovoltaico é conectado diretamente às cargas em corrente contínua, sem o uso de inversores. Por fim, existem situações nas quais são utilizados os chamados “microinversores”, que são inversores CC/CA de baixa potência acoplados diretamente ao módulo fotovoltaico, não existindo, desta forma, nenhuma instalação em corrente contínua externa ao módulo.

Os sistemas fotovoltaicos são divididos em duas grandes categorias: on-grid e off-grid.

Sistema fotovoltaico conectado à rede (ON-GRID)

Sistemas conectados à rede de distribuição pública são aqueles onde a geração fotovoltaica e a alimentação proveniente da rede da distribuidora pública de energia local convivem na mesma instalação. Nesta situação, quando a geração do sistema fotovoltaico da edificação não for suficiente para suprir as cargas, elas são alimentadas pela rede da distribuidora. E, no caso de haver excedente de energia gerada pelo sistema fotovoltaico, a sobra é injetada na rede pública de distribuição, gerando assim um crédito de kWh para o proprietário da edificação.

No sistema on-grid, a interface que garante o adequado paralelismo entre as fontes fotovoltaica e pública é o inversor, que possui internamente todos os componentes de proteção

e comando para garantir a total segurança do sistema. São os chamados “inversores on-grid” ou “inversores grid-tie”.

A medição do consumo de energia utiliza um medidor bidirecional, que registra a energia consumida da rede pela edificação e a energia excedente injetada na rede pelo sistema de geração fotovoltaico. Ao final do período, é calculada a diferença entre essas duas grandezas, que poderá resultar em um saldo a pagar pelo usuário ou um desconto em kWh concedido pela distribuidora, dependendo da utilização das cargas e da quantidade de energia fotovoltaica gerada no período de medição.

A Figura 1 apresenta os principais componentes de um sistema on-grid.

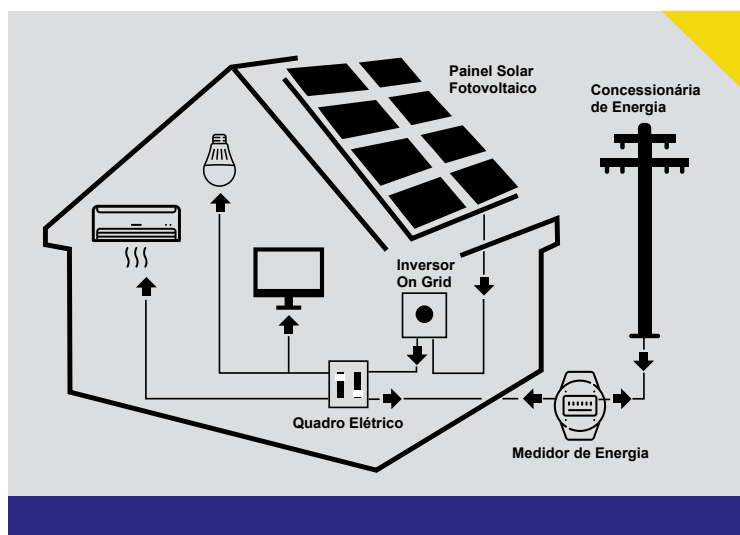


Figura 1 – Exemplo de uma instalação elétrica fotovoltaica on-grid

Sistemas isolados (OFF-GRID)

Em geral, utilizam-se alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de

baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos, ou armazenar-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios.

A Figura 2 apresenta os principais componentes de um sistema off-grid.

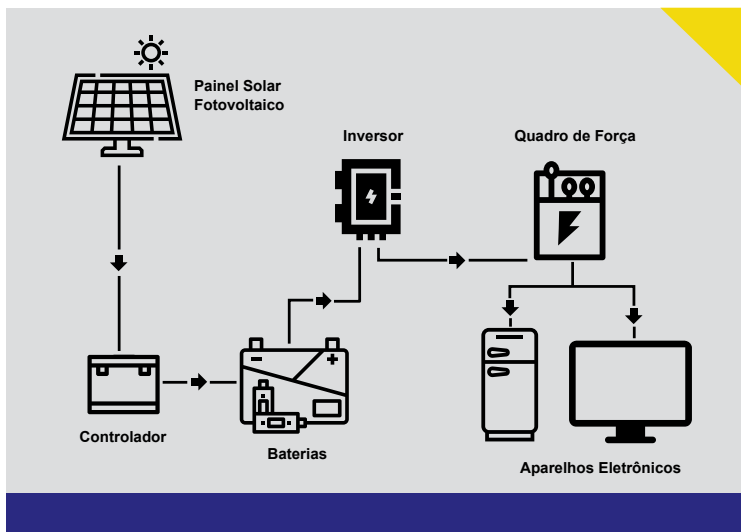


Figura 2 – Exemplo de uma instalação elétrica fotovoltaica off-grid

O sistema se autossustenta através da utilização de baterias, esse sistema é completo, e inclui todos os componentes divididos em três diferentes blocos:

- Bloco gerador: painéis solares; cabos; estrutura de suporte.
- Bloco de condicionamento de potência: inversores; controladores de carga.
- Bloco de armazenamento: baterias.

A energia produzida é também armazenada em baterias, que por sua vez garantem o funcionamento do sistema em períodos com pouco, ou mesmo ausentes, de luz solar, como dias nublados ou à noite. Devido ao fato de as baterias serem a única fonte alternativa de energia para momentos ausentes de luz solar, é preciso dimensioná-las levando em conta as características climáticas do local e a demanda de energia sobre o sistema.

3. COMPONENTES DE UMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA

A norma ABNT NBR 16690^[1] estabelece os requisitos mínimos que uma instalação fotovoltaica, on-grid ou off-grid, deve atender, assim como define alguns termos utilizados nestas aplicações, a saber:

- Uma célula fotovoltaica é um dispositivo fotovoltaico elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica.
- Um módulo fotovoltaico é a unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.
- Uma série fotovoltaica é um circuito no qual módulos fotovoltaicos são conectados em série, com o intuito de gerar a tensão de saída desejada de um arranjo fotovoltaico.
- Um arranjo fotovoltaico é um conjunto de módulos fotovoltaicos ou subarranjos fotovoltaicos, mecânica e eletricamente integrados, incluindo a estrutura de suporte. Um arranjo fotovoltaico compreende todos os componentes até os terminais de entrada em corrente contínua da UCP (Unidade de Condicionamento de Potência), das baterias ou das cargas. Um arranjo fotovoltaico pode ser constituído por um único módulo fotovoltaico, uma única série fotovoltaica, ou várias séries ou subarranjos fotovoltaicos conectados em paralelo, e os demais componentes elétricos associados.
- A unidade de condicionamento de potência (UCP) é o sistema que converte a potência elétrica entregue por um arranjo fotovoltaico na potência elétrica com valores apropriados de frequência e/ou tensão para ser entregue à carga, ou armazenada em uma bateria ou injetada na rede elétrica.
- Uma caixa de junção é um invólucro no qual subarranjos fotovoltaicos, séries fotovoltaicas ou módulos fotovoltaicos são conectados em paralelo, e que pode alojar dispositivos de proteção e/ou de seccionamento (os termos equivalentes em

inglês são: string box, junction box ou combiner box).

Em suma, uma instalação fotovoltaica, conforme ABNT NBR 16690 inclui arranjos fotovoltaicos, condutores do cabeamento em corrente contínua (cabos fotovoltaicos), dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de chaveamento, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico, dispositivos de armazenamento de energia (opcional), unidades de condicionamento de potência, caixas de junção, medidores (opcional) e quadros de distribuição.



4. CARACTERÍSTICAS DOS CABOS PARA INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

4.1 Utilização

Um cabo para instalações fotovoltaicas é um produto específico para esse uso, que interliga os módulos fotovoltaicos em uma série fotovoltaica, e/ou que conecta a série fotovoltaica a uma caixa de junção (Figura 3).

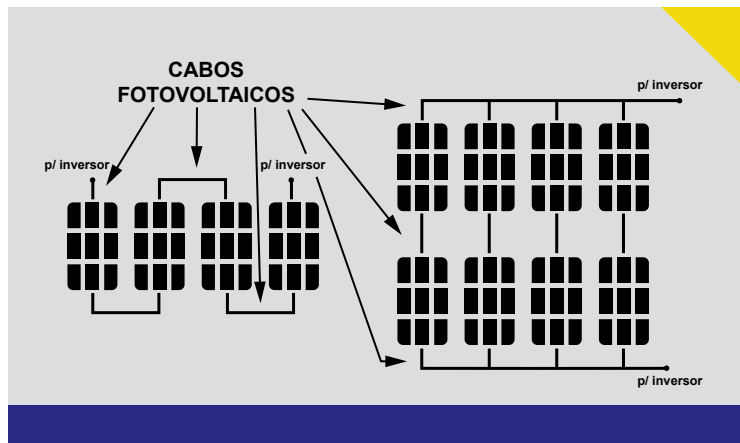


Figura 3 - Aplicações dos cabos elétricos fotovoltaicos

4.2 Construção

Os cabos utilizados em sistemas fotovoltaicos devem atender às especificações da Norma ABNT NBR 16612 [2].

Conforme indicado na Figura 4, os principais requisitos da ABNT NBR 16612 sobre a construção dos cabos fotovoltaicos são as seguintes:

A) CONDUTOR⁽¹⁾: deve ser de cobre estanhado, têmpera mole e estar conforme ABNT NBR NM 280 [3] na classe 5 de encordoamento.

O condutor deve ser classe 5 de encordoamento, ou seja, bastante flexível, para permitir a movimentação do cabo, sem quebra dos

fios condutores, ocasionada pelo vento e pela dilatação térmica dos arranjos e módulos fotovoltaicos.

O condutor deve ser estanhado para melhorar a qualidade e a confiabilidade da conexão, que deverá ser realizada por conectores específicos para uso fotovoltaico (ver item 5.2 adiante);

B) SEPARADOR: sobre o condutor pode ser aplicado um separador a fim de facilitar a remoção da isolação, evitando assim a sua aderência ao cobre estanhado. Este separador, que não é obrigatório na construção do cabo, deve estar de acordo com a ABNT NBR 6251 ^[4];

C) ISOLAÇÃO⁽²⁾: deve ser constituída por uma ou mais camadas extrudadas de composto termofixo não halogenado.

O composto termofixo permite que o cabo tenha maiores capacidades de condução de corrente do que se fosse utilizado um composto termoplástico. Além disso, o composto termofixo tem maior estabilidade térmica do que o termoplástico quando o cabo é submetido a elevadas temperaturas, como acontece quando exposto à ação direta dos raios solares, situação típica nas aplicações fotovoltaicas.

A característica não halogenada da isolação, por sua vez, tem por objetivo a não degradação dos materiais metálicos em geral (estruturas, caixas e suportes de fixação) e dos conectores elétricos, em particular, no caso de queima ou até mesmo um simples princípio de incêndio envolvendo os cabos elétricos. Esta queima dos cabos tanto pode ser originada no seu interior ou ter sido provocada externamente ao cabo, porém atingindo-o de alguma forma.

Os compostos não halogenados apresentam quatro características principais que os distinguem de outros materiais utilizados na fabricação dos cabos elétricos: reduzida emissão de fumaça; a pouca fumaça emitida é translúcida, permitindo

a visão quase que total através do incêndio; reduzida emissão de gases tóxicos; e, a principal característica para os propósitos de um cabo fotovoltaico, a reduzida emissão de gases corrosivos, evitando, desta forma, a corrosão de materiais metálicos próximos aos condutores;

D) SEPARADOR: sobre a isolação pode ser aplicado um separador a fim de facilitar a remoção da isolação, evitando assim a sua aderência à cobertura. Este separador, que não é obrigatório na construção do cabo, deve estar de acordo com a ABNT NBR 6251;

• **COBERTURA⁽³⁾:** deve ser constituída por uma ou mais camadas extrudadas de composto termofixo não halogenado. Os motivos do uso deste tipo de material não halogenado são os mesmos descritos anteriormente na isolação.

A cobertura deve ser nas cores preta ou vermelha, identificando os polos negativo e positivo, respectivamente.



Figura 4 – Cabo para instalação elétrica fotovoltaica (Solarcom)

4.3 Requisitos

Os principais requisitos dos cabos para instalação fotovoltaica conforme a norma ABNT NBR 16612 são os seguintes:

- Tensão máxima de operação: 1,8 kV (CC). É relativamente comum, sobretudo em usinas fotovoltaicas, associar vários módulos em série, obtendo-se, em alguns casos, tensões máximas da ordem de 1,5 kV ou até mesmo um pouco superiores. Assim, os cabos para as aplicações fotovoltaicas são projetados para operar, sem problemas, até 1,8 kV.

É muito importante que projetistas e instaladores respeitem este limite para não diminuir a vida útil do cabo ou, dependendo do caso, para que não causem danos irreversíveis à isolamento, provocando a perda imediata do condutor.

- Temperatura ambiente: de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tais temperaturas extremas, ou próximas a elas, podem ser encontradas em instalações ao tempo em certos locais no Brasil. A determinação correta da faixa de temperatura na qual o cabo vai operar possibilita a otimização do dimensionamento dos condutores e garante uma vida útil adequada.

- Resistência à radiação ultravioleta (UV): devido à permanente e severa exposição dos cabos fotovoltaicos aos raios solares, eles devem apresentar elevada resistência à radiação ultravioleta, conforme especificado nos ensaios da norma de fabricação.

- Resistência à água: devido à possibilidade de severa exposição dos cabos fotovoltaicos à água, como decorrente de chuvas e alagamentos, eles devem apresentar elevada resistência à água, conforme especificado nos ensaios da norma de fabricação.

4.4 Cabos fotovoltaicos versus cabos para instalações fixas

Quando comparamos as características construtivas (item 4.2) e os principais requisitos dos cabos para instalação fotovoltaica (item 4.3) com aquelas dos cabos “comuns” 750 V ou 1 kV, para uso nas instalações elétricas fixas, conforme prescritos na norma ABNT NBR 5410^[5], é fácil concluir que se tratam de produtos muito diferentes. Não que um tipo de cabo seja melhor do que outro, mas apenas são aplicações diferentes, com influências externas diferentes, o que resulta na necessidade de utilizar produtos diferentes, que são específicos para cada caso. Apesar destas diferenças, a ABNT NBR 16690 permite o uso de cabos conforme as normas ABNT NBR 7286 e 7287^[6] no lugar dos cabos ABNT NBR 16612, mas apenas nos trechos dos subarranjos ou arranjos fotovoltaicos, mantendo a obrigação exclusiva de cabos ABNT NBR 16612 nos trechos das séries fotovoltaicas (interligação entre módulos ou que conecta a série fotovoltaica a uma caixa de junção).

Importante destacar que, embora a norma de instalações permita a construção dos cabos conforme ABNT NBR 7286 e ABNT NBR 7287, ela é explícita ao indicar que tais cabos devem atender aos requisitos da ABNT NBR 16612, que, como visto, são bastante rigorosos.



5. INSTALAÇÃO DE CABOS ELÉTRICOS FOTOVOLTAICOS

A instalação elétrica fotovoltaica no lado em corrente alternada deve atender às condições gerais da norma ABNT NBR 5410. Por sua vez, no lado em corrente contínua, deve ser aplicada a norma ABNT NBR 16690.

A ABNT NBR 16690 estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico.

5.1 Requisitos de instalação dos cabos fotovoltaicos

A seguir são indicadas as principais prescrições do item 6.2 da norma ABNT NBR 16690 relativas à instalação dos cabos fotovoltaicos.

a) para evitar confusão entre linhas em corrente alternada e corrente contínua dentro de uma instalação, bem como evitar riscos de faltas entre linhas de alimentações distintas, as linhas em corrente contínua e em corrente alternada devem ser separadas. Além disso, os diferentes tipos de circuitos em corrente alternada e contínua devem ser claramente identificados, por exemplo, pelo uso de etiquetas ou condutores com cores diferentes.

b) os cabos fotovoltaicos devem ser instalados de forma a não sofrer fadiga devido a esforços mecânicos, como, por exemplo, vento. Eles também devem ser protegidos contra bordas cortantes ou perfurantes.

c) abraçadeiras e presilhas de cabos não devem ser utilizadas como o método principal de fixação, a menos que tenham uma vida útil maior ou igual à do sistema ou do período de manutenção programada. Isto porque, abraçadeiras e presilhas instalados sob um arranjo fotovoltaico ainda podem estar expostos à radiação UV refletida, o que diminui muito a vida útil no caso de não serem fabricadas com materiais adequados. Além disso, é preciso considerar que abraçadeiras

metálicas podem ter bordas cortantes que, ao longo do tempo e em função do vento, podem causar danos aos condutores.

d) os eletrodutos e canaletas plásticos expostos à luz solar devem possuir proteção contra a radiação UV de modo a suportar o tempo de vida útil pretendido para o produto.

e) o cabeamento de arranjos fotovoltaicos deve ser realizado de tal forma que a possibilidade de ocorrências de faltas entre dois condutores energizados ou entre um condutor energizado e a terra seja minimizada. A própria construção dos cabos específicos para uso fotovoltaico conforme a ABNT NBR 16612 garante o atendimento deste requisito, na medida em que a construção do cabo prevê obrigatoriamente a presença de uma cobertura, reduzindo assim substancialmente o risco de faltas entre condutores vivos e entre condutor vivo e a terra.

f) todas as conexões dos cabos devem ser verificadas quanto ao torque mínimo e polaridade durante a instalação para reduzir o risco de faltas e possíveis arcos durante o comissionamento, operação e manutenção futura. Este requisito é atendido com o emprego de conectores suas e ferramentas específicas para sistemas fotovoltaicos, aplicados por mão de obra qualificada.

g) para reduzir a magnitude de sobretensões induzidas por descargas atmosféricas, os condutores do arranjo fotovoltaico devem ser dispostos de tal maneira que a área de laços de condutores seja mínima, por exemplo, pela instalação de condutores em paralelo, conforme mostrado na Figura 5.

Na prática, a formação de um laço nada mais é do que a construção indesejada de uma bobina com uma só espira (anel), que estará submetida à ação de um campo eletromagnético variável quando ocorrer uma descarga atmosférica próxima à instalação. Dependendo do comprimento deste laço, que poderia chegar a dezenas ou centenas de metros em alguns casos, a tensão induzida no anel poderia atingir centenas ou até mesmo milhares de volts, dependendo da intensidade da descarga atmosférica. Uma vez que as pontas desse anel estão

ligadas aos terminais dos módulos fotovoltaicos, é induzida então uma corrente elétrica também da ordem de centenas ou milhares de ampères, que facilmente pode danificar os condutores e destruir as placas fotovoltaicas, assim como outros componentes da instalação.

Para evitar este problema, deve ser buscada a menor área possível para os laços, conforme exemplos indicados na Figura 5.

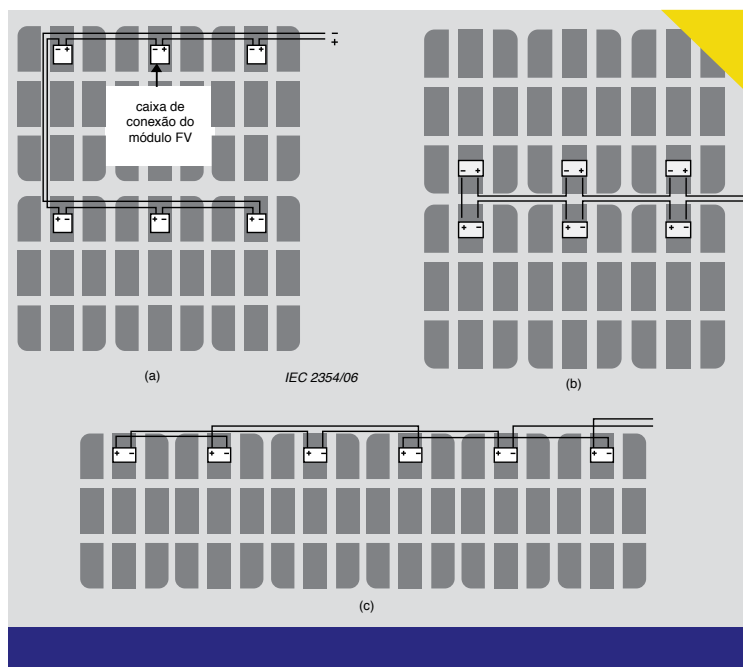


Figura 5 – Exemplos de cabeario com laços reduzidos

h) quando condutores são inseridos diretamente em caixas de junção, sem eletrodutos, deve ser utilizado um sistema de alívio de tensão mecânica para evitar desconexões dos cabos dentro da caixa de junção, como um prensa-cabo adequado.

i) deve ser dada particular atenção à possibilidade de condensação de água e ao acúmulo de insetos e pequenos

animais no interior das caixas de junção. Nos dois casos, pode haver degradação acelerada dos materiais metálicos ou isolantes, como conectores, cobertura e isolamento dos cabos. Desta forma, é recomendado que sejam tomadas medidas para evitar a entrada de água e insetos nas caixas, o que pode ser conseguido com a utilização de caixas com grau de proteção IP adequado.

j) deve haver uma adequada separação entre os condutores positivos e negativos dentro das caixas de junção, de maneira a minimizar os riscos de arcos em corrente contínua que possam ocorrer entre estes condutores. Uma boa organização dos cabos, evitando-se que eles fiquem “jogados” de qualquer forma no interior da caixa, normalmente é suficiente para que esta prescrição seja atendida da melhor forma possível.

k) deve ser fornecida uma identificação permanente e durável para o cabeamento do arranjo fotovoltaico, realizada por um dos seguintes métodos:

- utilizar cabos marcados de fábrica como “Cabo para sistema fotovoltaico”. Esta marcação deve ser permanente, legível e durável. Caso o cabo não seja claramente marcado de fábrica, devem ser fixadas etiquetas com as palavras “SOLAR c.c.” em intervalos não superiores a 5 metros, podendo ser aumentado para espaçamentos não superiores a 10 metros em trecho reto, onde uma visão clara é possível entre etiquetas.
- no caso de o condutor ser colocado em um conduto fechado, a identificação deve ser fixada ao exterior do conduto em intervalos não superiores a 5 metros e/ou nas caixas de passagem dessas linhas.
- apesar da distinção por cor não ser exigida pela ABNT NBR 16690, é recomendado fazer o uso de cores. O código de cores utilizado deve ser exposto claramente no local da instalação. Em geral, utiliza-se a cor vermelha para o condutor positivo e a cor preta para o negativo.

5.2 Conexões

A seguir são indicadas as principais prescrições do item 6.2 da norma ABNT NBR 16690 relativas às conexões dos cabos fotovoltaicos.

a) os conectores de encaixe, em uma mesma conexão no arranjo fotovoltaico, devem ser do mesmo tipo e do mesmo fabricante.

b) os conectores para uso fotovoltaico devem cumprir os seguintes requisitos mínimos:

- ser classificados para uso em corrente contínua.
- oferecer proteção contra o contato com partes vivas em estado conectado e desconectado. Isto pode ser conseguido, por exemplo, utilizando-se conectores encapsulados.
- ter uma corrente nominal igual ou superior à capacidade de condução de corrente para o circuito no qual estão instalados.
- ser dimensionados para a temperatura do local de instalação.
- em caso de exposição ao meio ambiente, devem ser dimensionados para uso ao tempo, ser resistentes à radiação UV e ter índice de proteção (IP) adequado para o local de instalação.
- devem ser instalados de tal maneira a minimizar os esforços mecânicos sobre os conectores.

c) plugues e tomadas, normalmente utilizados para a conexão de equipamentos eletrodomésticos de baixa tensão em corrente alternada, não devem ser utilizados em arranjos fotovoltaicos.

d) a crimpagem dos cabos aos conectores deve ser realizada com ferramenta própria para essa finalidade.

e) uma vez prontas, as conexões devem exigir força intencional para serem separadas, sendo confiáveis o suficiente para não se soltarem sem aplicação de qualquer força.

f) se acessíveis por pessoas não qualificadas, as conexões devem ser do tipo com bloqueio, onde duas ações independentes são necessárias para desconectar.

g) no caso de conexões multipolares, elas devem ser polarizadas.

A Figura 6 ilustra um exemplo de conector específico para instalações fotovoltaicas.



Figura 6 - Exemplo de conector para instalação fotovoltaica

5.3 Verificação

No capítulo 7, a norma ABNT NBR 16690 prescreve que, para a verificação final da instalação fotovoltaica, devem ser aplicados os requisitos especificados na ABNT NBR 5410 adicionados aos requisitos da norma ABNT NBR 16274 ^[7].

Verificação conforme ABNT NBR 5410

Em relação especificamente aos cabos elétricos para

instalações fotovoltaicas, os requisitos de verificação final da ABNT NBR 5410 são descritos a seguir.

a) no item 7.2.1 da norma, a norma indica que deve ser realizada uma inspeção visual para verificar se os cabos elétricos utilizados estão conforme a ABNT NBR 16612 (ver itens 4.2 e 4.4 anteriores), se foram corretamente selecionados e instalados de acordo com a ABNT NBR 16690 (ver item 5.1 anterior) e se não apresentam danos aparentes que possam comprometer seu funcionamento adequado e a segurança.

b) no item 7.2.3 da norma, é indicado que deve ser verificada a existência de identificações dos cabos elétricos fotovoltaicos (ver itens 5.1.a e 5.1.k anteriores) e a execução das conexões (ver item 5.2 anterior).

Verificação conforme ABNT NBR 16274

A norma ABNT NBR 16274 estabelece as diretrizes para a verificação inicial e periódica das instalações fotovoltaicas. A verificação inicial deve ser realizada logo após a conclusão de uma instalação nova ou após modificações em instalações existentes. Por sua vez, a verificação periódica determina, na medida do possível, se a instalação e seus componentes permanecem em condições adequadas de uso após certo tempo de operação.

A norma não estabelece qual deve ser a periodicidade da verificação, mas alerta que não deve ser maior do que o período requerido para a instalação c.a. à qual a instalação fotovoltaica está conectada (no caso do sistema on-grid). Neste caso, cria-se uma omissão na normalização, na medida em que, até o momento da redação deste livro, não existe documento que trata da periodicidade da verificação em corrente alternada.

Importante notar que o intervalo entre verificações, seja em c.a. ou c.c., pode variar muito em função de algumas características da instalação, como: maior ou menor agressividade do meio

ambiente em relação aos componentes da instalação (sol, chuva, salinidade, poluição, vento, flora, fauna, etc.); tipo de utilização do local (residencial, comercial, industrial, hospitais, áreas explosivas, locais de afluência de público, etc.). Assim, enquanto que em instalações residenciais situadas em locais com influências externas brandas poderia fazer sentido uma verificação, por exemplo, a cada dez anos, provavelmente seria bastante recomendável verificar anualmente a instalação fotovoltaica que atende a um hospital de uma cidade localizada junto ao mar. No item 9.2 da norma, é abordada essa questão, quando o texto cita que o relatório de verificação inicial da instalação fotovoltaica deve fazer uma recomendação para o intervalo entre as inspeções periódicas. E acrescenta que tal intervalo deve ser determinado em função do tipo de instalação e equipamentos, seu funcionamento, a frequência e qualidade das manutenções realizadas e as influências externas.

Em relação especificamente aos cabos elétricos para instalações fotovoltaicas, os requisitos de verificação da ABNT NBR 16274 são descritos a seguir.

a) no item 5.2.2 da norma, é prescrito que, durante a inspeção da instalação c.c., deve ser verificado se os cabos fotovoltaicos foram selecionados e montados de forma a minimizar o risco de faltas à terra e a curtos-circuitos (ver item 5.1.e anterior). Além disso, deve ser avaliado se os cabos fotovoltaicos foram selecionados e montados para resistir às influências externas esperadas, como o vento, a formação de gelo, a temperatura e a radiação solar (ver item 5.1 anterior).

b) no item 5.1.3 da norma, é indicado que os plugues e soquetes conectados entre si são do mesmo tipo e mesmo fabricante (ver item 5.2.a anterior).

c) no item 6.2 da norma, é prescrita a realização de ensaio de polaridade dos cabos fotovoltaicos, o que pode ser feito, por exemplo, com um multímetro digital. Uma vez confirmada a polaridade, os cabos devem ser verificados

para garantir que estão identificados e corretamente conectados aos dispositivos da instalação, como chaves e inversores. A norma alerta para a importância deste ensaio ser efetuado antes de outros ensaios, de fechar chaves ou inserir dispositivos de proteção, a fim de evitar danos aos componentes do sistema.

d) no item 6.7 da norma, é apresentado o ensaio de resistência de isolamento, que envolve os cabos fotovoltaicos. Alerta-se no documento que os circuitos em c.c. dos arranjos fotovoltaicos estão vivos durante o dia e, diferentemente de circuitos c.a. convencionais, não podem ser isolados, o que introduz um risco potencial de choque elétrico para a realização deste ensaio. Para minimizar tais riscos, a norma lembra que somente pessoas autorizadas devem ter acesso à área dos ensaios, as quais devem usar roupas e equipamentos de proteção individual adequados. Partes metálicas da instalação, incluindo os módulos e suas conexões, não devem ser tocadas durante o ensaio.

Em 6.7.2 e 6.7.3 da norma são fornecidos detalhes sobre a realização do ensaio de resistência de isolamento e a tabela 1 do documento apresenta os valores mínimos a serem obtidos nas medições. Em resumo, tais valores mínimos são os seguintes:

- 0,5 M Ω para tensão do sistema menor do que 120 Vcc;
- 1 M Ω para tensão do sistema igual ou maior do que 120 Vcc.

5.4 Manutenção

No capítulo 8, a norma ABNT NBR 16690 prescreve que, para a manutenção da instalação fotovoltaica, devem ser aplicados os requisitos especificados na ABNT NBR 5410 adicionados aos requisitos da norma ABNT NBR 16274.

Em relação especificamente aos cabos elétricos para instalações fotovoltaicas, os requisitos de manutenção da

ABNT NBR 5410 estão em 8.3.1. É estabelecido que deve ser inspecionado o estado da isolação dos condutores e de seus elementos de conexão, fixação e suporte, com vista a detectar sinais de aquecimento excessivo, rachaduras e ressecamentos, verificando-se também se a fixação, identificação e limpeza se encontram em boas condições.

Deve-se esclarecer que, embora esteja mencionada na ABNT NBR 16690, não há requisitos de manutenção adicionais na ABNT NBR 16274.

6. DIMENSIONAMENTO DE CABOS ELÉTRICOS FOTOVOLTAICOS

De acordo com a Norma ABNT NBR 16690, uma vez obtida a corrente de projeto dos circuitos, as seções nominais dos cabos das instalações fotovoltaicas devem ser determinadas de acordo com os critérios de capacidade de condução de corrente e queda de tensão, devendo ser escolhida, ao final, a maior seção obtida entre os dois critérios.

6.1 Corrente de projeto

Conforme indicado na Tabela 5 da norma, a corrente de projeto (I_p) para dimensionamento de um circuito fotovoltaico deve ser igual à corrente mínima em relação à qual a seção nominal dos condutores fotovoltaicos deve ser dimensionada, a qual depende do tipo de arranjo, conforme indicado a seguir.

Como será visto adiante, a corrente de projeto depende da existência ou não de proteção contra sobrecorrente no circuito, o que é definido nos itens 5.3.8 e 5.3.9 da norma ABNT NBR 16690, assunto que não é objeto desta publicação.

A proteção contra sobrecorrente deve ser utilizada quando requerido e os condutores devem ser capazes de suportar o pior caso de sobrecorrente proveniente das séries fotovoltaicas conectadas em paralelo em um mesmo subarranjo fotovoltaico somado ao pior caso de sobrecorrente proveniente de outros subarranjos fotovoltaicos paralelos.

Sempre que um inversor ou outro dispositivo de conversão de energia for capaz de fornecer corrente de retorno ao arranjo fotovoltaico sob condições de falta, o valor desta corrente de retorno deve ser levado em consideração em todos os cálculos da corrente de projeto do circuito.

A intensidade da corrente de retorno do conversor de energia deve ser disponibilizada pelo fornecedor do equipamento.

a) Série fotovoltaica sem proteção contra sobrecorrente

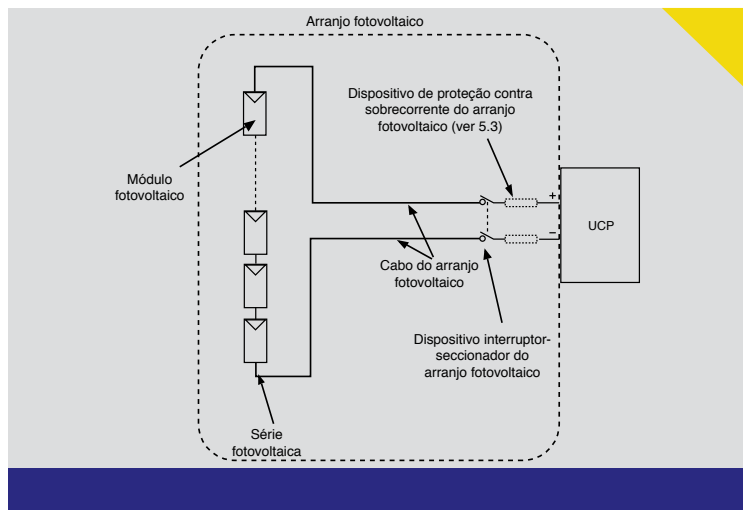


Figura 7 - Esquema de arranjo fotovoltaico com apenas uma série fotovoltaica sem proteção contra sobrecorrente

Para um arranjo fotovoltaico com apenas uma série fotovoltaica sem proteção contra sobrecorrente (Figura 7), a corrente de projeto é:

$$I_B = 1,5 \times I_{SC\ MOD}$$

Onde:

$I_{SC\ MOD}$ é a corrente de curto-circuito de um módulo fotovoltaico ou de uma série fotovoltaica nas condições de ensaio especificadas. Como séries fotovoltaicas são um grupo de módulos fotovoltaicos ligados em série, a corrente de curto-circuito de uma série fotovoltaica é igual à do módulo fotovoltaico.

A intensidade da corrente de curto-circuito de um módulo fotovoltaico deve ser disponibilizada pelo fornecedor do equipamento.

Exemplo: seja uma série fotovoltaica sem proteção contra sobrecorrente, com 10 módulos fotovoltaicos, cada um com uma corrente de curto-circuito $I_{SC\ MOD} = 9,5\text{ A}$. A corrente de projeto é calculada por $I_B = 1,5 \times I_{SC\ MOD} = 1,5 \times 9,5 = 14,3\text{ A}$

b) Série fotovoltaica com proteção contra sobrecorrente

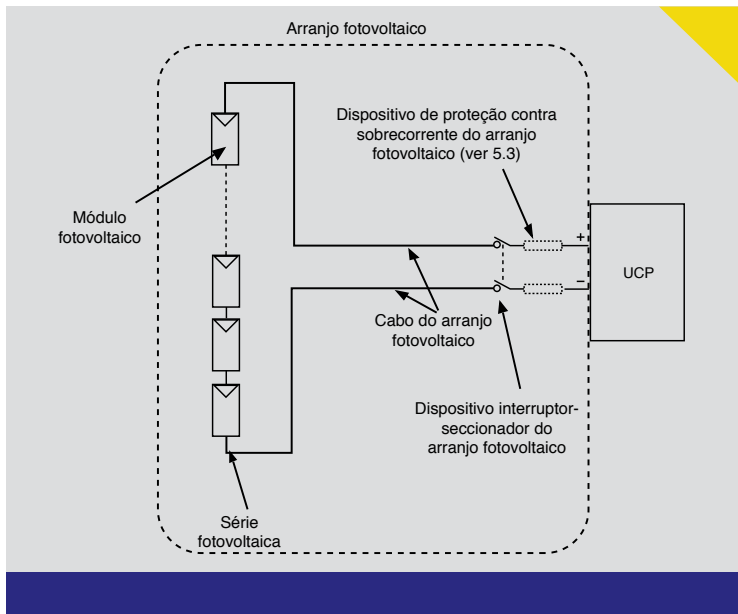


Figura 8 - Esquema de arranjo fotovoltaico com apenas uma série fotovoltaica com proteção contra sobrecorrente

Para um arranjo fotovoltaico com apenas uma série fotovoltaica com proteção contra sobrecorrente (Figura 8), a corrente de projeto é:

$$I_B = I_N$$

Onde:

I_N é a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente da série fotovoltaica.

Exemplo: seja uma série fotovoltaica com 10 módulos fotovoltaicos, com proteção contra sobrecorrente provida por um dispositivo de corrente nominal $I_N = 20$ A.

A corrente de projeto é calculada por $I_B = I_N = 20,0$ A

c) Subarranjo fotovoltaico sem proteção contra sobrecorrente

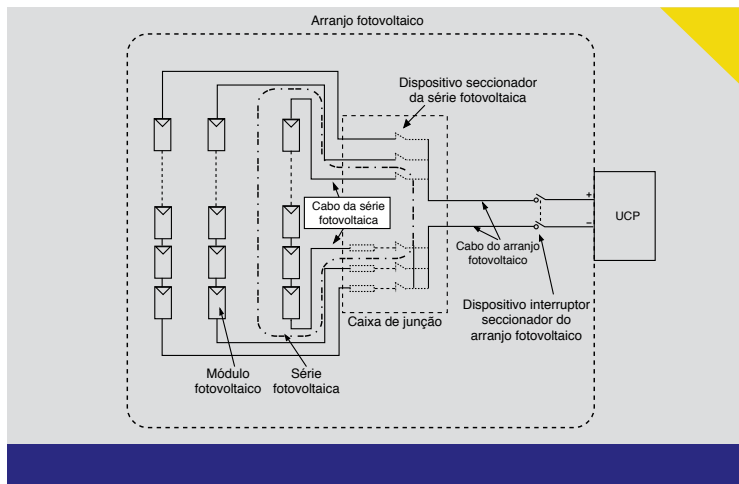


Figura 9 - Esquema de subarranjo fotovoltaico sem proteção contra sobrecorrente

Para um subarranjo fotovoltaico sem proteção contra sobrecorrente (Figura 9), a corrente de projeto é:

$$I_B = 1,25 \times I_{SC\ S-ARRANJO}$$

Onde:

$I_{SC\ S-ARRANJO}$ é a corrente de curto-circuito de um subarranjo dada pela equação:

$$I_{SC\ S-ARRANJO} = I_{SC\ MOD} \times SSA$$

sendo SSA o número total de séries fotovoltaicas conectadas em paralelo no subarranjo fotovoltaico.

Combinando as duas expressões anteriores, resulta em:

$$I_B = 1,25 \times I_{SC\ MOD} \times SSA$$

Exemplo: seja um subarranjo fotovoltaico sem proteção contra sobrecorrente formado por cinco séries fotovoltaicas, com 10 módulos fotovoltaicos em cada série. Cada módulo tem uma corrente de curto-circuito $I_{SC\ MOD} = 9,5\ A$.

A corrente de projeto é calculada por $I_B = 1,25 \times I_{SC\ MOD} \times SSA = 1,25 \cdot 9,5 \cdot 5 = 59,4\ A$

d) Subarranjo fotovoltaico com proteção contra sobrecorrente

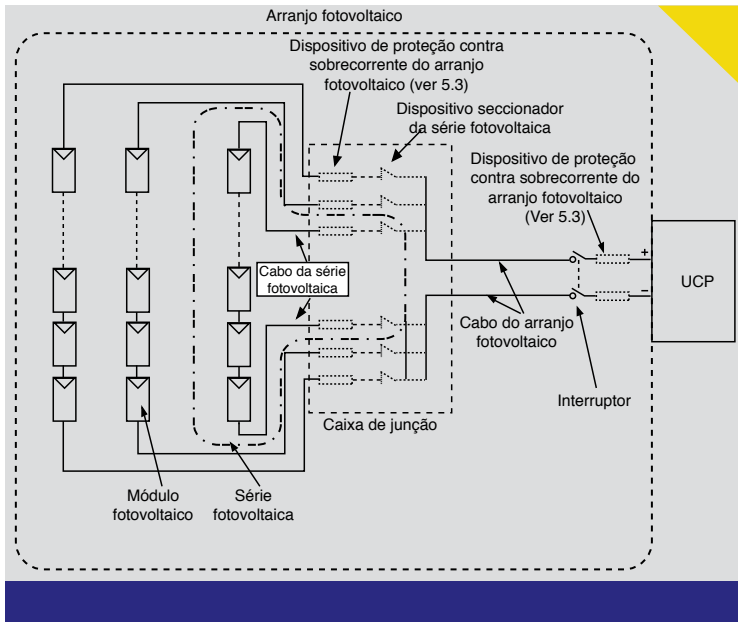


Figura 10 - Esquema de subarranjo fotovoltaico com proteção contra sobrecorrente

Para um subarranjo fotovoltaico com proteção contra sobrecorrente (Figura 10), a corrente de projeto é:

$$I_B = I_N$$

Onde:

I_N é a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente do subarranjo fotovoltaico.

Exemplo: seja um subarranjo fotovoltaico formado por cinco séries fotovoltaicas, com 10 módulos fotovoltaicos em cada série, com proteção contra sobrecorrente do subarranjo provida por um dispositivo de corrente nominal $I_N = 100$ A.

A corrente de projeto é calculada por $I_B = I_N = 100,0$ A

e) Arranjo fotovoltaico sem proteção contra sobrecorrente

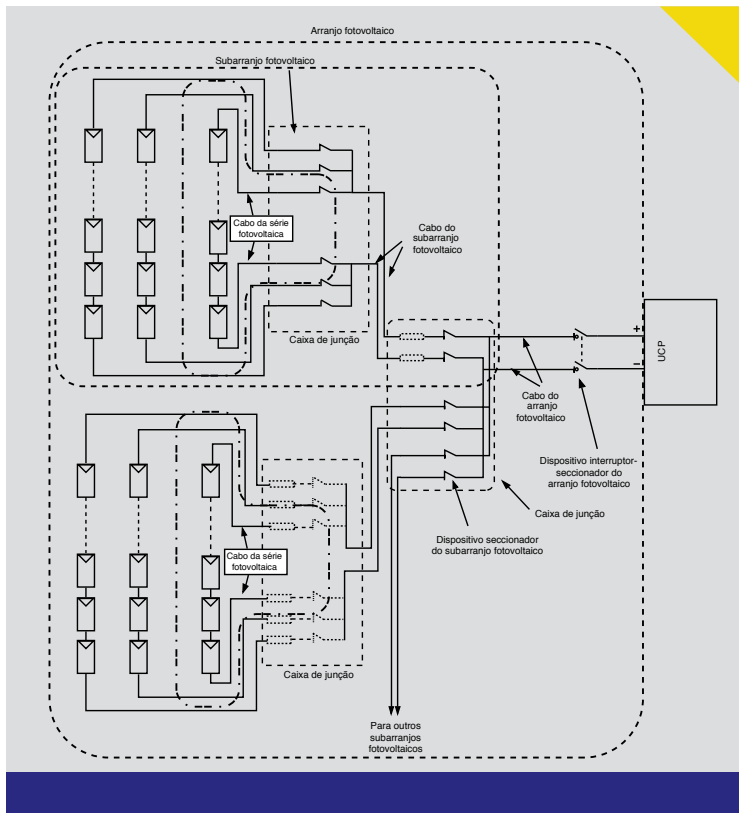


Figura 11 - Esquema de arranjo fotovoltaico sem proteção contra sobrecorrente

Para um arranjo fotovoltaico sem proteção contra sobrecorrente (Figura 11), a corrente de projeto é:

$$I_B = 1,25 \times I_{SC \text{ ARRANJO}}$$

Onde:

$I_{SC \text{ ARRANJO}}$ é a corrente de curto-circuito do arranjo fotovoltaico,

dada pela equação a seguir:

$$I_{SC\ ARRANJO} = I_{SC\ MOD} \times SA$$

Sendo SA o número total de séries fotovoltaicas conectadas em paralelo no arranjo fotovoltaico.

Combinando as duas expressões anteriores, resulta em:

$$I_B = 1,25 \times I_{SC\ MOD} \times SA$$

Exemplo: seja um arranjo fotovoltaico sem proteção contra sobrecorrente formado por cinco subarranjos, sendo cada um formado por cinco séries fotovoltaicas, com 10 módulos fotovoltaicos em cada série. Cada módulo tem uma corrente de curto-circuito $I_{SC\ MOD} = 9,5$ A.

A corrente de projeto é calculada por $I_B = 1,25 \times I_{SC\ MOD} \times SA = 1,25 \cdot 9,5 \cdot 5 \cdot 5 = 297,0$ A

f) Arranjo fotovoltaico com proteção contra sobrecorrente

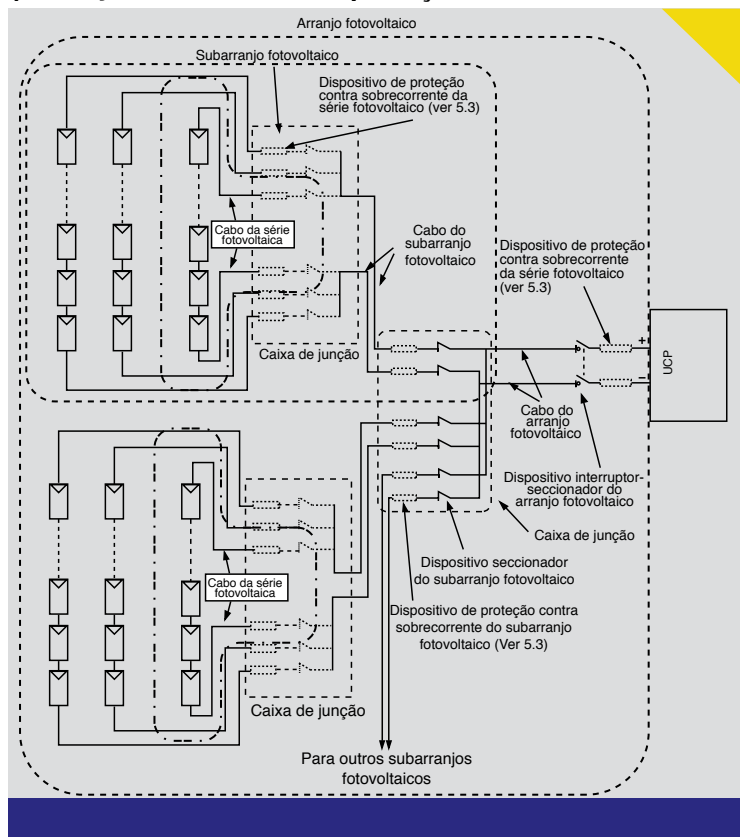


Figura 12 - Esquema de arranjo fotovoltaico com proteção contra sobrecorrente

Para um arranjo fotovoltaico com proteção contra sobrecorrente (Figura 12), a corrente de projeto é:

$$I_B = I_N$$

Onde:

I_N é a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente do arranjo fotovoltaico.

Exemplo: seja um arranjo fotovoltaico formado por cinco subarranjos, sendo cada um formado por cinco séries

fotovoltaicas, com 10 módulos fotovoltaicos em cada série, com proteção contra sobrecorrente do arranjo provida por um dispositivo de corrente nominal $I_N = 200$ A.

A corrente de projeto é calculada por $I_B = I_N = 200,0$ A

6.2 Capacidade de condução de corrente dos cabos

Os cabos do arranjo fotovoltaico que operam em corrente alternada devem tomar como referência a mínima capacidade de corrente dos circuitos, conforme indicado no item 6.1 anterior, e a capacidade de condução de corrente dos condutores, conforme especificado na ABNT NBR 5410. Ver detalhes sobre este tema no livro sobre cabos elétricos da IFC/COBRECUM^[8].

Para o cálculo da seção nominal dos cabos fotovoltaicos que operam em corrente contínua é preciso determinar a corrente de projeto (item 6.1 anterior), definir o método de instalação, a temperatura operacional para os condutores e então utilizar uma das tabelas de capacidade de condução de corrente da norma dos cabos fotovoltaicos ABNT NBR 16612.

Deve ser considerado que a temperatura de operação de módulos fotovoltaicos e, conseqüentemente, a dos condutores associados, pode ser significativamente mais elevada do que a temperatura ambiente. A norma de instalação indica que, para os condutores instalados perto ou em contato com os módulos fotovoltaicos, deve ser considerada uma temperatura operacional mínima igual à temperatura ambiente máxima esperada acrescida de 40 °C. Por exemplo, se a temperatura ambiente máxima for considerada igual a 30 °C, então a temperatura operacional mínima para os condutores deve ser igual a 70 °C (30 + 40).

O critério de cálculo da capacidade de condução de corrente e as tabelas da ABNT NBR 16612 foram calculados para as seguintes condições básicas indicadas a seguir em cada caso.

Em caso de agrupamento de circuitos, devem ser utilizados os fatores de agrupamento dados na ABNT NBR 5410.

Cabo instalado ao ar livre

1. Dois cabos unipolares encostados um ao outro, na horizontal.
2. Dois cabos unipolares encostados um ao outro, na vertical.
3. Dois cabos unipolares espaçados de, pelo menos, 0,75 x diâmetro externo, na horizontal.
4. Dois cabos unipolares espaçados de, pelo menos, um diâmetro externo, na vertical.

Todos os cabos devem estar a uma distância equivalente a, pelo menos, meio diâmetro externo do cabo, de superfícies como uma paredes, tetos, muros e similares. No caso dos cabos expostos ao sol, foi considerada uma intensidade de radiação de 1.000 W/ m².

Tabela C.1 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 20 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

| Seção | Instalação ao Ar Livre Protegida do Sol | | | | Instalação ao Ar Livre Exposta ao Sol | | | |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|
| | Modo de Instalação: | | | | Modo de Instalação: | | | |
| mm² | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,5 | 29 | 28 | 33 | 29 | 26 | 25 | 30 | 26 |
| 2,5 | 39 | 38 | 44 | 39 | 35 | 34 | 41 | 35 |
| 4 | 51 | 51 | 58 | 52 | 46 | 45 | 54 | 46 |
| 6 | 65 | 65 | 74 | 66 | 58 | 57 | 69 | 59 |
| 10 | 91 | 90 | 104 | 93 | 80 | 80 | 95 | 82 |
| 16 | 120 | 120 | 137 | 124 | 106 | 106 | 125 | 110 |
| 25 | 160 | 161 | 182 | 166 | 139 | 140 | 165 | 146 |
| 35 | 199 | 201 | 226 | 208 | 172 | 174 | 205 | 183 |
| 50 | 251 | 254 | 285 | 264 | 215 | 219 | 256 | 231 |
| 70 | 313 | 318 | 356 | 330 | 267 | 273 | 319 | 288 |
| 95 | 376 | 383 | 428 | 399 | 319 | 327 | 382 | 347 |
| 120 | 441 | 450 | 502 | 470 | 373 | 383 | 447 | 408 |
| 150 | 508 | 518 | 577 | 543 | 426 | 440 | 512 | 470 |
| 185 | 580 | 592 | 657 | 621 | 483 | 499 | 580 | 535 |
| 240 | 694 | 710 | 787 | 746 | 575 | 595 | 692 | 641 |
| 300 | 802 | 821 | 910 | 864 | 662 | 685 | 797 | 741 |
| 400 | 965 | 987 | 1093 | 1042 | 790 | 819 | 953 | 890 |

Tabela C.2 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 30 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

| Seção | Instalação ao Ar Livre Protegida do Sol | | | | Instalação ao Ar Livre Exposta ao Sol | | | |
|-----------------|---|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|-----|-----|
| | Modo de Instalação: | | | | Modo de Instalação: | | | |
| mm ² | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,5 | 26 | 26 | 30 | 26 | 23 | 22 | 27 | 23 |
| 2,5 | 35 | 35 | 40 | 35 | 31 | 30 | 36 | 31 |
| 4 | 47 | 46 | 53 | 47 | 41 | 40 | 48 | 41 |
| 6 | 60 | 59 | 68 | 60 | 51 | 51 | 61 | 52 |
| 10 | 83 | 82 | 95 | 84 | 71 | 71 | 85 | 73 |
| 16 | 110 | 110 | 125 | 113 | 93 | 93 | 112 | 97 |
| 25 | 146 | 147 | 166 | 151 | 123 | 124 | 147 | 129 |
| 35 | 181 | 183 | 207 | 189 | 151 | 153 | 182 | 161 |
| 50 | 229 | 232 | 260 | 240 | 189 | 193 | 228 | 204 |
| 70 | 285 | 290 | 325 | 301 | 234 | 239 | 283 | 254 |
| 95 | 343 | 349 | 390 | 364 | 279 | 287 | 339 | 306 |
| 120 | 402 | 410 | 458 | 428 | 325 | 335 | 396 | 359 |
| 150 | 463 | 473 | 527 | 495 | 371 | 384 | 453 | 413 |
| 185 | 528 | 540 | 600 | 566 | 420 | 435 | 513 | 470 |
| 240 | 633 | 647 | 719 | 681 | 499 | 518 | 612 | 563 |
| 300 | 732 | 749 | 831 | 789 | 573 | 596 | 705 | 650 |
| 400 | 880 | 901 | 998 | 952 | 682 | 710 | 842 | 780 |

Tabela C.3 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 40 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

| Seção | Instalação ao Ar Livre Protegida do Sol | | | | Instalação ao Ar Livre Exposta ao Sol | | | |
|-----------------|---|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|-----|-----|
| | Modo de Instalação: | | | | Modo de Instalação: | | | |
| mm ² | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,5 | 24 | 23 | 27 | 23 | 20 | 19 | 24 | 20 |
| 2,5 | 32 | 31 | 36 | 32 | 26 | 26 | 32 | 26 |
| 4 | 42 | 41 | 48 | 42 | 35 | 34 | 42 | 35 |
| 6 | 53 | 53 | 61 | 54 | 44 | 43 | 53 | 45 |
| 10 | 74 | 74 | 85 | 76 | 61 | 60 | 74 | 62 |
| 16 | 98 | 98 | 112 | 101 | 79 | 79 | 97 | 83 |
| 25 | 131 | 131 | 149 | 136 | 104 | 105 | 127 | 110 |
| 35 | 163 | 164 | 185 | 170 | 128 | 130 | 157 | 137 |
| 50 | 205 | 208 | 233 | 215 | 159 | 163 | 197 | 173 |
| 70 | 255 | 259 | 291 | 270 | 196 | 201 | 244 | 216 |
| 95 | 307 | 313 | 350 | 326 | 233 | 241 | 291 | 259 |
| 120 | 360 | 367 | 411 | 384 | 271 | 281 | 340 | 304 |
| 150 | 415 | 424 | 473 | 444 | 308 | 321 | 388 | 349 |
| 185 | 474 | 484 | 539 | 508 | 347 | 363 | 439 | 397 |
| 240 | 568 | 581 | 645 | 611 | 411 | 431 | 523 | 475 |
| 300 | 656 | 671 | 746 | 708 | 471 | 494 | 601 | 547 |
| 400 | 790 | 808 | 897 | 854 | 558 | 586 | 716 | 656 |

Tabela C.4 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 50 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

| Seção | Instalação ao Ar Livre Protegida do Sol | | | | Instalação ao Ar Livre Exposta ao Sol | | | |
|-----------------|---|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|-----|-----|
| | Modo de Instalação: | | | | Modo de Instalação: | | | |
| mm ² | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,5 | 21 | 20 | 23 | 20 | 16 | 16 | 20 | 16 |
| 2,5 | 28 | 27 | 32 | 28 | 22 | 21 | 27 | 21 |
| 4 | 37 | 36 | 42 | 37 | 28 | 27 | 35 | 28 |
| 6 | 47 | 46 | 53 | 47 | 36 | 35 | 44 | 36 |
| 10 | 65 | 64 | 74 | 66 | 49 | 48 | 61 | 50 |
| 16 | 86 | 86 | 98 | 88 | 63 | 63 | 80 | 67 |
| 25 | 114 | 115 | 130 | 118 | 82 | 83 | 105 | 88 |
| 35 | 142 | 143 | 162 | 148 | 100 | 102 | 129 | 109 |
| 50 | 179 | 181 | 204 | 188 | 123 | 127 | 160 | 137 |
| 70 | 223 | 227 | 255 | 236 | 151 | 156 | 198 | 171 |
| 95 | 268 | 273 | 307 | 285 | 178 | 186 | 236 | 205 |
| 120 | 315 | 321 | 360 | 336 | 205 | 216 | 274 | 239 |
| 150 | 363 | 371 | 414 | 389 | 232 | 245 | 313 | 274 |
| 185 | 414 | 424 | 472 | 445 | 259 | 275 | 352 | 310 |
| 240 | 497 | 508 | 565 | 535 | 303 | 324 | 418 | 370 |
| 300 | 574 | 588 | 654 | 620 | 344 | 369 | 479 | 425 |
| 400 | 691 | 708 | 786 | 749 | 402 | 433 | 568 | 506 |

Tabela C.5 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 60 °C e Temperatura no condutor de 120 °C por um período máximo de 20.000 h

| Seção | Instalação ao Ar Livre Protegida do Sol | | | | Instalação ao Ar Livre Exposta ao Sol | | | |
|-----------------|---|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|-----|-----|
| | Modo de Instalação: | | | | Modo de Instalação: | | | |
| mm ² | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,5 | 25 | 25 | 28 | 25 | 22 | 21 | 26 | 22 |
| 2,5 | 34 | 33 | 38 | 34 | 29 | 29 | 35 | 29 |
| 4 | 45 | 44 | 51 | 45 | 39 | 38 | 46 | 39 |
| 6 | 57 | 56 | 65 | 58 | 49 | 49 | 59 | 50 |
| 10 | 79 | 79 | 90 | 81 | 68 | 67 | 81 | 70 |
| 16 | 105 | 105 | 120 | 108 | 89 | 89 | 107 | 93 |
| 25 | 140 | 140 | 159 | 145 | 117 | 118 | 141 | 124 |
| 35 | 174 | 175 | 198 | 181 | 145 | 147 | 174 | 154 |
| 50 | 219 | 222 | 249 | 230 | 181 | 184 | 218 | 195 |
| 70 | 273 | 277 | 311 | 288 | 224 | 229 | 271 | 243 |
| 95 | 328 | 334 | 374 | 348 | 267 | 274 | 324 | 293 |
| 120 | 385 | 392 | 438 | 410 | 311 | 321 | 379 | 343 |
| 150 | 443 | 452 | 504 | 474 | 355 | 367 | 434 | 395 |
| 185 | 506 | 516 | 574 | 542 | 402 | 416 | 491 | 450 |
| 240 | 606 | 619 | 688 | 651 | 477 | 496 | 586 | 539 |
| 300 | 700 | 716 | 795 | 755 | 548 | 570 | 674 | 622 |
| 400 | 842 | 862 | 955 | 910 | 652 | 680 | 805 | 746 |

Cabo diretamente enterrado

Dois cabos em paralelo enterrados na profundidade indicada.
Resistividade térmica do terreno igual a 2,5 K.m/W.

Tabela C.6 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 20 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

| Seção | Profundidade | | | | | |
|-----------------|--|------|------|------|------|-----|
| | 0,5m | 0,6m | 0,7m | 0,8m | 0,9m | 1m |
| mm ² | Capacidade de Condução de Corrente (A) | | | | | |
| 1,5 | 35 | 35 | 35 | 34 | 34 | 34 |
| 2,5 | 47 | 46 | 46 | 45 | 45 | 45 |
| 4 | 61 | 60 | 60 | 59 | 59 | 58 |
| 6 | 76 | 75 | 74 | 74 | 73 | 73 |
| 10 | 103 | 102 | 101 | 100 | 99 | 98 |
| 16 | 132 | 131 | 129 | 128 | 127 | 126 |
| 25 | 169 | 166 | 164 | 163 | 161 | 160 |
| 35 | 204 | 201 | 198 | 196 | 194 | 193 |
| 50 | 249 | 245 | 242 | 239 | 237 | 235 |
| 70 | 302 | 297 | 293 | 290 | 287 | 284 |
| 95 | 353 | 347 | 342 | 338 | 335 | 332 |
| 120 | 315 | 321 | 360 | 336 | 205 | 216 |
| 405 | 398 | 392 | 388 | 384 | 380 | 245 |
| 150 | 456 | 448 | 442 | 436 | 432 | 428 |
| 185 | 509 | 500 | 493 | 487 | 481 | 477 |
| 240 | 595 | 584 | 575 | 568 | 561 | 556 |
| 300 | 674 | 661 | 650 | 642 | 635 | 628 |
| 400 | 788 | 772 | 760 | 750 | 741 | 733 |

Tabela C.7 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 30 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

| Seção | Profundidade | | | | | |
|-----------------|--|------|------|------|------|-----|
| | 0,5m | 0,6m | 0,7m | 0,8m | 0,9m | 1m |
| mm ² | Capacidade de Condução de Corrente (A) | | | | | |
| 1,5 | 33 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 |
| 2,5 | 43 | 43 | 42 | 42 | 42 | 41 |
| 4 | 56 | 56 | 55 | 55 | 54 | 54 |
| 6 | 71 | 70 | 69 | 68 | 68 | 67 |
| 10 | 96 | 94 | 93 | 92 | 92 | 91 |
| 16 | 123 | 121 | 120 | 118 | 117 | 116 |
| 25 | 156 | 154 | 152 | 150 | 149 | 148 |
| 35 | 189 | 186 | 184 | 182 | 180 | 179 |
| 50 | 230 | 227 | 224 | 221 | 219 | 218 |
| 70 | 280 | 275 | 271 | 268 | 266 | 263 |
| 95 | 327 | 321 | 317 | 313 | 310 | 307 |
| 120 | 315 | 321 | 360 | 336 | 205 | 216 |
| 375 | 369 | 363 | 359 | 355 | 352 | 245 |
| 150 | 422 | 415 | 409 | 404 | 400 | 396 |
| 185 | 471 | 463 | 456 | 450 | 446 | 441 |
| 240 | 551 | 541 | 532 | 525 | 520 | 515 |
| 300 | 624 | 612 | 602 | 594 | 588 | 582 |
| 400 | 729 | 715 | 703 | 694 | 686 | 679 |

Tabela C.8 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 40 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

| Seção | Profundidade | | | | | |
|-----------------|--|------|------|------|------|-----|
| | 0,5m | 0,6m | 0,7m | 0,8m | 0,9m | 1m |
| mm ² | Capacidade de Condução de Corrente (A) | | | | | |
| 1,5 | 30 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 2,5 | 39 | 39 | 39 | 38 | 38 | 38 |
| 4 | 51 | 51 | 50 | 50 | 50 | 49 |
| 6 | 64 | 64 | 63 | 62 | 62 | 61 |
| 10 | 87 | 86 | 85 | 84 | 84 | 83 |
| 16 | 112 | 110 | 109 | 108 | 107 | 106 |
| 25 | 143 | 140 | 139 | 137 | 136 | 135 |
| 35 | 172 | 170 | 168 | 166 | 164 | 163 |
| 50 | 210 | 207 | 204 | 202 | 200 | 199 |
| 70 | 255 | 251 | 248 | 245 | 242 | 240 |
| 95 | 298 | 293 | 289 | 286 | 283 | 281 |
| 120 | 315 | 321 | 360 | 336 | 205 | 216 |
| 342 | 336 | 332 | 328 | 324 | 321 | 245 |
| 150 | 386 | 379 | 373 | 369 | 365 | 361 |
| 185 | 430 | 423 | 416 | 411 | 407 | 403 |
| 240 | 503 | 493 | 486 | 480 | 474 | 470 |
| 300 | 569 | 558 | 550 | 543 | 536 | 531 |
| 400 | 666 | 653 | 642 | 633 | 626 | 620 |

Cabo em eletroduto diretamente enterrado

Dois cabos em paralelo em um eletroduto enterrado na profundidade de 1,0 m. Resistividade térmica do terreno igual a 2,5 K.m/W, resistividade térmica do eletroduto igual a 6,0 K.m/W.

Tabela C.9 – Capacidade de condução de corrente para temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

| Seção mm ² | Capacidade de Condução de Corrente (A) | | |
|--------------------------|--|-------|-------|
| | 20 °C | 30 °C | 40 °C |
| 1,5 | 21 | 20 | 18 |
| 2,5 | 28 | 26 | 23 |
| 4 | 36 | 33 | 30 |
| 6 | 44 | 41 | 37 |
| 10 | 60 | 56 | 51 |
| 16 | 77 | 71 | 65 |
| 25 | 98 | 91 | 83 |
| 35 | 120 | 111 | 102 |
| 50 | 145 | 135 | 123 |
| 70 | 179 | 166 | 152 |
| 95 | 209 | 194 | 177 |
| 120 | 241 | 224 | 205 |
| 150 | 278 | 258 | 236 |
| 185 | 310 | 287 | 263 |
| 240 | 367 | 341 | 311 |
| 300 | 414 | 384 | 351 |
| 400 | 485 | 449 | 411 |

Cabos em eletroduto não metálico em parede

Dois cabos em paralelo em eletroduto não metálico embutido em parede

Tabela C.10 – Capacidade de condução de corrente para, temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

| Seção mm ² | Capacidade de Condução de Corrente (A) | | |
|--------------------------|--|-------|-------|
| | 20 °C | 30 °C | 40 °C |
| 1,5 | 25 | 22 | 19 |
| 2,5 | 32 | 29 | 24 |
| 4 | 42 | 37 | 32 |
| 6 | 52 | 46 | 39 |
| 10 | 73 | 64 | 55 |
| 16 | 93 | 83 | 71 |
| 25 | 121 | 107 | 92 |
| 35 | 150 | 133 | 114 |
| 50 | 184 | 163 | 140 |

6.3 Queda de tensão nos cabos

A norma ABNT NBR 16690 recomenda que, sob condições de carga máxima, queda de tensão verificada não seja superior a 3% da tensão do arranjo fotovoltaico em seu ponto de máxima potência.

A seção nominal de um cabo fotovoltaico pelo critério da queda de tensão pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$S = L \cdot I_B / \sigma \cdot e$$

Onde:

S: seção nominal do condutor (mm²)

L: comprimento total de cabos (positivo + negativo) (m)

I_B: corrente de projeto (A), calculada conforme item 6.1 anterior

σ: condutividade do cobre = 44 m/Ω.mm² (a 90 °C, que é a hipótese mais desfavorável a considerar para regime permanente)

e: queda de tensão máxima (V)



***7. EJEMPLOS DE
DIMENSIONAMIENTO
DE CABLES ELÉCTRICOS
FOTOVOLTAICOS***

Seja o arranjo fotovoltaico indicado na Figura 13 com as seguintes características:

- Cada módulo fotovoltaico:
 - Potência máxima: 330 Wp
 - Corrente no ponto de máxima potência: $I_p = 8,9 \text{ A}$
 - Tensão no ponto de máxima potência: $U_p = 37,2 \text{ V}$
 - Corrente de curto-circuito: $I_{SC \text{ MOD}} = 9,5 \text{ A}$
 - Número de módulos fotovoltaicos em série = 10
 - Número de séries no arranjo: 2
 - Potência de pico total da instalação: $10 \times 2 \times 330 \text{ Wp} = 6,6 \text{ kWp}$
- Instalação sem proteção contra sobrecorrente
 - Temperatura ambiente máxima = $30 \text{ }^\circ\text{C}$
 - SSA = 2 (2 séries fotovoltaicas)

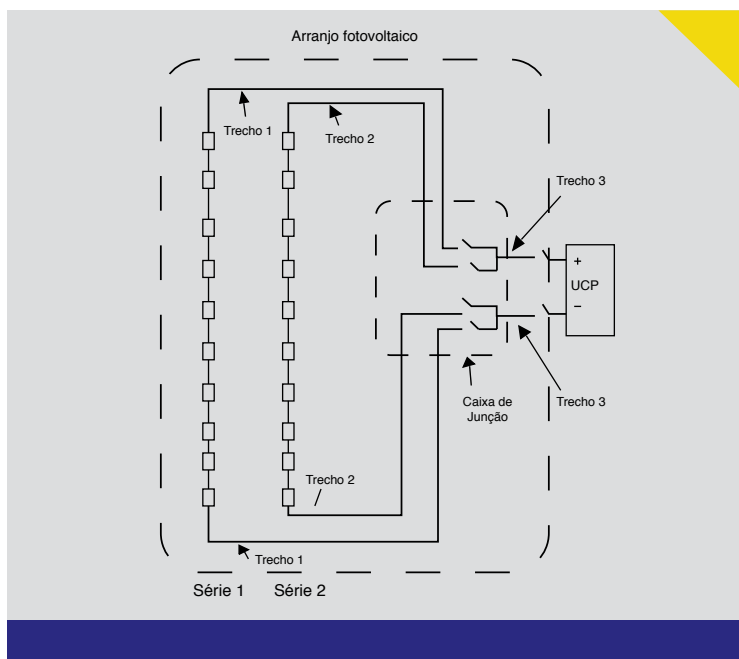


Figura 13

a) Dimensionamento dos cabos fotovoltaicos dos trechos 1 e 2 (cabos que interligam os módulos entre si e até a caixa de junção)

Conforme a Figura 13, os módulos estão ligados em série e, portanto, conforme item 6.1.c anterior:

$$I_{B1} = I_{B2} = 1,25 \times I_{SC \text{ S-ARRANJO}} = 1,25 \times I_{SC \text{ MOD}} \times SSA = 1,25 \times 9,5 \times 2 = 23,8 \text{ A}$$

O método de instalação escolhido para esta ligação é A.1 (Cabo instalado ao ar livre: Modo 1 - dois cabos unipolares encostados um ao outro, na horizontal). Instalação ao ar livre exposta ao Sol.

Critério da capacidade de corrente

Conforme a recomendação da ABNT NBR 16690, deve ser considerado para o dimensionamento dos cabos um valor de 40 °C acima da máxima temperatura ambiente. Assim, para este exemplo, obtém-se, então, 30 °C + 40 °C = 70 °C. Ocorre que a máxima temperatura ambiente nas tabelas anteriores é 60 °C (tabela C.5), sendo que, neste caso, a temperatura no condutor é 120 °C por 20.000 horas, o que representa, de certa forma, uma sobrecarga controlada (autorizada) pela norma, na medida em que a temperatura normal de operação dos cabos é 90 °C. Desta forma, neste exemplo será utilizada a tabela C.4, que embora seja para temperatura ambiente de 50 °C, tem como temperatura no condutor 90 °C, o que implica em valores mais restritos de capacidade de corrente admissível do que a tabela C.5, o que leva o dimensionamento mais a favor da segurança e da preservação da vida útil do cabo.

Conforme Tabela C.4 anterior, para $I_{B1} = I_{B2} = 23,8 \text{ A}$, Instalação exposta ao Sol, Modo de Instalação 1, a seção nominal do cabo é 2,5 mm².

Critério da queda de tensão:

Admitindo-se uma queda de tensão máxima de 2 % nos trechos 1 e 2, tem-se:

$$S = L \cdot I_B / \sigma \cdot e$$

$$U_{\text{Ptotal}} = 10 \text{ módulos} \times 37,2 \text{ V por módulo} = 372 \text{ V}$$

$$L1 = L2 = 25 \text{ m} + 25 \text{ m (positivo + negativo)} = 50 \text{ m}$$

$$I_{B1} = I_{B2} = 23,8 \text{ A}$$

$$\sigma = 44 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$$

$$e = 0,02 (2 \%) \cdot 372 \text{ V} = 7,44 \text{ V}$$

Então:

$$S = 50 \cdot 23,8 / 44 \cdot 7,44 = 3,6 \text{ mm}^2$$

A seção nominal padronizada mais próxima superior a 3,6 mm² é 4 mm².

Seção final do cabo fotovoltaico:

Deve-se escolher a maior entre as seções calculadas e, portanto, a seção nominal do cabo fotovoltaico que interliga os módulos entre si e até a caixa de junção (trecho 1 e trecho 2) é 4 mm² (critério de queda de tensão).

Dimensionamento dos cabos fotovoltaicos do trecho 3 (cabos da caixa de junção até o inversor)

Conforme Figura 13, a corrente de projeto no trecho entre a caixa de junção e o inversor é a soma das correntes de cada

série de módulos e a tensão máxima é a mesma de cada conjunto. Portanto:

$$I_{B3} = I_{B1} + I_{B2} = 23,8 + 23,8 = 47,6 \text{ A}$$

$$U_{\text{Ptotal}} = 372 \text{ V}$$

O método de instalação escolhido para esta ligação é A.3 (Cabo em eletroduto diretamente enterrado). Temperatura do solo máxima: 30 °C

Critério da capacidade de corrente:

Conforme Tabela C.9, para $I_{B3} = 47,6 \text{ A}$, temperatura 30 °C, a seção nominal do cabo é 10 mm².

Critério da queda de tensão:

Admitindo-se uma queda de tensão máxima de 1% no trecho 3, tem-se:

$$S = L \cdot I_B / \sigma \cdot e$$

$$L = 20 \text{ m} + 20 \text{ m (positivo + negativo)} = 40 \text{ m}$$

$$I_{B3} = 47,6 \text{ A}$$

$$\sigma = 44 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$$

$$e = 0,01 (1\%) \cdot 372 \text{ V} = 3,72 \text{ V}$$

Então:

$$S = 40 \cdot 47,6 / 44 \cdot 3,72 = 11,6 \text{ mm}^2$$

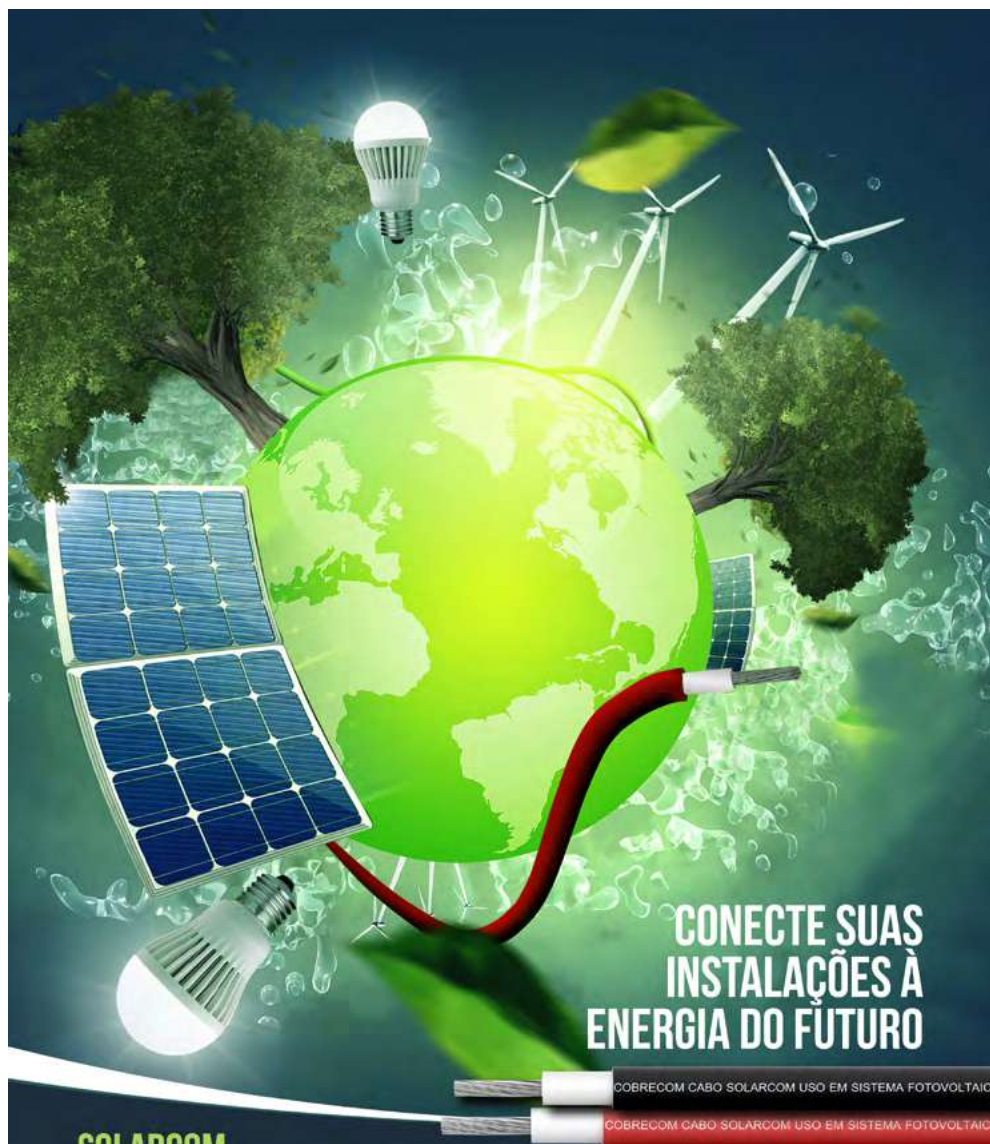
A seção nominal padronizada mais próxima do resultado obtido é 16 mm².

Seção final do cabo fotovoltaico:

Deve-se escolher a maior entre as seções calculadas e, portanto, a seção nominal do cabo fotovoltaico entre a caixa de junção e o inversor é 16 mm^2 (critério de queda de tensão).

Dimensionamento dos cabos que saem do inversor

Estes cabos operam em corrente alternada em baixa tensão e, portanto, devem ser dimensionados conforme os critérios da ABNT NBR 5410.



CONECTE SUAS INSTALAÇÕES À ENERGIA DO FUTURO

SOLARCOM

O CABO ECOLOGICAMENTE CORRETO DA COBRECUM

Agora você conta com uma nova opção de cabo solar fotovoltaico com isolamento resistente aos raios UV.

O cabo Solarcom foi criado e testado a partir dos mais criteriosos padrões internacionais para transmitir energia limpa das placas solares com segurança e qualidade. **Disponível nas cores vermelho, preto e verde/amarelo. Confira nos melhores revendedores.**

www.cobrecom.com.br

cobrecom
QUALIDADE, SEGURANÇA E TECNOLOGIA EM SUA INSTALAÇÃO

CABO SOLARCOM 0,6/1kV (CA) ou 1,8kV (CC)

Descrição: Cabo para tensões nominais de 0,6/1kV (CA) e até 1,8kV (CC) formado por fios de cobre eletrolítico e estanhado com encordoamento Classe 5 (flexível), com isolamento e cobertura em composto poliolefinico termofixo de alta estabilidade térmica, com temperatura de serviço de -15 °C a 90 °C, com a máxima temperatura de operação para 120 °C por 20.000h e de fácil instalação pela sua maleabilidade e baixo raio de curvatura.

Algumas características do composto poliolefinico aplicado:

- Livre de halogênio;
- Alta resistência aos raios UV;
- Resistência ao ozônio;
- Antichama;
- Baixa emissão de fumaça e gases;
- Resistente aos óleos minerais, ácido, álcalis e amônia;
- Ótima resistência mecânica.

Norma básicas aplicáveis:

Requisitos do produto - NBR 16612 - Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenado, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.
 Formação do condutor e Resistência elétrica - NBR NM-280 - Condutores de cabos isolados.

Aplicação: para uso em instalações fixas cujo produto interliga os módulos fotovoltaicos ao string box, control box e painéis de serviço aos inversores. Cabos de alta segurança que não propagam fogo, com baixa emissão de fumaça e livres de halogênios. Adequado para instalações interiores e exteriores.

Cores: Isolação - Branco ou Natural **Cobertura:** Vermelho, Preto e Verde/Amarelo
Especiais: outras cores por consulta.

Acondicionamento: Em rolos com 100 metros, bobinas de madeira com 500 metros ou lances específicos sob consulta

CABO SOLARCOM 0,6/1kV (CA) ou 1,8 kV (CC)

| SEÇÃO NOMINAL mm ² | REFERÊNCIA | CLASSE ENCORD. | DIÂMETRO DO CONDUTOR mm | ESPESSURA | | DIÂMETRO EXTERNO mm | PESO LÍQUIDO kg / 100m | RESISTÊNCIA ELÉTRICA MÁX. Ω/km a 20 °C |
|----------------------------------|------------|----------------|----------------------------|----------------|-----------------|------------------------|---------------------------|---|
| | | | | ISOLAÇÃO mm | COBERTURA mm | | | |
| 1,5 | 281.04 | C5 | 1,5 | 0,70 | 0,80 | 4,5 | 3,0 | 13,70 |
| 2,5 | 281.05 | C5 | 1,9 | 0,70 | 0,80 | 4,9 | 4,1 | 8,21 |
| 4,0 | 281.06 | C5 | 2,4 | 0,70 | 0,80 | 5,4 | 5,6 | 5,09 |
| 6,0 | 281.07 | C5 | 3,0 | 0,70 | 0,80 | 6,0 | 7,4 | 3,39 |
| 10,0 | 281.08 | C5 | 4,0 | 0,70 | 0,80 | 7,0 | 11,8 | 1,95 |
| 16,0 | 281.09 | C5 | 5,0 | 0,70 | 0,90 | 8,2 | 17,7 | 1,24 |
| 25,0 | 281.10 | C5 | 6,2 | 0,90 | 1,00 | 10,0 | 26,8 | 0,795 |
| 35,0 | 281.11 | C5 | 7,4 | 0,90 | 1,10 | 11,4 | 36,9 | 0,565 |
| 50,0 | 281.12 | C5 | 8,9 | 1,00 | 1,20 | 13,3 | 52,0 | 0,393 |
| 70,0 | 281.13 | C5 | 10,4 | 1,10 | 1,20 | 15,0 | 70,2 | 0,277 |
| 95,0 | 281.14 | C5 | 12,1 | 1,10 | 1,30 | 16,9 | 93,0 | 0,210 |
| 120,0 | 281.15 | C5 | 13,6 | 1,20 | 1,30 | 18,6 | 115,0 | 0,164 |
| 150,0 | 281.16 | C5 | 15,3 | 1,40 | 1,40 | 20,9 | 144,5 | 0,132 |
| 185,0 | 281.17 | C5 | 16,8 | 1,60 | 1,60 | 23,2 | 176,5 | 0,108 |
| 240,0 | 281.18 | C5 | 19,3 | 1,70 | 1,70 | 26,1 | 230,6 | 0,0817 |
| 300,0 | 281.19 | C5 | 21,8 | 1,80 | 1,80 | 29,0 | 291,0 | 0,0654 |
| 400,0 | 281.21 | C5 | 25,2 | 2,00 | 2,00 | 33,2 | 385,0 | 0,0495 |

C = Classe / Pesos e dimensões nominais

8. BIBLIOGRAFIA

[1] ABNT. ABNT NBR 16612 - Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores — Requisitos de desempenho.

[2] ABNT. ABNT NBR 16690 - Instalações elétricas de baixa tensão – Arranjos fotovoltaicos.

[3] ABNT. ABNT NBR NM 280 - Condutores de cabos isolados (IEC 60228, MOD).

[4] ABNT. ABNT NBR 6251 - Cabos de potência com isolamento extrudada para tensões de 1 kV a 35 kV - Requisitos construtivos.

[5] ABNT. ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão.

[6] ABNT. ABNT NBR 7286 - Cabos de potência com isolamento extrudada de borracha etilenopropileno (EPR, HEPR ou EPR 105) para tensões de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho
ABNT. ABNT NBR 7287 - Cabos de potência com isolamento extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de 1 kV a 35 kV — Requisitos de desempenho

[7] ABNT. ABNT NBR 16274 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho.

[8] Moreno, Hilton. Cabos elétricos de baixa tensão conforme a NBR 5410. IFC/COBRECOM, 2017.



ITU/SP



TRÊS LAGOAS/MS

cobrecom

www.cobrecom.com.br
Fale Conosco: (11) 2118-3200
f/cobrecom

UNIDADE ITU/SP
Av. Primo Schincariol, 670
Jardim Oliveira
Itu/SP - CEP 13312-250

UNIDADE TRÊS LAGOAS/MS
Av. Dois, esquina com a Av. Cinco s/n
Distrito Industrial
Três Lagoas/MS - CEP 79601-970