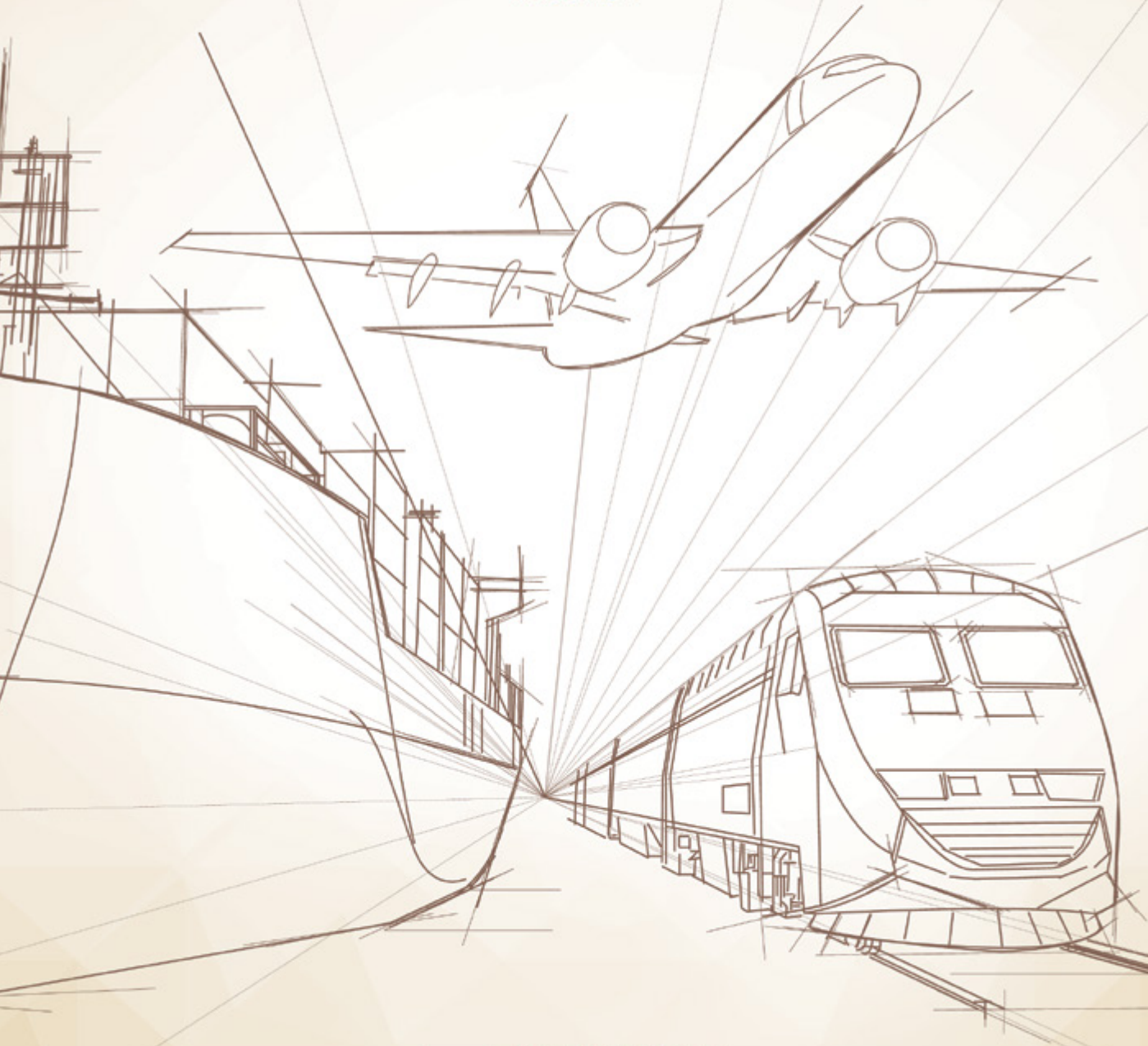
GUIA DE APLICAÇÃO PARA CABOS ELÉTRICOS COM CONDUTORES EM COBRE

INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

VOLUME I



International Copper Association Brazil
Copper Alliance

GUIA DE APLICAÇÃO PARA CABOS
ELÉTRICOS COM CONDUTORES EM COBRE

INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

VOLUME I

International Copper
Association Brazil
Copper Alliance

Esclarecimentos

O presente documento foi redigido meramente para fins de informação e debate. As informações aqui presentes não devem ser consideradas e aplicadas a todas as circunstâncias, em virtude das características específicas de cada tipo de instalação e projeto. O ICA/Procobre e qualquer outra instituição que participou de sua elaboração não se responsabilizarão por qualquer dano ou prejuízo causado pelo uso das informações aqui contidas, uma vez que este documento não dispensa a consulta às normas ABNT NBR da Associação Brasileira de Normas Técnicas, outras fontes normativas aplicáveis e o estudo da instalação ou projeto específico.

INTRODUÇÃO

O “Guia de Aplicação para Cabos Elétricos com Condutores em Cobre” foi elaborado para fornecer ao leitor os principais conceitos teóricos referentes às diversas partes que compõem um cabo elétrico e sua aplicabilidade em cada segmento de mercado.

O Guia será composto por diversos volumes. Nesse primeiro volume será abordado o setor de Infraestrutura de Transporte, com foco nos segmentos portuário, aeroportuário e metro ferroviário, de modo a elencar os desafios encontrados para determinar o cabo elétrico correto a ser utilizado.

O texto procura introduzir novas e relevantes visões sobre o tema, utilizando como critérios, além do dimensionamento técnico de cabos elétricos, também a eficiência energética e conceitos ambientalmente sustentáveis.

A elaboração do “Guia de Aplicação para Cabos Elétricos com Condutores em Cobre” contou com o apoio dos fabricantes de cabos elétricos, os quais disponibilizaram seu acervo técnico a respeito de dimensionamento de cabos. Além disso, foram realizadas pesquisas em mídia impressa e eletrônica, e com empresas do setor, permitindo que o presente guia pudesse reunir as informações necessárias para um correto dimensionamento de cabos de cobre.

Este guia foi desenvolvido com base nas Normas ABNT NBR vigentes na data de sua publicação. Portanto, nossos leitores deverão complementar as informações resumidas aqui citadas e se atualizarem com as eventuais futuras revisões das Normas, não tendo este guia a intenção de substituí-las.

Uma vez que o mercado utiliza três denominações diferentes, é necessário esclarecer que os termos “cabo elétrico”, “condutor elétrico”, ou simplesmente “cabo” significam um fio ou cabo, isolado ou não, unipolar (um único condutor isolado) ou multipolar (dois ou mais condutores isolados) utilizado para a condução da energia elétrica.

A título de uniformização de terminologia, neste guia, foi adotada a denominação “cabo elétrico” [1].

Para facilitar a pesquisa bibliográfica, as fontes bibliográficas foram numeradas e a numeração de referência disposta no decorrer do texto da seguinte maneira: [1], [2], etc.

O ICA/Procobre espera que este guia possa facilitar a aplicação dos cabos em cobre. Caso haja necessidade de um aprofundamento das informações, ao final do texto estão disponibilizadas as fontes utilizadas para sua elaboração.

Boa leitura!

Junho de 2016

AGRADECIMENTOS

O ICA/Procobre agradece o apoio das empresas Fabricantes de Cabos e a participação direta ou indireta dos Instaladores e Empresas do setor da Infraestrutura de Transporte para a realização desta publicação.

Apoio:

GENERAL CABLE BRASIL

NEXANS BRASIL S.A.

PRYSMIAN CABOS E SISTEMAS DO BRASIL S.A.

Participação:

CONSTRUTECKMA ENGENHARIA S.A. - TECKMA

FERREIRA LEIRÓZ COMERCIAL LTDA

GTEL – GRUPO TÉCNICO DE ELETROMECÂNICA S.A.

HERSA ENGENHARIA E SERVIÇOS LTDA

INFRAERO – EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ

TEMON TÉCNICA DE MONTAGENS E CONSTRUÇÕES LTDA

SUMÁRIO

1. OBJETIVO.....7

2. INSTITUCIONAL - ICA/PROCOBRE.....7

3. COBRE – CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS.....11

3.1 RESISTIVIDADE ELÉTRICA.....12

3.2 CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....13

3.3 BENEFÍCIOS.....13

4.SUSTENTABILIDADE.....19

4.1 COBRE É ESSENCIAL PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL.....19

4.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....21

4.3 ENERGIA RENOVÁVEL.....23

4.4 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS.....24

4.5 RECICLAGEM.....25

5. SEGMENTO DE MERCADO – INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE.....31

5.1 SISTEMA PORTUÁRIO.....32

5.2 SISTEMA AEROPORTUÁRIO.....33

5.3 SISTEMA METROFERROVIÁRIO.....34

6. DEFINIÇÕES – DADOS CONSTRUTIVOS DO CABO ELÉTRICO.....39

6.1CONDUTOR.....40

6.2 TÊMPERA.....44

6.3 CLASSE DE ENCORDOAMENTO.....44

6.4 BLINDAGEM DO CONDUTOR.....48

6.5 ISOLAÇÃO.....48

6.6 BLINDAGEM DA ISOLAÇÃO....51

6.7 CABOS MULTIPOLARES....52

6.8 ARMAÇÃO....53

6.9 COBERTURA....53

6.10 COMENTÁRIOS PRÁTICOS....56

7. DIMENSIONAMENTO – COMO DIMENSIONAR O CABO....61

7.1. DIMENSIONAMENTO TÉCNICO....61

7.1.1. SEÇÃO NOMINAL MÍNIMA DO CONDUTOR....62

7.1.2. CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE....65

7.1.3. LIMITES DE QUEDA DE TENSÃO....70

7.1.4. FATOR DE CORREÇÃO PARA TEMPERATURA AMBIENTE....73

7.1.5. FATOR DE CORREÇÃO DA RESISTIVIDADE TÉRMICA DO SOLO....74

7.1.6. FATOR DE CORREÇÃO PARA AGRUPAMENTO DE CIRCUITOS....75

7.1.7. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO....78

7.2. EXEMPLO DE CABO PARA O SEGMENTO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE..79

7.3. DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO E AMBIENTAL....82

8. A ENGENHARIA DE APLICAÇÃO DOS CABOS ELÉTRICOS....87

8.1. COMO REDIGIR A ESPECIFICAÇÃO DE UM CABO ELÉTRICO....87

8.2. APLICAÇÃO DE PRODUTOS NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE....91

8.3. SUGESTÕES PARA ENRIQUECER A RELAÇÃO ENTRE CLIENTE E FABRICANTE....99

9. CONCLUSÃO....101

BIBLIOGRAFIA....102

1. OBJETIVO

O “Guia de Aplicação para Cabos Elétricos com condutores em Cobre” busca estabelecer parâmetros importantes para a definição do uso de cabos elétricos produzidos em cobre, bem como demonstrar, para fins elétricos, sua qualidade, seu desempenho e os benefícios que somente este metal pode oferecer.

No decorrer do guia, é realçada a importância do cálculo do custo global do investimento durante o ciclo de vida do produto para a definição do (tipo de) cabo a ser utilizado, considerando todos os aspectos envolvidos na aplicação do cabo de cobre, tais como: manutenção, transporte, armazenagem e conexões.

O guia não tem a pretensão de abordar todos os cabos elétricos envolvidos nos setores Portuários, Aeroportuários e Metroferroviários, mas sim informar ao leitor os mais usuais, bem como suas principais aplicações.

Tendo em vista o conceito da engenharia de aplicação voltada ao setor de transporte, este material busca auxiliar no projeto e definição do cabo elétrico a ser escolhido, descrevendo passo a passo suas fases de produção com os detalhes a serem observados e definidos.

Finalmente, o Guia apresenta a comparação entre o dimensionamento técnico e o dimensionamento econômico e ambiental, abordando aspectos sobre a eficiência energética obtida pelo uso do cobre para fins elétricos, e sua contribuição na redução de emissões de CO_2.

2. INSTITUCIONAL - ICA/PROCOBRE

A *International Copper Association* (ICA) é uma organização sem fins lucrativos com a missão de integrar, desenvolver, promover e defender o mercado do cobre por meio de funções de suporte, tais como: regulamentação, treinamento, comunicação, parceria, suporte técnico e inteligência de mercado.

Levando a mensagem de que o cobre é único e essencial, o ICA apoia e desenvolve pesquisas em várias áreas para a evolução das aplicações e tecnologias na indústria e para o crescimento do mercado. A sólida base de relacionamento com o governo, ONG’s, órgãos reguladores, entidades afins e usuários permite a defesa dos interesses comuns, com atuação marcante em projetos, normas e regulamentações.

A *International Copper Association*, financiada por seus membros, vem atuando ao longo de muitos anos na defesa do uso do cobre. Como representante de seus associados intercede persistentemente para garantir o acesso continuo dos produtos derivados do cobre ao mercado, conquistando junto a eles um elevado nível de credibilidade e confiança.

Sua história remonta a mais de 90 anos e, atualmente, os seus associados compreendem 43 empresas globais constituídas por mineradoras e fabricantes, sendo que as mineradoras representam 60 % da produção mundial de cobre. Com sede em Nova Iorque, o ICA possui escritórios regionais em Bruxelas, Nova Iorque, Santiago e Xangai, dispõe de 26 centros de promoção e tem atividades em 60 países, nos 5 continentes.

Na América Latina, o ICA é representado pelo Procobre e atua na Argentina, Brasil, Colômbia, Chile, México e Peru, países que, juntos, representam 90 % do consumo de cobre desta região. Além disso, a região responde por aproximadamente 50 % da produção mundial do metal.

O ICA/Procobre disponibiliza importante conteúdo técnico e informativo por meio do projeto Leonardo Energy. Criado na Europa em 2001, que provocou a formação de uma grande comunidade, cuja proposta é estabelecer uma economia sustentável baseada na eficiência energética e na energia renovável.

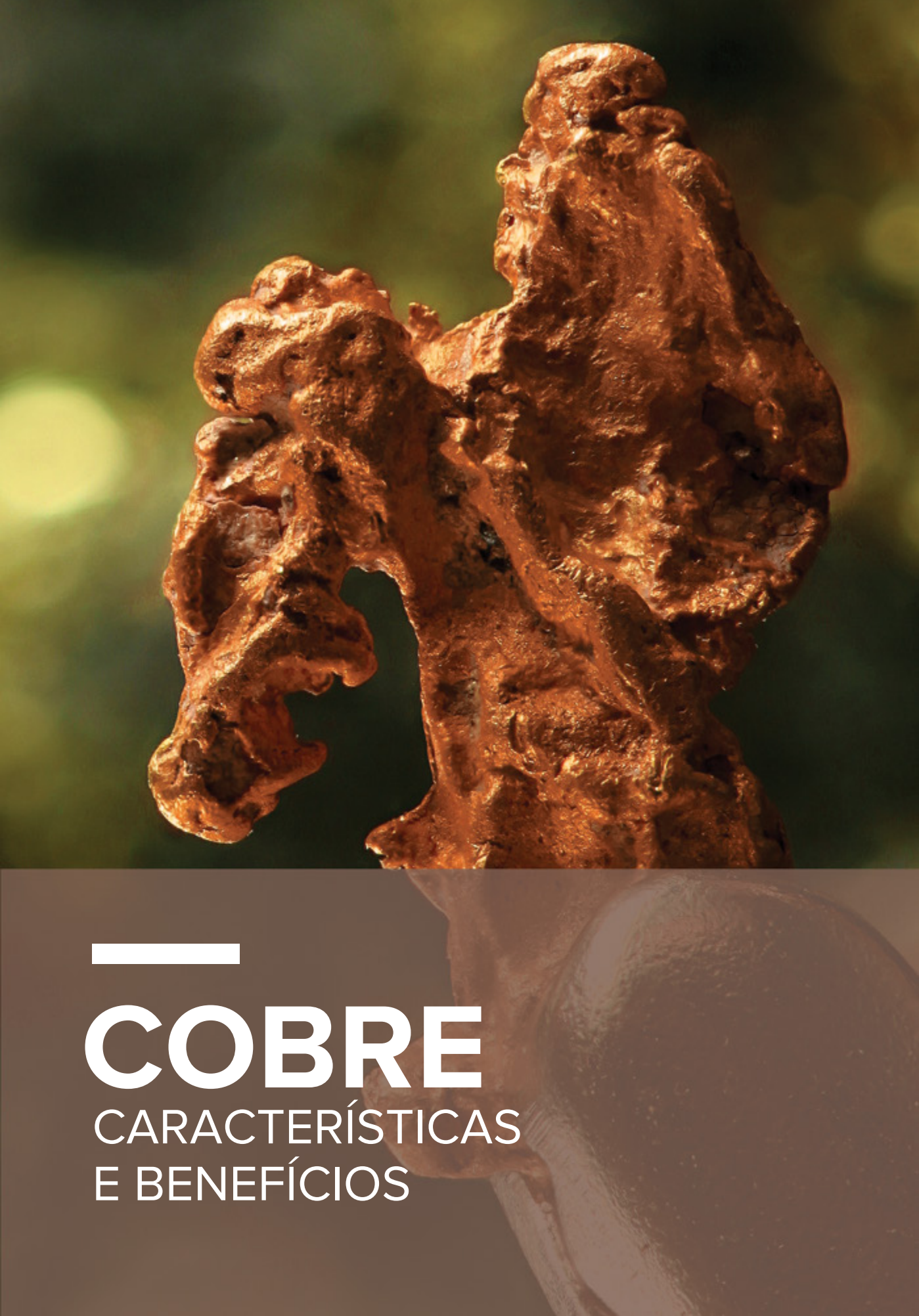
Tal experiência também está disponível no Brasil, oferecendo, aos profissionais do setor elétrico e energético, acesso a notícias, palestras, artigos e *webinars* sobre temas da atualidade, tais como: a eficiência energética, energias renováveis, gestão de energia, gestão de ativos, segurança com a eletricidade e sustentabilidade. Todo esse conteúdo está disponível em uma plataforma simples e amigável.

Este projeto é ferramenta indispensável para os profissionais técnicos, que podem se atualizar no que há de mais interessante nesse segmento, consultando os sites:

www.procobre.org/pt e **www.leonardo-energy.org.br**

Cu International Copp Association Brazil
Copper Alliance

Leonardo ENERGY



COBRE

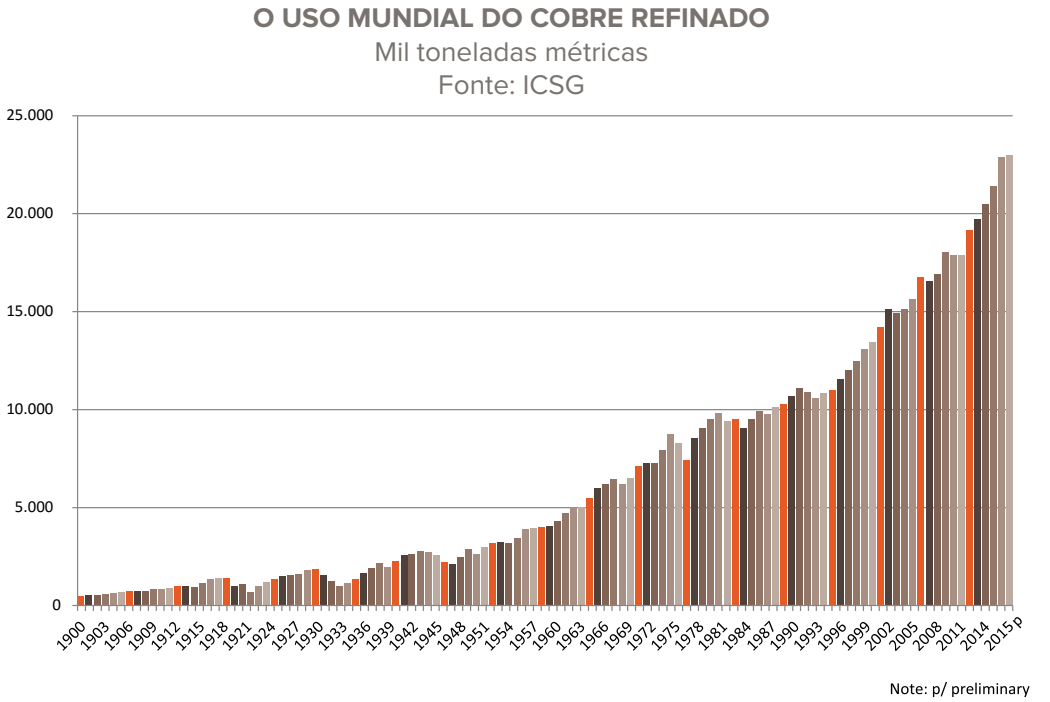
CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS

3. COBRE – CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS

O cobre foi um dos primeiros metais a serem beneficiados pelo homem já nos primórdios da humanidade (6.000 a.C. – Idade do Cobre). Classificado como metal de transição, pertence ao grupo 11 (1B) da Tabela Periódica. É um dos metais mais importantes na indústria, de coloração avermelhada, dúctil, maleável, bom condutor elétrico e de alta condutividade térmica.

Impossível imaginar a vida sem cobre. Elemento inovador, este metal contribui para a melhoria da qualidade de vida, o avanço tecnológico e o desenvolvimento econômico e sustentável. Desde a Antiguidade até os dias de hoje, este metal torna-se cada vez mais atual, indo ao encontro dos desafios da sociedade moderna, como a escassez de recursos, as mudanças climáticas e os problemas de saúde pública.

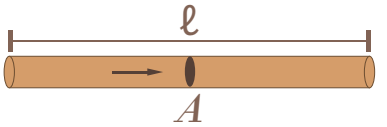
A demanda global pelo cobre continua a crescer: o consumo de produtos refinados mais que triplicou nos últimos 50 anos [2], refletindo o papel do cobre no avanço da tecnologia, na expansão da atividade econômica e no aumento da qualidade de vida. O cobre oferece múltiplos benefícios: aumenta a eficiência energética, estimula a energia sustentável, promove o desenvolvimento tecnológico, além de também possuir a qualidade de ser antimicrobiano. O metal é utilizado em inúmeras aplicações: arquitetura, saúde, meio ambiente, piscicultura. Em regiões desenvolvidas, o cobre contribui para muitos sistemas técnicos, em diversos setores: construção civil, energia, telecomunicações e transporte. Em regiões menos desenvolvidas, o cobre promove melhoria da qualidade de vida, contribuindo para o abastecimento de energia o saneamento básico, telecomunicações e meios de transporte eficientes, essenciais para a expansão do desenvolvimento econômico dessas áreas.



Desde 1900, o uso de cobre refinado aumentou de menos de 500 mil toneladas para 22,9 milhões de toneladas em 2014, o que mostra, neste período, uma taxa composta de crescimento anual de 3,4 %.

O cobre detém inúmeras características que o definem como o elemento metálico ideal para a utilização para fins elétricos – dentre elas, se destaca a sua eficiente condutividade elétrica.

3.1 RESISTIVIDADE ELÉTRICA



Resistividade elétrica é a medida da oposição ao fluxo da corrente elétrica. O condutor ideal é o material com a menor resistividade. No Sistema Internacional de Unidades (SI) a resistividade é representada por ρ e sua unidade é o ohm.m (Ωm).

A partir desse conceito e aplicando-se a Segunda Lei de Ohm pode-se definir a resistência elétrica de um condutor – no SI sua unidade é o ohm (Ω). [3]

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

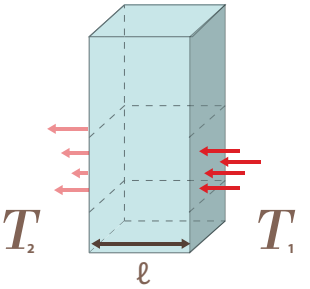
ρ é a resistividade elétrica do material (Ωm)
R é a resistência elétrica do condutor (Ω)
ℓ é o comprimento do condutor (m)
A é a área da seção do condutor (m^2)

3.2 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica (k) quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica. Condutores elétricos construídos com materiais de alta condutividade térmica conduzem energia térmica de forma mais rápida e eficiente.

A condutividade térmica é uma característica específica de cada material, e depende fortemente tanto da pureza como da própria temperatura na qual esse se encontra (especialmente em baixas temperaturas). Em geral, a condução de energia térmica nos materiais aumenta à medida que a temperatura aumenta.

A condutividade térmica equivale numericamente à quantidade de calor Q transmitida por unidade de tempo através de um objeto com espessura L unitária, numa direção normal à área da superfície de sua seção reta A, também unitária, devido a uma variação de temperatura ΔT unitária entre as extremidades longitudinais. O inverso da condutividade térmica é a resistividade térmica. [4]



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{L}{A} = k . \Delta T$$

Unidades:

ΔQ em joule (J)

Δt em segundo (s)

L em metro (m)

A em metro quadrado (m^2)

ΔT em Kelvin (K)

No SI a condutividade térmica é medida em unidades de watt por metro kelvin [W/(m·K)].

3.3 BENEFÍCIOS

Para fins elétricos, quando se compara o cobre ao seu concorrente mais provável, o alumínio, muitas vantagens podem ser observadas. Algumas foram detalhadas a seguir.

De acordo com o estudo de caso, realizado para o ICA/Procobre, denominado "Comparação de custo entre cabos isolados de baixa tensão em cobre e alumínio – Projeto de análise de ciclo de vida" [5] (disponível no site http://leonardo-energy.org.br/), pode-se observar que o custo total do ciclo de vida é menor para os cabos de cobre em relação aos cabos de alumínio – considerando-se os cabos, instalação, acessórios, manutenção, embalagem, transporte, manuseio e custos de armazenamento.

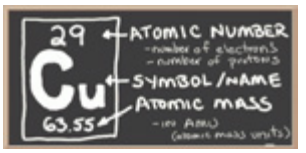
A simples redução do diâmetro calculado da seção transversal proporcionará uma redução na cadeia produtiva do cabo, nas proteções, no isolamento e em todas as fases subsequentes. Esta característica fará com que os custos de produção de cabos de cobre e de alumínio se aproximem. Isso poderá ser analisado também, mais adiante, quando for discutido o cálculo do cabo elétrico para maior eficiência energética, melhor descrito no artigo “Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos – DEAC” [6].

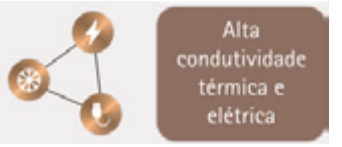
Atualmente, o cobre, quando reciclado, pode voltar ao mercado nas mais variadas formas e aplicações com alto grau de pureza e altíssimo valor agregado. Pode ser reutilizado tal como material oriundo da mineração.

A Tabela 1 indica o comparativo de algumas propriedades [7]:

TABELA 1 - PROPRIEDADES

	Cobre		Alumínio	
Símbolo químico	Cu		Al	
Número atômico	29	-	13	-
Massa atômica	63,546 u	-	26,981 u	-
Densidade	8,91 g/cm^3	100 %	2,70 g/cm^3	30 %
Resistividade elétrica a 20 °C	0,017241 x 10^{-6} **Ωm**	100 %	0,027 x 10^{-6} **Ωm**	157 %
Condutividade térmica a 20 °C	397 W/(m·K)	100 %	230 W/(m·K)	58 %
Módulo de elasticidade	118 MPa	100 %	70 MPa	59 %
Coeficiente de expansão linear	17 x 10^{-6} °C^{-1}	100 %	23 x 10^{-6} °C^{-1}	135 %
Condutividade elétrica (%IACS)		100 %		61 %
Ponto de fusão	1083 °C	100 %	660 °C	61 %
Estrutura cristalina	Cúbica de faces centradas	-	Cúbica de faces centradas	-
Tensão de ruptura (material recozido)	23 kgf/mm^2	100 %	4,9 kgf/mm^2	21 %
Limite de escoamento (σ=0,2 %)	7,0 kgf/mm²	100 %	1,3 kgf/mm²	19 %
Calor específico	385 J/kg°C	100 %	900 J/kg°C	234 %





De forma geral, a lista a seguir resume e destaca algumas das principais razões para a utilização de cabos elétricos de cobre:

- Melhor desempenho na avaliação do custo total considerando o ciclo de vida do cabo; [5] [6] [30]
- Baixa resistência elétrica (menor perda e menor seção transversal);
- Maior capacidade de condução da corrente elétrica;
- Menor diâmetro, menor raio de curvatura e consequente facilidade no transporte (bobinas menores, frete e estoque reduzido);
- Conexões confiáveis (baixo coeficiente de expansão térmica e boa resistência ao creep - Fluência ou Creep é o alongamento sofrido ao longo do tempo em um material submetido a uma carga constante);
- Resistência à corrosão;
- Não reage com a água;
- Baixo grau de oxidação; [29]
- O óxido de cobre é condutor de eletricidade;
- Disponibilidade em seções (mm^2) muito pequenas;
- Maior resistência mecânica;
- Maior flexibilidade;
- Facilidade na instalação e reparo;
- Valas de instalação reduzidas e utilização de ferramentas menores.

SUSTENTABILIDADE

4. SUSTENTABILIDADE

4.1 COBRE É ESSENCIAL PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL

Entende-se como energia com sustentabilidade a que é acessível, de baixo custo, limpa e mais eficiente, sendo, portanto, essencial para um desenvolvimento sustentável.

Um dos melhores condutores de eletricidade conhecidos, o cobre desempenha um importante papel no universo das energias renováveis. O baixo impacto ambiental desse metal e suas excelentes propriedades elétricas e térmicas, como já relatado, atendem perfeitamente às necessidades da energia limpa, gerando e transmitindo a eletricidade com máxima eficiência e com um mínimo impacto ambiental.

Isso justifica a presença desse metal em vários equipamentos utilizados nas instalações de geração elétrica limpa, como os sistemas de aterramento, equipamentos de proteção, cabos elétricos, motores, geradores, transformadores e componentes elétricos e eletrônicos.

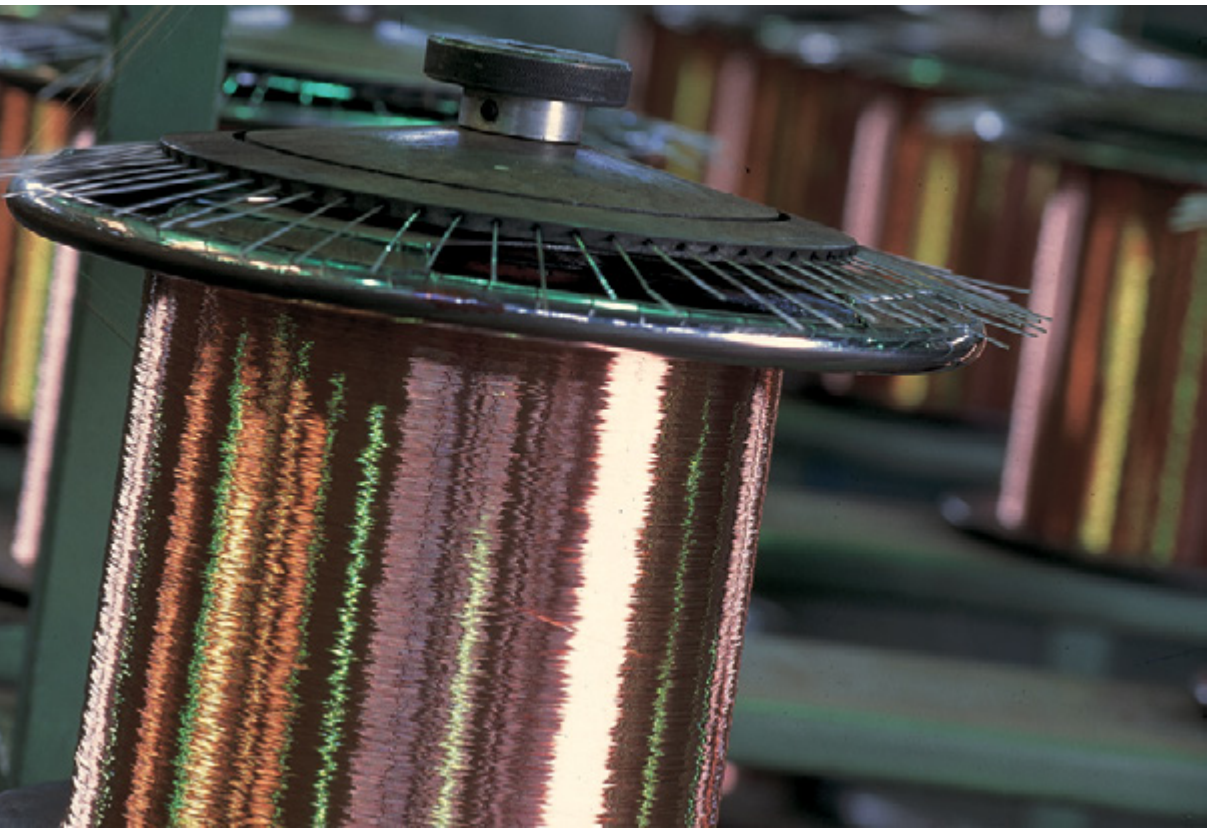


Foto: Carlos Piratininga

O cobre – essencial para um mundo sustentável – tem participação marcante em diversas áreas, destacadas a seguir: [8]

- Antimicrobiano
- Aquecimento de água
- Aquicultura
- Ar condicionado
- Arquitetura, arte e *design*
- Energia
- Instalações elétricas
- Tecnologias modernas
- Tubulações para fluidos e gases

4.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Atualmente a eletricidade é o fator que mais contribui para a emissão de gases de efeito estufa. Mais de 50 % das emissões de CO_2 são atribuídas ao consumo de eletricidade decorrente da geração de energia tendo como base a queima de combustíveis fósseis. [9]

A excelente capacidade do cobre em transportar a corrente elétrica ajuda a reduzir o consumo de energia, melhorando o desempenho de equipamentos elétricos, tornando-os mais eficientes, e reduzindo as emissões de CO_2 para o meio ambiente.

Desta forma, a utilização do cobre:

- Melhora a qualidade do meio ambiente e do processo produtivo;
- Está presente na preservação ambiental, na energia renovável e na redução da emissão de CO_2 na atmosfera;
- Proporciona maior eficiência e ótima relação custo-benefício para equipamentos elétricos e seus sistemas elétricos;
- Contribui para o dimensionamento econômico e ambiental das instalações elétricas.

A demanda por energia no planeta está crescendo em um ritmo acelerado, com os países em desenvolvimento superando nações industrializadas no crescimento do consumo de energia elétrica, situação em que a eficiência energética tem papel fundamental para que os países possam preservar seus recursos naturais, reduzindo de maneira significativa as emissões de gases de efeito estufa, diminuindo os custos e proporcionando às indústrias uma vantagem competitiva.

No universo dos cabos elétricos, o método tradicional de determinação da seção de um condutor elétrico é conhecido como “dimensionamento técnico”. Nesse método, são aplicados os requisitos das Normas ABNT NBR 5410 – “Instalações elétricas de baixa tensão” [10] e ABNT NBR 14039 – “Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV” [11].

É importante ressaltar que o dimensionamento técnico do condutor resulta na menor seção nominal possível que não comprometa a segurança, a qualidade e a durabilidade da instalação elétrica. Neste dimensionamento consideram-se os seguintes critérios:

- Seção mínima do condutor
- Capacidade de condução de corrente do condutor em regime permanente
- Queda de tensão no condutor
- Proteção do condutor contra sobrecarga
- Proteção do condutor contra curto-circuito

No entanto, quanto menor a seção do condutor, maior a sua resistência elétrica e maior a perda de energia (joule). Consequentemente, maior a emissão de CO_2. Para reduzir estas emissões a valores insignificantes, faz-se necessário aumentar a seção do condutor.

Esse aumento de seção do condutor significa elevar o custo inicial do cabo e seus acessórios, sendo necessário encontrar um equilíbrio entre a “redução nas perdas” versus o “aumento do custo inicial da instalação” – processo que pode ser auxiliado com a aplicação dos critérios estabelecidos na Norma ABNT NBR 15920 – “Cabos elétricos – Cálculo da corrente nominal - Condições de operação – Otimização econômica das seções dos cabos de potência” [12].

Tal conceito parece simples, mas é mais abrangente do que aparenta, sendo imprescindível no desenvolvimento de um futuro mais consciente e sustentável. Esse caminho contribui para economizar energia e preservar o meio ambiente.

A metodologia de cálculo que considera o dimensionamento ambiental dos cabos elétricos e o cálculo das emissões de CO_2 é apresentada na publicação do ICA/Procobre Brasil intitulada "Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos" [6] que está disponibilizada no site http://leonardo-energy.org.br/.

Pode-se concluir que a melhor ocasião para se observar a importância do dimensionamento econômico e ambiental de um condutor elétrico é a fase de implantação do projeto, na qual custos adicionais são menores e previsíveis.

4.3 ENERGIA RENOVÁVEL

As reservas de combustíveis fósseis do mundo continuam se esgotando em meio às crescentes preocupações sobre as mudanças climáticas. O rápido crescimento populacional e o aumento dos padrões de vida estão levando as sociedades a desenvolverem fontes alternativas de energia que são renováveis, eficientes e econômicas, reduzindo as emissões de CO_2.

Sistemas eficientes e renováveis – sejam eles alimentados pelo sol (fotovoltaico), vento (eólico), água (hídrico) ou biomassa (queima bagaço da cana, por exemplo) – dependem do cobre para transmitir, com a máxima eficiência e mínimo impacto ambiental, a energia que geram.

Somente o setor de geração solar irá investir, até 2018, R$ 12,5 bilhões na construção de projetos contratados entre 2013 e 2015, de acordo com as estimativas da Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR).

O cobre é um material essencial para construir os sistemas de energia do futuro. De acordo com a Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica, a energia solar fotovoltaica se tornou a fonte de energia mais instalada na Europa, onde cresceu 63 % em 2011. Neste processo da conversão da luz em eletricidade, o cobre é um fator chave para o aumento da eficiência.[13]

4.4 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

Também conhecidas como construções verdes, *"Green Buildings"*, as edificações sustentáveis consideram o impacto econômico, social e ambiental. Exigem *designers* e empreiteiros que saibam usar práticas construtivas que não causarão danos em longo prazo para o meio ambiente.

Edifícios sustentáveis são projetados para serem eficientes em termos energéticos, reduzirem a poluição e minimizarem o desperdício. O crescimento da construção sustentável não está limitado a uma região geográfica, mas está em todo o mundo crescendo em ritmo acelerado, uma vez que é visto como uma oportunidade de negócio em longo prazo.

Devido às suas propriedades intrínsecas, o cobre é amplamente utilizado no setor de construção civil. Mostra-se como opção para estruturas, reforços, revestimentos, coberturas, esquadrias, instalações elétricas, equipamentos de aquecimento e muitas outras aplicações.

O metal pode ser encontrado em prédios antigos e históricos, bem como na arquitetura nova e moderna. Ele contribui para a construção sustentável através de uma variedade de aplicações, incluindo projetos de arquitetura, sistemas de eletrificação na construção, conversão de energias renováveis e de melhor utilização dos sistemas de energias eficientes.

Podemos identificar as construções sustentáveis por meio do selo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) que consiste em um sistema de pontuação utilizado para certificar um *"Green Building"*, desta forma é assegurado que a construção foi realizada utilizando conceitos da sustentabilidade. Existe um mito em torno do alto custo das construções sustentáveis, no entanto, uma obra pode ser realizada considerando o retorno econômico a médio e longo prazo. Estima-se o aumento de custos em torno de 5 % a 10 % para obras comerciais e de 2 % a 4 % em obras residenciais.

Recomenda-se como literatura relacionada a este item a webinar "O Portal da Eficiência Energética - Construções Sustentáveis" em nosso site do ICA/Procobre. [14]

4.5 RECICLAGEM

O cobre é 100 % reciclável e contribui de diversas formas para a sustentabilidade do planeta. Uma de suas características é a longa vida útil. São cerca de 9 milhões de toneladas de cobre reciclados anualmente, o que significa que 35 % da demanda global de cobre é utilizada na forma de metal reciclado. [15]

O cobre é um dos poucos materiais que podem ser reciclados várias vezes sem qualquer perda de desempenho, e outra grande vantagem do reaproveitamento do metal é que o processo de reciclagem do cobre consome 85 % menos energia do que a sua produção. Isso representa uma economia anual de 100 milhões de MWh de energia elétrica e de 40 milhões de toneladas de CO_2.

O crescimento das economias emergentes e um maior uso do cobre em tecnologias inovadoras aumentaram significativamente a demanda do metal. A recuperação e a reciclagem de cobre são importantes não só para satisfazer essa necessidade, mas também para conservar os recursos naturais para um futuro sustentável e para melhorar o desempenho dos produtos acabados.

Com base nos estoques globais de cobre e no modelo de fluxos (recentemente desenvolvido pelo Instituto *Fraunhofer*) estima-se que dois terços das 550 milhões de toneladas de cobre produzidas desde 1900 ainda estão em uso produtivo [15], sendo que:

- Aproximadamente 70 % são utilizados em aplicações elétricas;
- Cerca de 55 % são utilizados em construções, 15 % em infraestrutura, 10 % na indústria, 10 % em transporte e 10 % na fabricação de equipamentos.

Considerando a quantidade de cobre existente nas inúmeras aplicações encontradas atualmente, pode-se estimar que existe em circulação volume equivalente a 30 anos de demanda de cobre refinado, de modo que a sociedade atual pode ser chamada de “mina urbana”.

A procura crescente pelo cobre irá requerer uma combinação de matérias-primas provenientes das minas (primárias) e de materiais reciclados (secundários). Para a reciclagem ser eficaz, a inovação também é necessária no projeto de componente inicial (facilita a recuperação ao final da vida útil), nos processos sociais (aumento da recuperação) ou nos processos de reciclagem industrial (aumento dos rendimentos globais). Em paralelo com o cobre primário, políticas regulatórias devem continuar a incentivar a recuperação e a reciclagem na indústria e em ações comunitárias. [16] [28]

SEGMENTO DE MERCADO

INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

5. SEGMENTO DE MERCADO – INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

Este guia será dedicado aos cabos elétricos desenvolvidos especialmente para o segmento da infraestrutura.

Embora esse segmento de mercado seja bastante amplo, e exija atenção especial para as instalações elétricas, ele será abordado de forma a orientar o leitor sobre a escolha do cabo elétrico, bem como a especificação do produto para a correta cotação e aquisição.

Com previsão de investimentos de R$ 198,4 bilhões nos próximos anos, o governo federal anunciou a nova fase do Programa de Investimento em Logística (PIL), que vai privatizar aeroportos, rodovias, ferrovias e portos. Desse total, R$ 69,2 bilhões devem ser aplicados entre 2015 e 2018.

O item “Aplicação de Produtos na Infraestrutura de Transporte” traz informações técnicas detalhadas sobre a aplicação de cabos elétricos em cada um dos três sistemas tratados neste guia.

5.1 SISTEMA PORTUÁRIO

O sistema portuário brasileiro consiste em 37 portos públicos organizados no país. Nessa categoria, encontram-se os portos com administração exercida pela União, ou delegada a municípios, estados ou consórcios públicos.

O sistema passa por um grande projeto de modernização da gestão portuária, atualizando os processos internos e externos da autoridade portuária. Isso engloba a implantação do projeto Porto Sem Papel (PSP) e a integração com o Portal Único de Comércio Exterior, capitaneado pela Receita Federal e pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços.

O sistema prevê a ampliação e implantação para os Terminais de Uso Privado (TUP). Desta forma, o sistema portuário brasileiro busca adequação com as melhores práticas internacionais, simplificação de processos, eficiência, competitividade e redução do custo no Brasil para o setor.

Dentro do Plano de Investimento em Logística (PIL), está incluído o Programa de Arrendamento Portuário, com previsão de R$ 15,8 bilhões de investimento em áreas nos portos públicos mais importantes e estratégicos do país.

Estão projetadas intervenções em praticamente todos os portos organizados, com obras de melhoria de acesso marítimo e terrestre, dragagem, terminais de passageiros, recuperação de cais, entre outros.

É importante especificar o cabo elétrico ideal para cada aplicação nesse setor, pois as condições adversas encontradas no ambiente portuário poderão rapidamente deteriorar o investimento realizado, reduzindo drasticamente a vida útil e submetendo a instalação a falhas severas.

Na ausência de um projeto especificando o cabo elétrico, deverá ser realizado um levantamento das condições de operação, instalação, meios agressores e nível de segurança, bem como das normas aplicáveis a cada situação. Com o levantamento desses dados é possível determinar o nível de proteção necessária para cada aplicação e especificar o cabo elétrico corretamente.

Pode-se destacar nesse sistema a utilização dos cabos em cobre nu, cabos de potência para baixa e média tensão, cabos de controle e instrumentação, cabos de uso móvel e cabos para instalações prediais. Necessidades específicas e alto desempenho são exigidos continuamente no exercício da vida útil de tais cabos elétricos.

5.2 SISTEMA AEROPORTUÁRIO

O sistema aeroportuário brasileiro consiste em 17 aeroportos internacionais, 710 aeródromos públicos aptos a receber voos domésticos e outros 2500 aeroportos civis particulares. São dados da ANAC e Infraero que estimam um crescimento do setor consistente e considerável até o ano de 2030, quando deve chegar a 500 mil empregos diretos e indiretos e um movimento de 300 milhões de passageiros/ano. [17]

Esse sistema oferece desafios ainda maiores, aeroportos contam com ambientes fechados e com alta concentração humana. Os riscos e efeitos aos usuários são ainda mais expressivos em casos de acidentes ou incêndios. Nesses locais, preocupações com a geração de gases tóxicos, emissão de fumaça ou pânico em caso de incêndio são habituais.

A correta especificação do cabo para esse setor é de extrema importância. A perfeita operação dos sistemas elétricos é item fundamental na operação dos aeroportos. Para tanto, sistemas alternativos ou redundantes são aplicados para as funções de operação. Falhas nesses sistemas não são admitidas. A seguir, algumas definições:

SISTEMAS ALTERNATIVOS	
Sistemas nos quais pode haver a interrupção para transferir a alimentação ao circuito reserva.	Adotados em elevadores, escadas rolantes, esteiras de bagagens e pontes de embarques (parte móvel dos fingers)
SISTEMAS REDUNDANTES	
Sistemas nos quais não pode haver a interrupção.	Adotados em sistemas de auxílios luminosos, navegação aérea e na tecnologia da informação (TI)

Nesse sistema verifica-se a utilização de cabos em cobre nu, cabos de potência para baixa, média e alta tensão, cabos de controle e instrumentação, cabos de uso móvel e cabos para instalações prediais.

5.3 SISTEMA METROFERROVIÁRIO

Com o Programa Nacional de Desestatização, na década de 1990 o governo federal concedeu ao setor privado a operação e manutenção de sete malhas regionais, realizando assim a liquidação da Rede Ferroviária Federal (RFFSA). Em 1998, também foram privatizadas as ferrovias da Companhia Vale do Rio Doce. Em 2002, foi implantada a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), responsável por acompanhar e fiscalizar o desempenho das concessões ferroviárias. Atualmente, a extensão da malha ferroviária concedida é de 28.190 km.

A Ferrovia Norte-Sul é considerada a espinha dorsal logística do país, e foi concebida com o propósito de ampliar e integrar o sistema ferroviário brasileiro. Terá a extensão de 4.155,6 km e atravessará os estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Outros projetos ainda se somarão ao complexo, como a Ferrovia de Integração Oeste-Leste (com extensão de 1.527 km) e a Transnordestina (com extensão de 1.728 km).

O desenvolvimento e a modernização do setor ferroviário também contam com o Programa de Investimento em Logística (PIL), lançado pelo governo federal em 2012. Estão previstas concessões de linhas férreas que somam 11 mil km. Por esse novo modelo, os concessionários serão gestores da infraestrutura ferroviária. [18]

Nesse sistema, praticamente voltado ao transporte e escoamento da produção, está incluído também o setor de transporte público nos grandes centros urbanos, que exige tanta atenção quanto os aeroportos no transporte de passageiros. Esses setores contam com os investimentos do PAC no Plano de Mobilidade Urbana, nos quais estão presentes projetos de expansão em metrô, BRT, VLT e trens metropolitanos, prioritariamente para cidades com mais de 400 mil habitantes.

O investimento em sistemas metroviários para o transporte público foi represado por décadas, não acompanhando o crescimento da frota de veículos urbanos de transporte individual, que cresceu consideravelmente. Segundo dados da Associação Nacional de Transporte Público (ANTP), a oferta de lugares no sistema aumentou 23 % no último período de apuração, passando de 825 mil lugares em 2003 para pouco mais de 1 milhão de lugares em 2013. [19]

Nesse sistema, verifica-se a utilização de cabos em cobre nu, cabos de potência para baixa e média tensão, cabos de controle e instrumentação, cabos fendidos, cabos de uso móvel e cabos para instalações prediais.

DEFINIÇÕES

DADOS CONSTRUTIVOS DO CABO ELÉTRICO

6. DEFINIÇÕES – DADOS CONSTRUTIVOS DO CABO ELÉTRICO

Antes de abordar os dados construtivos, será indicada a classificação das classes de tensão para os cabos elétricos isolados por se considerar essa, uma informação de interesse dos técnicos que atuam na área. É válido esclarecer que não há norma brasileira que defina esta classificação e, como consequência, o mercado do país apresenta algumas variações. Desta maneira, é apresentada a seguir uma orientação que possui boa representatividade no mercado:

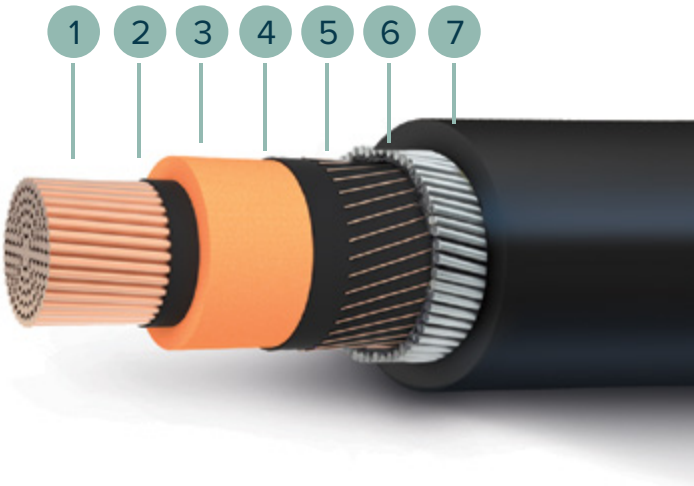
Corrente Alternada:

- **EBT (Extra Baixa Tensão)**: Não superior a 50 V
- **BT (Baixa Tensão)**: Até 1 kV inclusive
- **MT (Média Tensão)**: Maior que 1 kV e até 35 kV inclusive
- **AT (Alta Tensão)**: 69 kV inclusive até 345 kV inclusive
- **EAT (Extra Alta Tensão)**: Acima de 345 kV e até 500 kV inclusive

Cabe esclarecer que há projetos específicos nos quais se utilizam a classe de tensão 46 kV, a qual pode ser enquadrada como MT.

A seguir, como exemplo, está sendo indicada a imagem ilustrativa de um cabo de média tensão com as várias partes que o compõe.

1. Condutor
2. Blindagem do condutor
3. Isolação
4. Blindagem da isolação
5. Blindagem metálica
6. Armação
7. Cobertura



6.1 CONDUTOR

Condutores são os meios materiais que permitem facilmente a passagem de cargas elétricas. Metais como o cobre e alumínio são os escolhidos para tal finalidade tendo em vista seu custo e suas propriedades elétricas. São subdivididos em fios e cabos e são encontrados em diferentes seções. Conforme a Norma ABNT NBR NM 280:2011, pode-se classificar:

- **Fio ou fio sólido:**

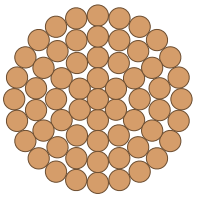
É o produto metálico formado por um único condutor rígido (monofilar), pouco flexível, o que faz com que ele tenha usos específicos. Recomenda-se observar a ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão. É denominado como encordoamento Classe 1 pela ABNT NBR NM 280:2011.

- **Cabo:**

É o produto metálico formado por um conjunto de fios elementares encordoados (multifilar). A formação pode ser normal, compactada, comprimida ou composta por feixes (ou cochas). O conceito do encordoamento aumenta a flexibilidade e facilita o manuseio e a instalação.

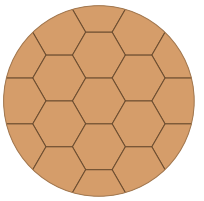
Os condutores podem ter os encordoamentos com as seguintes configurações: [20] [21]

Condutor encordoado circular não compactado:



O condutor é formado por um único fio ou por duas ou mais camadas concêntricas de fios de mesmo diâmetro em torno de um fio central, sendo este conjunto chamado de corda.

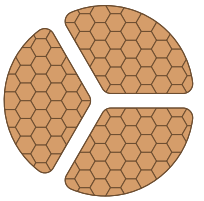
Condutor encordoado circular compactado:



Após a formação da corda ocorre sua compactação, o que provoca uma redução significativa de seu diâmetro, uma vez que os espaços vazios são substancialmente reduzidos. Como resultado desta compactação, os cabos isolados apresentam:

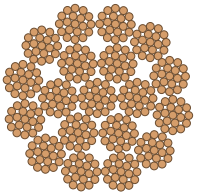
- Menor diâmetro final;
- Menor consumo de materiais isolantes e cobertura;
- Melhor aproveitamento na instalação em dutos;
- Menores raios de curvatura.

Condutor setorial:



Estas cordas são normalmente utilizadas em cabos multipolares com três ou quatro veias isoladas para a obtenção de um menor diâmetro.

Condutor flexível:



O encordoamento composto é formado pela reunião de vários condutores previamente encordoados. Estes vários condutores encordoados são denominados de feixes (ou cochas). As cochas encordoadas constituirão um condutor composto.

Este tipo de encordoamento oferece excelente flexibilidade ao cabo, sendo utilizado em equipamentos que possuem movimentação contínua durante o seu funcionamento.

A seguir são apresentadas algumas informações sobre as escalas AWG, MCM e a série métrica (mm^2).

AWG:

A escala *"American Wire Gauge"* (escala americana normalizada) é uma progressão geométrica de diâmetros expressos em polegadas até a bitola 4/0 (0000). Para bitolas superiores ao 4/0 a unidade passa a ser o MCM. As relações aproximadas entre os diâmetros consecutivos da escala AWG é de 1,122 e entre as áreas consecutivas em mm^2 é de 1,260.

kCM (MCM):

A escala "Mil Circular Mil" é a área de um círculo cujo diâmetro é de um milésimo de polegada, ou seja:

1 CM: d = 0,0254 mm → S = 0,000507 mm^2

1 CM: d = 0,001 pol. → S = 0,7854 pol^2

Uma vez que 1 circular mil (1 CM) é muito pequeno, utiliza-se o MCM ou kCM, ou seja, 1000 Circular Mil.

Série métrica:

A série métrica (mm^2) passou a ser utilizada no Brasil após o ano de 1982, quando se adotou o padrão da série métrica da *International Electrotechnical Commission* (IEC). Ela é definida em função de resistência elétrica máxima, sendo que as seções padronizadas estabelecem um valor de resistência elétrica, não propriamente um valor de seção nominal.

Uma tabela de conversão entre os sistemas Métrico e AWG/MCM é apresentada a seguir:

TABELA 2 — TABELA DE CONVERSÃO
AWG/Métrico ASTM F1883 - 03(2013)

Seção mm²	Seção AWG/MCM	Seção Circ Mils	Ampacidade (A)	Resistência Ôhmica à 20 °C				
				Ohms por 1000 ft	Ohms por km (Ω/km)	Ohms por km (Ω/km) (ABNT NBR NM 280)		
						Classe 1	Classe 2	Classe 5
	2000	2 000 000	1155	0,0053	0,0177			
1000		1 970 000	1145	0,0054	0,0176		0,0176	
	1750	1 750 000	1070	0,0063	0,0199			
800		1 580 000	1009	0,0067	0,0224		0,0221	
	1500	1 500 000	980	0,0071	0,0232			
	1250	1 250 000	890	0,0085	0,0278			
630		1 240 000	886	0,0096	0,0286		0,0283	0,0287
	1000	1 000 000	780	0,0106	0,0347			
500		987 000	772	0,0105	0,0369		0,0366	0,0384
400		789 000	675	0,0133	0,0475		0,047	0,0486
	750	750 000	655	0,0141	0,0463			
	600	600 000	575	0,0176	0,0578			
300		592 000	570	0,0211	0,0607		0,0601	0,0641
	500	500 000	515	0,0211	0,0694			
240		474 000	499	0,0219	0,0762		0,0754	0,0801
	400	400 000	455	0,0264	0,0867			
185		365 000	431	0,0286	0,1000		0,0991	0,106
	350	350 000	420	0,0302	0,0990			
	300	300 000	375	0,0353	0,1157			
150		296 000	372	0,0353	0,1260	0,124	0,124	0,129
	250	250 000	340	0,0423	0,1388			
120		237 000	327	0,0436	0,1540	0,153	0,153	0,161
	4/0	211 600	300	0,0500	0,1639			
95		187 000	265	0,0551	0,1950	0,193	0,193	0,206
	3/0	167 000	260	0,0631	0,2065			
70		138 000	230	0,0752	0,2700	0,268	0,268	0,272
	2/0	133 100	225	0,0794	0,2605			
	1/0	105 600	195	0,1002	0,3288			
50		98 700	185	0,1044	0,3910	0,387	0,387	0,386
	1	83 690	165	0,1261	0,4139			
35		69 100	144	0,1495	0,5290	0,524	0,524	0,554
	2	66 360	140	0,1588	0,5211			
	3	52 620	120	0,2005	0,6577			
25		49 300	115	0,2057	0,7340	0,727	0,727	0,78
	4	41 740	105	0,2528	0,8295			
16		31 600	89	0,3259	1,160	1,15	1,15	1,21
	6	26 240	80	0,4023	1,320			
10		19 700	63	0,5167	1,840	1,83	1,83	1,91
	8	16 510	55	0,6380	2,093			
6.0		11 800	43	0,8543	3,110	3,08	3,08	3,3
	10	10 380	40	1,017	3,335			
4.0		7 890	30	1,304	4,700	4,61	4,61	4,95
	12	6 530	25	1,620	5,315			
2.5		4 930	22	2,067	7,560	7,41	7,41	7,98
	14	4 110	20	2,573	8,442			
1.5		2 960		3,417	12,20	12,1	12,1	13,3
	16	2 580		4,020	13,19			
1.0		1 970		5,213	18,20	18,1	18,1	19,5
0.90		1 773		6,45	21,10			
	18	1 620		6,82	20,95			
0.80		1 576		6,52	21,40			
0.75		1 480		6,82	24,80	24,5	24,5	26
0.60		1 182		9,5	31,16			
	20	1 020		10,5	34,45			
0.50		987		11,4	36,70	36	36	39
	22	640		16,9	55,44			
0.20	24	404		26,7	87,60			
		253		43,6	143,04			

6.2 TÊMPERA

Considerando-se as características mecânicas, o cobre pode ser classificado em três categorias de têmpera:

- Mole (ou recozido);
- Meio duro;
- Duro.

O cobre com a têmpera mole possui uma menor resistividade elétrica, enquanto a têmpera dura tem uma maior resistência mecânica à tração. O cobre mole é recomendável para aplicação geral em cabos elétricos isolados ou não, para a qual se deseja alta condutividade elétrica e flexibilidade.

O processo de trefilação do fio de cobre, cujo diâmetro é sucessivamente reduzido através de fieiras, enrijece a estrutura e reduz a ductilidade (capacidade de deformação) do material.

Trefila

Detalihe das fieiras

Fotos cedidas por: Niehoff-Herborn Máquinas

O cobre permite que essa característica seja revertida mediante um processo chamado de recozimento, no qual o tratamento térmico adequado restabelece as características originais.

6.3 CLASSE DE ENCORDOAMENTO

Os condutores podem ser reunidos em diversas formas distintas e com fios que diferem em diâmetros e têmperas. Devido a isso, normas específicas determinam esse processo de reunião para formação do condutor elétrico:

- **ABNT NBR NM 280** – Condutores de cabos isolados
- **ABNT NBR 5349** – Cabos nus de cobre mole para fins elétricos – Especificação

Os condutores de cobre têm cinco classes de encordoamento, a saber:

- Classe 1: Condutores sólidos circulares (fios);

- Classe 2: Condutores encordoados circulares, compactados ou não;

- Classes 4(*), 5 e 6: Condutores flexíveis.

(*) O condutor classe 4 foi eliminado da Norma IEC (International Electrotechnical Commission), sendo de uso frequente nos países do MERCOSUL (Anexo B – Tabela 4 da Norma ABNT NBR NM 280:2011).

Como exemplo da formação de um condutor para as várias classes de encordoamento existentes, segue Tabela 3 com a seção 10 mm²:

TABELA 3		
Condutor - seção 10 mm²		
Classe 1		1/3,50
Classe 2	Normal	7/1,35
	Compacto	7 fios
Classe 5		7 x 15/0,35
Classe 6		12 x 27/0,20

As medidas da Tabela 3 se referem ao número de fios/diâmetro dos fios elementares em milímetros. Por exemplo, para a classe 6 são 12 cochas, cada uma sendo formada por 27 fios de 0,20 mm de diâmetro, totalizando 324 fios de 0,20 mm de diâmetro. Vale esclarecer que para as classes flexíveis (acima da classe 4, inclusive) o número de fios elementares pode variar dependendo do fabricante, uma vez que a respectiva norma não define a quantidade de fios, definindo apenas a resistência elétrica máxima do condutor e o diâmetro máximo dos fios elementares.

TABELA 4 – NORMA ABNT NBR 5349				
Cabos de classe de encordoamento 2				
Seção Nominal (mm²)	Número de fios		Resistência elétrica máxima, em c.c., a 20 °C Ω/km	
	Cabo Não Compactado	Cabo Compactado	Fios Nus	Fios Revestidos
0,5	7	-	36	36,7
0,75	7	-	24,5	24,8
1	7	-	18,1	18,2
1,5	7	6	12,1	12,2
2,5	7	6	7,41	7,56
4	7	6	4,61	4,7
6	7	6	3,08	3,11
10	7	6	1,83	1,84
16	7	6	1,15	1,16
25	7	6	0,727	0,734
35	7	6	0,524	0,529
50	19	6	0,387	0,391
70	19	12	0,268	0,27
95	19	15	0,193	0,195
120	37	18	0,153	0,154
150	37	18	0,124	0,126
185	37	30	0,0991	0,1
240	61	34	0,0754	0,0762
300	61	34	0,0601	0,0607
400	61	53	0,047	0,0475
500	61	53	0,0366	0,0369
630	91	53	0,0283	0,0286
800	91	53	0,0221	0,0224
1000	91	53	0,0176	0,0177
1200	- 2)	- 2)	0,0151	0,0151
1400 1)	- 2)	- 2)	0,0129	0,0129
1600	- 2)	- 2)	0,0113	0,0113
1800 1)	- 2)	- 2)	0,0101	0,0101
2000	- 2)	- 2)	0,009	0,009

1) Seções não recomendadas.

2) Número mínimo de fios não especificado.

De acordo com norma ABNT NBR 5349:1997 [27]

TABELA 5 – NORMA ABNT NBR 5349					
Cabos de classe de encordoamento 4, 5 e 6					
Seção Nominal (mm²)	Diâmetro máximo dos fios (mm)			Resistência elétrica máxima, em cc., a 20 °C (Ω/km)	
	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Fios Nus	Fios Revestidos
0,5	0,31	0,21	0,16	39	40,1
0,75	0,31	0,21	0,16	26	26,7
1	0,31	0,21	0,16	19,5	20
1,5	0,41	0,26	0,16	13,3	13,7
2,5	0,41	0,26	0,16	7,98	8,21
4	0,51	0,31	0,16	4,95	5,09
6	0,51	0,31	0,21	3,3	3,39
10	0,51	0,41	0,21	1,91	1,95
16	0,61	0,41	0,21	1,21	1,24
25	0,61	0,41	0,21	0,78	0,795
35	0,68	0,41	0,21	0,554	0,565
50	0,68	0,41	0,31	0,386	0,393
70	0,68	0,51	0,31	0,272	0,277
95	0,68	0,51	0,31	0,206	0,21
120	0,68	0,51	0,31	0,161	0,164
150	0,86	0,51	0,31	0,129	0,132
185	0,86	0,51	0,41	0,106	0,108
240	0,86	0,51	0,41	0,0801	0,0817
300	0,86	0,51	0,41	0,0641	0,0654
400	0,86	0,51	-1)	0,0486	0,0495
500	0,86	0,61	-1)	0,0384	0,0391
630	- 2)	0,61	- 2)	0,0287	0,0292

1) Seções não especificadas para a classe de encordoamento 6.

2) Seção não especificada para as classes de encordoamento 4 e 6.

De acordo com Norma ABNT NBR 5349:1997 [27]

6.4 BLINDAGEM DO CONDUTOR

A blindagem do condutor é constituída por materiais condutores não metálicos, normalmente chamados semicondutores. Ela tem como principal finalidade dar uma forma perfeitamente cilíndrica ao condutor e eliminar espaços vazios entre o condutor e a isolação.

Quando um condutor encordoado de um cabo de média ou alta tensão não possui um recobrimento com material condutor, o campo elétrico formado pela passagem de corrente elétrica assume uma forma distorcida, acompanhando a superfície do condutor e provocando concentração de esforços elétricos em determinados pontos da isolação. Em tais condições, as solicitações elétricas concentradas podem exceder os limites permissíveis pela isolação, resultando em uma depreciação na vida do cabo.

No caso de cabos com isolação sólida, o ar entre o condutor e o isolante – formado quando da extrusão da isolação – será ionizado pela ação do campo elétrico, no qual ocorrerão descargas parciais que irão danificar o isolante até a sua perfuração.

6.5 ISOLAÇÃO

Isolação é o material ou conjunto de materiais isolantes aplicados sobre o condutor para isolá-lo eletricamente do ambiente onde está instalado.

As seguintes características são determinantes para os materiais isolantes:

- Elevada rigidez dielétrica (*);
- Baixas perdas dielétricas – ou seja, menores valores para o produto “Fator de Dissipação” pela “Constante Dielétrica”;
- Fácil dissipação de calor – ou seja, baixa resistividade térmica;
- Estabilidade térmica em regime de longa duração, de curta duração e em condições transitórias de curto circuito ;
- Estabilidade das propriedades elétricas quando em contato com a água Resistência ao fenômeno *water treeing*;
- Resistência ao envelhecimento nas condições de gradiente elétrico – temperatura operacional;
- Flexibilidade, principalmente em equipamentos e máquinas móveis;

(*) Mediante solicitações a 60 Hz e de impulso, tais como descargas atmosféricas e surtos de manobra.

Os materiais isolantes do tipo sólido (extrudados) são classificados como termoplásticos e termofixos, com temperaturas de operação conforme Tabela 6:

TABELA 6				
Categoria	**Material da isolação**	**Operação em regime contínuo**	**Operação em sobrecarga**	**Operação em curto-circuito**
Termoplásticos	PVC ≤ 300 mm²	70 °C	100 °C	160 °C
	PVC > 300 mm²	70 °C	100 °C	140 °C
	PE	70 °C	90 °C	130 °C (*)
Termofixos	XLPE	90 °C	130 °C	250 °C
	EPR e HEPR	90 °C	130 °C	250 °C
	EPR 105	105 °C	140 °C	250 °C

(*) 150 °C, desde que seja utilizada uma blindagem do condutor adequada, como por exemplo, através de um acréscimo na espessura da blindagem do condutor ou através de combinação de fita têxtil semicondutora com camada extrudada.

Os materiais termofixos, uma vez processados, adquirem sua forma final e atingem suas características de forma irreversível. Já os compostos termoplásticos, embora processados e transformados em sua forma definitiva como isolação, podem ser deformados ou reprocessados mediante aplicação de uma fonte de calor. Simplificando: os isolantes termoplásticos amolecem com o aumento da temperatura e os isolantes termofixos não amolecem com o aumento da temperatura.

Os tipos de materiais utilizados como isolamento são os seguintes:

- **Termoplásticos:**
  - Policloreto de vinila (PVC)
  - Polietileno (PE)
  - Polietileno de alta densidade (HDPE)
  - Polietileno de baixa densidade (LDPE)
  - EVA
  - Poliamida (Nylon®)
  - Elastômero termoplástico (TPE)

- **Termofixos:**
  - Polietileno reticulado (XLPE)
  - Borracha etileno-propileno (EPR)
  - Borracha de silicone

Nota:

A nomenclatura “EPR” é um nome genérico que significa qualquer borracha que contenha etileno e propileno. No mercado existem algumas variações da borracha EPR utilizada como material isolante em cabos elétricos, por exemplo, EPR 105 e HEPR. [22]

TABELA 7		
Nomenclatura	**Tipo de isolação**	**Nota**
EPR	Borracha etileno-propileno	Temperatura de operação 90 °C.
EPR 105	Borracha etileno-propileno de alto módulo	Temperatura de operação 105 °C. Tensão de ruptura duas vezes superior ao EPR. Alongamento de 150 % contra 200 % do EPR. Este composto é utilizado para a produção de cabos com isolação coordenada (isolação com espessura reduzida).
HEPR	Borracha etileno-propileno de alto módulo	Temperatura de operação 90 °C. Tensão de ruptura duas vezes superior ao EPR. Alongamento de 150 % contra 200 % do EPR. Este composto é utilizado para a produção de cabos com isolação coordenada (isolação com espessura reduzida).

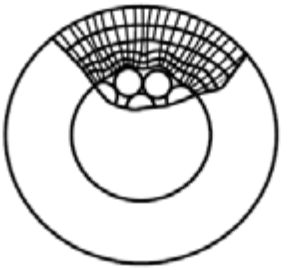
Tabela comparativa com as características das principais isolações:

TABELA 8			
Categoria	**Material da isolação**	**Pontos Fortes**	**Pontos Regulares e Fracos**
Termoplásticos	PVC	• Boas propriedades mecânicas e elétricas • Não propagante de chama e auto extinguível quando aditivado	• Baixo índice de estabilidade térmica • Baixa estabilidade em água • Regular flexibilidade
	PE	• Excelentes propriedades mecânicas e elétricas • Alto índice de impermeabilidade	• Baixo ponto de fusão • Baixa flexibilidade • Fácil combustão
Termofixos	XLPE	• Excelentes propriedades elétricas • Boa resistência térmica • Alto grau de pureza • Bom desempenho após o envelhecimento	• Baixa flexibilidade • Baixa resistência à chama • Regular estabilidade em água
	EPR e EPR 105	• Excelentes propriedades elétricas • Boa resistência térmica • Alta flexibilidade • Resistência total ao ozônio • Ótima estabilidade em água	• Baixa resistência mecânica • Baixa resistência a óleos • Baixa resistência à chama

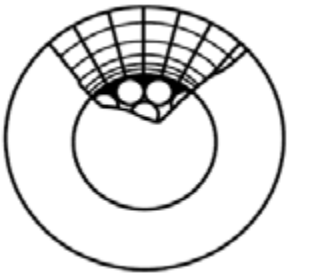
6.6 BLINDAGEM DA ISOLAÇÃO

A função principal da blindagem da isolação é a de propiciar uma distribuição radial e simétrica de campo elétrico fazendo com que o dielétrico seja uniformemente solicitado.

Da mesma forma que a blindagem do condutor, a blindagem da isolação – para ser efetiva – deverá manter um perfeito contato com a superfície externa da isolação, eliminando, assim, a possibilidade de bolhas de ar, que dariam lugar às descargas parciais. A blindagem da isolação proporciona também uma capacitância uniforme entre o condutor e a terra, o que representa uma impedância característica (Zo) uniforme ao longo do cabo, evitando pontos com grande concentração de linhas de campo, o que acarreta um melhor desempenho perante as solicitações de impulso.

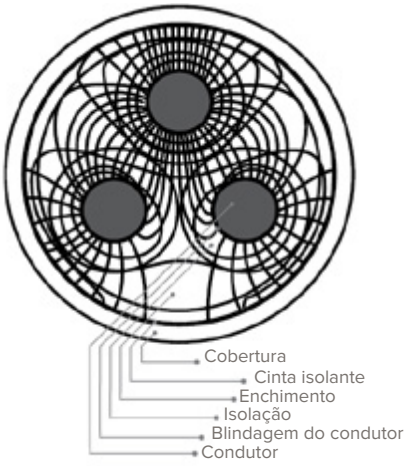


Condutor sem Blindagen

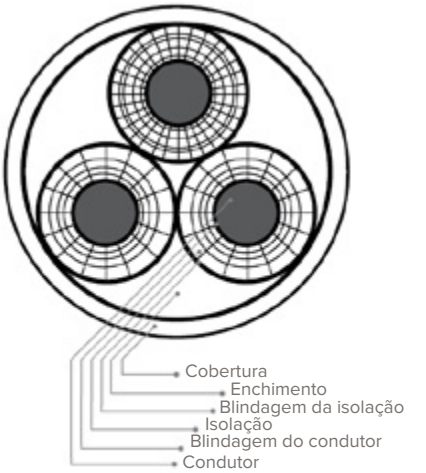


Condutor com Blindagen

A blindagem da isolação é constituída por uma camada de material condutor não metálico (camada semicondutora) que, além de uniformizar o campo elétrico, possui condutância suficiente para o transporte das correntes de fuga e capacitivas. A blindagem metálica sobre esta camada semicondutora é efetuada helicoidalmente por meio de fitas e/ou fios de cobre que têm a função de transporte de correntes induzidas ou de curto-circuito. [20]



Isolação sem Blindagen

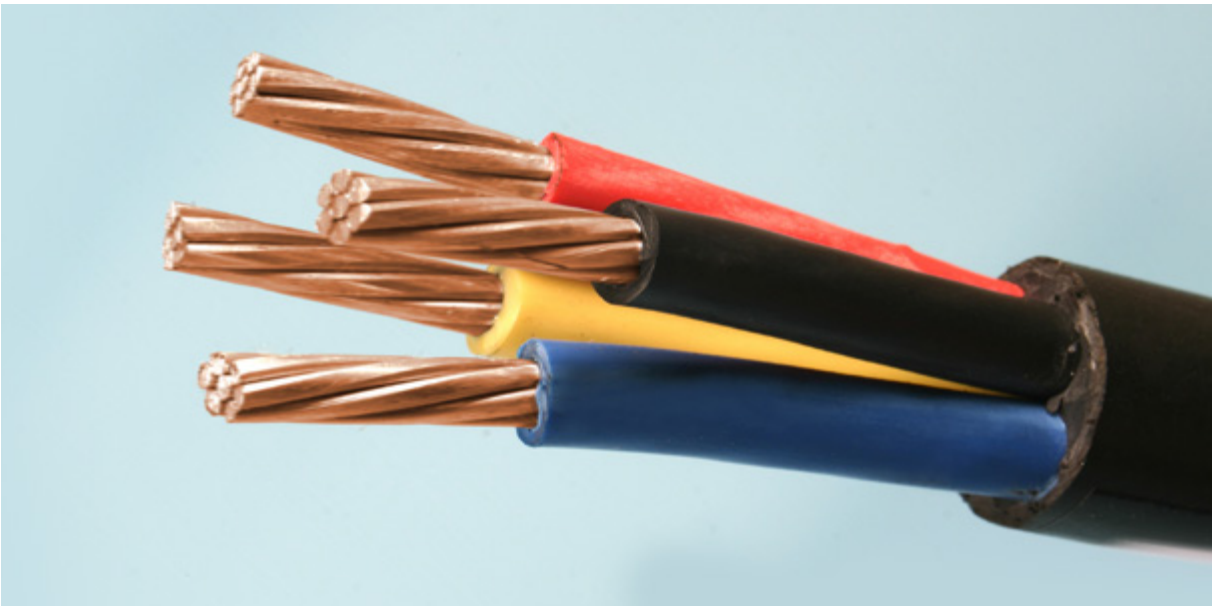


Isolação com Blindagen

A blindagem elétrica de um cabo pode proporcionar diferentes funções:

- Confinar o campo elétrico em cabos de controle, instrumentação, telecomunicações e transmissão de dados, controlando as características de transmissão de sinais (impedância, atenuação);
- Reduzir a interferência eletromagnética de um circuito em outro, causada por campos elétricos e/ou magnéticos;
- Confinar o campo elétrico em cabos de energia por motivos de segurança (sendo devidamente aterrada, reduz a zero o campo externo, evitando choques);
- Servir de caminho para correntes de curto-circuito em cabos isolados de média e alta tensão.

6.7 CABOS MULTIPOLARES



Cabos multipolares são constituídos de dois ou mais condutores isolados, sobre os quais é aplicada uma cobertura, formando-se um único cabo. Cada um dos condutores isolados, que constituem o cabo multipolar, é denominado “veia”. Condutores com 2, 3 ou 4 veias são chamados, respectivamente: bipolar, tripolar ou tetrapolar. Por conseguinte, os cabos formados por 1 veia são denominados: cabos unipolares.

6.8 ARMAÇÃO

Elemento destinado à proteção contra esforços mecânicos, de tração, compressão ou usos específicos. A armação pode ser metálica ou formada por compostos especiais que possam satisfazer as necessidades e condições para uso em aplicações especiais.

Os vários tipos de armações são:

- **Fios de aço galvanizado, cobre ou bronze:** confere resistência aos esforços de tração;
- **Fitas de aço galvanizado, cobre ou alumínio planas:** confere resistência aos esforços radiais;
- **Fitas de aço galvanizado, cobre ou alumínio corrugado e intertravada *(interlocked)*:** confere maior resistência aos esforços radiais e maior flexibilidade que as fitas planas;
- **Outras:** armação com trança de fios de aço ou cobre, armação de chumbo ou liga de chumbo.

A armação pode ser utilizada para proteger mecanicamente o cabo elétrico nas mais variadas formas, dependendo do tipo de produto e sua aplicação final.

Este elemento construtivo pode ser aplicado nas fases internas do cabo, desde a proteção dos condutores isolados até a proteção externa do cabo, dependendo de sua aplicação.

Cabe informar que, no caso de cabos unipolares (também denominados como "singelos"), para se evitar perdas elétricas adicionais, são empregados materiais não magnéticos, ou seja, fitas ou fios de cobre, bronze ou alumínio. As armações com material ferromagnético (aço) somente poderão ser utilizadas em cabos tripolares, os quais, devido às defasagens da corrente elétrica entre as fases do circuito de corrente alternada, não irão gerar as citadas perdas elétricas.

6.9 COBERTURA

Revestimento externo de proteção ao cabo como um todo. A cobertura será definida mediante os requisitos especiais de utilização e desempenho do cabo.

Os materiais utilizados na cobertura são dotados de características específicas que compreendem, desde uma simples proteção mecânica (a fim de facilitar instalações, proteção permanente e garantia de preservação do produto), até produtos de alta tecnologia, que protegem o cabo e lhe conferem características especiais.

As seguintes características são determinantes para os materiais de cobertura:

- Resistência à abrasão, rasgo, corte e impacto;
- Impermeabilidade;
- Inflamabilidade;
- Baixa emissão de fumaça, gases tóxicos e ácidos durante eventual queima;
- Estabilidade térmica;
- Resistência a agentes químicos e ambientais;
- Flexibilidade.

Temperatura máxima em regime permanente em função do tipo da cobertura:

COBERTURA	TEMPERATURA MÁXIMA NO CONDUTOR
ST1	80 °C
ST2	105 °C
ST3	80 °C (*)
ST7	105 °C
SE1/A e SE1/B	90 °C (**)

(*) 85 °C para cabos com tensões de isolamento iguais ou superiores a 6/10 kV.

(**) 85 °C para cabos com coberturas SE1/B e tensões de isolamento inferiores a 6/10 kV.

Os compostos termoplásticos para as coberturas são:

ST1	Composto à base de policloreto de vinila ou copolímero de cloreto de vinila, para temperatura no condutor menor ou igual a 80 °C
ST2	Composto à base de policloreto de vinila ou copolímero de cloreto de vinila e acetato de vinila, para temperatura no condutor menor ou igual a 105 °C
ST3	Composto à base de polietileno termoplástico para temperatura no condutor menor ou igual a 80 °C, para cabos com tensões de isolamento inferiores a 6/10 kV, e menor ou igual a 85 °C, para cabos com tensões de isolamento iguais ou superiores a 6/10 kV
ST7	Composto à base de polietileno termoplástico para temperatura no condutor menor ou igual a 90 °C, para cabos com tensões de isolamento inferiores a 6/10 kV, e menor ou igual a 105 °C, para cabos com tensões de isolamento iguais ou superiores a 6/10 kV

Nota:

Para os compostos ST3 e ST7, a temperatura máxima no condutor em regime de sobrecarga deve ser limitada a 115 °C e 130 °C, respectivamente. Entretanto, em função do tipo e condições de instalação do cabo e/ou da tensão de isolamento, pode ser necessário estabelecer limites inferiores aos indicados.

Os compostos termofixos para as coberturas são:

SE1/A	Composto à base de policloropreno, polietileno clorossulfonado, polietileno clorado ou polímeros similares, para temperaturas no condutor menores ou iguais a 90 °C e para cabos com qualquer tensão de isolamento
SE1/B	Composto à base de policloropreno, polietileno clorossulfonado, polietileno clorado ou polímeros similares, para temperatura no condutor menor ou igual a 85 °C, para cabos com tensões de isolamento inferiores a 6/10 kV e menor ou igual a 90 °C, para cabos com tensões de isolamento iguais ou superiores a 6/10 kV

Nota:

Não se recomenda o emprego de compostos do tipo ST1, ST2, SE1/A ou SE1/B para cabos com construção bloqueada longitudinalmente, a menos que estes possuam construção bloqueada transversalmente.

Estão listadas a seguir as coberturas mais utilizadas no mercado: [20]

- **Termoplástica**
  - Policloreto de vinila (PVC)
  - Polietileno (PE) e (HDPE)
  - Poliuretano
  - Polipropileno (PP)
  - Poliamidas (PA)
  - Poliolefinas não halogenadas com baixa emissão de fumaça e de gases tóxicos (SHF)

- **Termofixa**
  - Polietileno clorossulforado (CSP) - Hypalon
  - Policloropreno (PCP) – Neoprene

- **Metálica**
  - Chumbo

Comportamento dos cabos elétricos quando expostos ao fogo:

Durante a ocorrência de incêndio, um cabo elétrico pode ser um elemento propagador de fogo devido aos vários tipos de compostos utilizados em sua isolação e cobertura, e podem ser assim classificados:

- **Cabo propagador de chama:** quando for submetido a uma ação direta da chama, por um curto intervalo de tempo, ele entrará em combustão e manterá a chama mesmo após ela ser retirada.

- **Cabo não propagador de chama:** a chama não se propaga e irá se autoextinguir quando acabar a causa que a gerou.

- **Cabo resistente à chama:** a chama não se propaga e irá se autoextinguir mesmo mediante exposição prolongada. Esta característica é comprovada pelo "Ensaio de Queima Vertical" conforme as séries da norma ABNT NBR NM – IEC 60332.

- **Cabo resistente ao fogo:** mesmo na presença do incêndio o cabo continua operando e mantendo o circuito energizado conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 10301, que estabelece 3 horas de operação sob exposição à chama direta (750 °C).

Características relativas às chamas de alguns compostos:

TABELA 9	
Propagador de chama	Polietileno termoplástico – PE
Não propagador de chama	Policloreto de vinila – PVC
Resistente à chama	Poliolefina não halogenada e PVC aditivado
Resistente ao fogo	Compostos especiais

Cabe comentar que uma importante característica que os cabos elétricos devem possuir quando submetidos ao fogo é a sua baixa emissão de fumaça e gases tóxicos (halógenos), principalmente em locais de alta concentração de pessoas como, por exemplo, metrôs, *shopping centers*, teatros, hospitais, cinemas, escolas, prédios comerciais e residenciais. O composto que confere esta característica é denominado de "poliolefínico não halogenado".

6.10 COMENTÁRIOS PRÁTICOS

Para efeito de instalação dos cabos, dois aspectos serão determinantes na escolha do produto ideal.

Raio mínimo de curvatura

Cada fabricante especifica os próprios limites para esta característica, sendo que o raio mínimo de curvatura é obtido multiplicando-se o diâmetro externo do cabo pelo fator especificado pelo fornecedor.

R Min. de Curvatura = **D**ext x **K** (fator fornecedor)

Este fator pode variar, porém os fabricantes adotam o fator de 8 x diâmetro para cabos sem blindagem e de 10 até 21 x diâmetro para cabos com blindagens metálicas.

Tensão máxima de puxamento

Os valores recomendados também podem variar de acordo com cada fabricante, porém recomenda-se tracionar pelo condutor e não exceder o limite de 7 kgf/mm^2 e quando tracionado pela capa, utilizar camisa de puxamento adotando-se o mesmo limite indicado para o condutor. Recomenda-se o uso de roletes e cavaletes apropriados, que podem ser motorizados para bobinas de maior porte, porém não devem exceder 500 kgf no puxamento.

DIMENSIONAMENTO

COMO DIMENSIONAR O CABO

7. DIMENSIONAMENTO – COMO DIMENSIONAR O CABO

Neste guia, voltado ao segmento de **Infraestrutura de Transporte**, foi adotado o dimensionamento de cabos aplicados para baixa tensão.

Esta escolha foi definida devido à grande utilização destes produtos nas instalações voltadas ao segmento escolhido.

Outras Normas são relacionadas com o dimensionamento de cabos elétricos, tais como a NBR 11301 – "Cálculo de capacidade de condução de corrente de cabos isolados em regime permanente". [23]

7.1. DIMENSIONAMENTO TÉCNICO

Com o propósito de dimensionamento técnico de um circuito de baixa tensão, deve-se aplicar os itens da Norma ABNT NBR 5410:2004 [10], com os quais se determina a seção dos condutores ideais para atender à solicitação de projeto.

Os critérios técnicos básicos desta Norma são:

- Seção nominal mínima do condutor;
- Capacidade de condução de corrente;
- Limites de queda de tensão no condutor;
- Dispositivos de proteção de sobrecarga e curto-circuito;
- Proteção contra os choques elétricos (quando aplicável);
- Dimensionamento dos cabos em circuitos com correntes harmônicas (quando aplicável).

Os cálculos apresentados a seguir são a base para o dimensionamento de um circuito. Para exemplificar os cálculos necessários serão apresentados dados e tabelas.

Outras considerações não abordadas neste guia podem ser esclarecidas em consulta às Normas citadas.

7.1.1. Seção Nominal Mínima do Condutor

7.1.1.1. Seção do Condutor Fase

A seção dos condutores fase, em circuitos de corrente alternada, e dos condutores vivos, em circuitos de corrente contínua, não deve ser inferior ao valor pertinente apontado na Tabela 10.

TABELA 10			
Seção mínima dos condutores [1)]			
Tipo de Linha		Utilização do Circuito	Seção mínima do condutor em cobre (mm^2)
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuito de iluminação	1,5
		Circuito de força [2)]	2,5
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5[3)]
	Condutores nus	Circuitos de força	10
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para equipamento especifico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75[4)]
		Circuitos de extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75

[1)] Seções mínimas ditadas por razões mecânicas.

[2)] Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.

[3)] Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm^2.

[4)] Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm^2.

De acordo com a Tabela 47 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

7.1.1.2. Seção do Condutor Neutro

O condutor neutro deve possuir, no mínimo, a mesma seção dos condutores fase nos seguintes casos:

- Circuitos monofásicos e bifásicos;
- Circuitos trifásicos cuja seção do condutor fase for igual ou inferior a 25 mm^2;
- Circuitos trifásicos nos quais ondas harmônicas são previstas.

Em circuitos trifásicos, é permitida a redução da seção do condutor neutro, nos casos em que as condições a seguir são simultaneamente atendidas:

- Seção do neutro for no mínimo igual a 25 mm^2;
- A máxima corrente admissível seja inferior à capacidade de corrente do condutor neutro com seção reduzida;
- O condutor neutro deve ser protegido contra sobrecorrentes.

Nestes casos, a seção do condutor deve atender a Tabela 11:

TABELA 11	
Seção dos condutores Fase (mm^2)	**Seção reduzida do condutor neutro (mm^2) [1)]**
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185
1) As condições de utilização desta tabela são específicas para circuitos trifásicos em condições determinadas. De acordo com a Tabela 48 – ABNT NBR 5410:2004 [10]	

7.1.1.3. Seção do Condutor de Proteção

A Norma ABNT NBR 5410:2004 recomenda a utilização de condutores de proteção (PE) em condutores isolados, cabos unipolares ou veias de cabos multipolares. A Tabela 12 identifica a seção mínima do condutor de proteção em função da seção dos condutores fase do circuito. Deve ser identificado pela isolação na cor verde-amarela.

Em alguns casos, admite-se a utilização do condutor com a função dupla de neutro e proteção, condutor PEN (PE+N), cuja seção mínima é 10 mm^2 para cabo unipolar ou condutor isolado e 4 mm^2 para veia de cabo multipolar. Deverá ser identificado pela isolação na cor azul claro com identificação por anilhas na cor verde-amarela nos pontos visíveis ou acessíveis, tais como caixas de passagem ou quadros de distribuição.

TABELA 12	
Seção mínima do condutor de proteção	
Seção dos condutores de fase S (mm^2)	Seção mínima do condutor de proteção correspondente (mm^2)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2
1,5	1,5 (mínima)
2,5	2,5
4	4
6	6
10	10
16	16
25	16
35	16
50	25
70	35
95	50
120	70
150	95
185	95
240	120
300	150
400	240
500	240
630	400
800	400
1000	500
De acordo com a Tabela 58 – ABNT NBR 5410:2004 [10]	

7.1.2. Capacidade de Condução de Corrente

O correto dimensionamento da capacidade de condução de corrente garante uma vida satisfatória aos condutores e isolações submetidos aos efeitos térmicos produzidos pela circulação das correntes elétricas durante a vida útil do cabo.

A capacidade de condução de corrente do circuito será obtida pela fórmula a seguir, na qual serão considerados todos os fatores de correção descritos nas tabelas, determinando uma corrente fictícia do circuito I'_{max}:

$$I'_{max} = I_{max} / (f_1 \times f_2 \times f_3)$$

De acordo com o item 6.2.5.1.2 da ABNT NBR 5410:2004, os "métodos de referência" (citados nas tabelas a seguir) são os métodos de instalação, indicados na IEC 60364-5-52, para os quais a capacidade de condução de corrente foi determinada por ensaio ou por cálculo. São eles:

- **A1:** condutores isolados em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;
- **A2:** cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;
- **B1:** condutores isolados em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- **B2:** cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- **C:** cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede de madeira;
- **D:** cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo;
- **E:** cabo multipolar ao ar livre;
- **F:** cabos unipolares justapostos (na horizontal, na vertical ou em trifólio) ao ar livre;
- **G:** cabos unipolares espaçados ao ar livre.

A corrente transportada por qualquer condutor, durante períodos prolongados em funcionamento normal, deve ser tal que a temperatura máxima para serviço contínuo não ultrapasse os valores descritos a seguir:

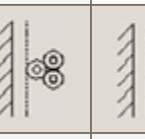
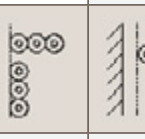
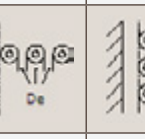
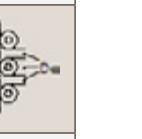
TABELA 13

Tipo de isolação	Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor) °C	Temperatura limite de sobrecarga (condutor) °C	Temperatura limite de curto-circuito (condutor) °C
Policloreto de vinila (PVC) até 300 mm²	70	100	160
Policloreto de vinila (PVC) maior que 300 mm²	70	100	140
Borracha etileno-propileno (EPR)	90	130	250
Polietileno reticulado (XLPE)	90	130	250
De acordo com a Tabela 35 – ABNT NBR 5410:2004 [10]			

TABELA 14												
Seções nominais dos condutores (mm²)	Capacidade de condução de corrente em ampères (A) para os métodos de referências indicados Condutor de Cobre Isolação em PVC Temperatura do condutor: 70 °C Temperatura de referência do ambiente: 30 °C (Ar), 20 °C (Solo)											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1000	767	679	698	618	1012	906	827	738	1125	996	792	652
De acordo com a Tabela 36 – ABNT NBR 5410:2004 [10]												

TABELA 15												
Seções nominais dos condutores (mm²)	Capacidade de condução de corrente em ampères (A) para os métodos de referências indicados Condutor de Cobre Isolação em EPR ou XLPE Temperatura do condutor: 90 °C Temperatura de referência do ambiente: 30 °C (Ar), 20 °C (Solo)											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1122	923	711	596
800	885	792	805	721	1158	1020	952	837	1311	1074	811	679
1000	1014	908	923	826	1332	1173	1088	957	1515	1237	916	767
De acordo com a Tabela 37 – ABNT NBR 5410:2004 [10]												

TABELA 16							
Seções nominais dos condutores (mm²)	Capacidade de condução de corrente em ampères (A) para os métodos de referências indicados Condutor de Cobre Isolação em PVC Temperatura do condutor: 70 °C Temperatura de referência do ambiente: 30 °C						
	Cabos multipolares		Cabos Unipolares [1]				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores Carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
						Horizontal	Vertical
	Método E	Método E	Método F	Método F	Método F	Método G	Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0,5	11	9	11	8	9	12	10
0,75	14	12	14	11	11	16	13
1	17	14	17	13	14	19	16
1,5	22	18,5	22	17	18	24	21
2,5	30	25	31	24	25	34	29
4	40	34	41	33	34	45	39
6	51	43	53	43	45	59	51
10	70	60	73	60	63	81	71
16	94	80	99	82	85	110	97
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	715	597	754	656	689	852	795
500	826	689	868	749	789	982	920
630	958	798	1005	855	905	1138	1070
800	1118	930	1169	971	1119	1325	1251
1000	1292	1073	1346	1079	1296	1528	1448
[1] Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir. - “De”:Diâmetro Externo do condutor.							
De acordo com a Tabela 38 – ABNT NBR 5410:2004 [10]							

TABELA 17							
Seções nominais dos condutores (mm²)	Capacidade de condução de corrente em ampères (A) para os métodos de referências indicados Condutor de Cobre Isolação em EPR ou XLPE Temperatura do condutor: 90 °C Temperatura de referência do ambiente: 30 °C						
	Cabos multipolares		Cabos Unipolares [1]				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores Carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
						Horizontal	Vertical
							
	Método E	Método E	Método F	Método F	Método F	Método G	Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0,5	13	12	13	10	10	15	12
0,75	17	15	17	13	14	19	16
1	21	18	21	16	17	23	19
1,5	26	23	27	21	22	30	25
2,5	36	32	37	29	30	41	35
4	49	42	50	40	42	56	48
6	63	54	65	53	55	73	63
10	86	75	90	74	77	101	88
16	115	100	121	101	105	137	120
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	892	745	940	823	868	1085	1008
500	1030	859	1083	946	998	1253	1169
630	1196	995	1254	1088	1151	1454	1362
800	1396	1159	1460	1252	1328	1696	1595
1000	1613	1336	1683	1420	1511	1958	1849

[1] Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir.
- “De”: Diâmetro Externo do condutor.

De acordo com a Tabela 39 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

7.1.3. Limites de Queda de Tensão

A fórmula seguinte visa determinar a queda de tensão a ser utilizada nas tabelas dos fabricantes de cabos elétricos.

$Z_c = \Delta U / (I_{max} \times \ell)$ sendo, $\Delta U = V \times$ (% de queda de tensão máxima admitida)

Onde:

Z_c – Queda de tensão em V/A.km

ΔU – Limite de queda de tensão em V

I_{max} – Corrente máxima em A

ℓ – Comprimento do circuito em km

V – Tensão do circuito em V

Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos valores descritos a seguir, calculados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

a. 7 %, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
b. 7 %, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
c. 5 %, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
d. 7 %, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.

Notas:

1. Estes limites de queda de tensão são válidos quando a tensão nominal dos equipamentos de utilização previstos for coincidente com a tensão nominal da instalação.

2. Nos casos das alíneas a, b e d, quando as linhas principais da instalação tiverem um comprimento superior a 100 m, as quedas de tensão podem ser aumentadas de 0,005 % por metro de linha superior a 100 m, sem que, no entanto, essa suplementação seja superior a 0,5 %.

3. Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4 %.

4. Quedas de tensão maiores que as indicadas são permitidas para equipamentos com corrente de partida elevada, durante o período de partida, desde que dentro dos limites permitidos em suas normas respectivas.

5. Para o cálculo da queda de tensão num circuito deve ser utilizada a corrente de projeto do circuito.

TABELA 18

Queda de Tensão em V/A.km

Seções nominais (mm²)	Cabos isolados em PVC e Instalação ao ar livre [c]																	
	Cabos unipolares														Cabos unipolares e bipolares Circuito monofásico [B]		Cabos tri e tetrapolares Circuito trifásico	
	Circuito monofásico						Circuito trifásico						Circuito trifásico [B]					
	S=10 cm		S=20 cm		S=2D		S=10 cm		S=20 cm		S=2D							
	FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP	
	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95
1,5	23,6	27,8	23,7	27,8	23,4	27,6	20,5	24,0	20,5	24,1	20,3	24,0	20,2	23,9	23,3	27,6	20,2	23,9
2,5	24,6	17,1	14,7	17,1	14,4	17,0	12,7	14,8	12,7	14,8	12,5	14,7	12,4	14,7	14,3	16,9	12,4	14,7
4	9,3	10,7	9,3	10,7	9,1	10,6	8,0	9,3	8,1	9,3	7,9	9,2	7,8	9,2	9,0	10,6	7,8	9,1
6	6,3	7,2	6,4	7,2	6,1	7,1	5,5	6,3	5,5	6,3	5,3	6,2	5,2	6,1	6,0	7,1	5,2	6,1
10	3,9	4,4	3,9	4,4	3,7	4,3	3,4	3,8	3,4	3,8	3,2	3,7	3,2	3,7	3,6	4,2	3,1	3,7
16	2,6	2,8	2,6	2,8	2,4	2,7	2,2	2,4	2,3	2,5	2,1	2,4	2,0	2,3	2,3	2,7	2,0	2,3
25	1,73	1,83	1,80	1,86	1,55	1,76	1,52	1,59	1,57	1,62	1,40	1,53	1,32	1,49	1,50	1,71	1,31	1,48
35	1,33	1,36	1,39	1,39	1,20	1,29	1,17	1,19	1,22	1,22	1,06	1,13	0,98	1,09	1,12	1,25	0,97	1,08
50	1,05	1,04	1,11	1,07	0,93	0,97	0,93	0,91	0,98	0,94	0,82	0,85	0,75	0,82	0,85	0,93	0,74	0,81
70	0,81	0,76	0,87	0,80	0,70	0,71	0,72	0,67	0,77	0,70	0,63	0,62	0,55	0,59	0,62	0,67	0,54	0,58
95	0,65	0,59	0,71	0,62	0,56	0,54	0,58	0,52	0,64	0,55	0,50	0,47	0,43	0,44	0,48	0,50	0,42	0,43
120	0,57	0,49	0,63	0,52	0,48	0,44	0,51	0,43	0,56	0,46	0,43	0,39	0,36	0,36	0,40	0,41	0,35	0,35
150	0,50	0,42	0,56	0,45	0,42	0,38	0,45	0,37	0,51	0,40	0,38	0,34	0,31	0,30	0,35	0,34	0,30	0,30
185	0,44	0,36	0,51	0,39	0,37	0,32	0,40	0,32	0,46	0,35	0,34	0,29	0,27	0,25	0,30	0,29	0,26	0,25
240	0,39	0,30	0,45	0,33	0,33	0,27	0,35	0,27	0,41	0,30	0,30	0,24	0,23	0,21	0,26	0,24	0,22	0,20
300	0,35	0,26	0,41	0,29	0,30	0,23	0,32	0,23	0,37	0,26	0,28	0,21	0,21	0,18	0,23	0,20	0,20	0,18
400	0,32	0,22	0,37	0,26	0,27	0,21	0,29	0,20	0,34	0,23	0,25	0,19	0,19	0,15	_	_	_	_
500	0,28	0,20	0,34	0,23	0,25	0,18	0,26	0,18	0,32	0,21	0,24	0,17	0,17	0,14	_	_	_	_
630	0,26	0,17	0,32	0,21	0,24	0,16	0,24	0,16	0,29	0,19	0,22	0,15	0,16	0,12	_	_	_	_
800	0,23	0,15	0,29	0,18	0,22	0,15	0,22	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,15	0,11	_	_	_	_
1000	0,21	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,20	0,13	0,25	0,16	0,20	0,13	0,14	0,10	_	_	_	_

Notas:
A) Os Valores da tabela admitem uma temperatura de 70 °C
B) Válido para instalação em eletroduto não magnético e diretamente enterrado.
C) Aplicável à fixação direta a parede ou teto, eletrocalha aberta, ventilada ou fechada, espaço de construção, bandeja, prateleiras, suportes e sobre isoladores;
D) FP – Fator de potência do circuito;
E) S - Distância entre circuitos;
F) D – Diâmetro do Cabo.
Tabela orientativa, fornecida pelo fabricante.
Seguir tabela do fabricante eleito para fornecimento do cabo.

TABELA 19																		
Queda de Tensão em V/A.km																		
Seções nominais (mm^2)	Cabos isolados em EPR ou XLPE e Instalação ao ar livre [c]																	
	Cabos unipolares														Cabos unipolares e bipolares Circuito monofásico [B]		Cabos tri e tetrapolares Circuito trifásico	
	Circuito monofásico						Circuito trifásico						Circuito trifásico [B]					
	S=10 cm		S=20 cm		S=2D		S=10 cm		S=20 cm		S=2D							
	FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP		FP	
	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95
1,5	23,8	28,0	23,9	28,0	23,6	27,9	20,7	24,3	20,5	24,1	20,4	24,1	20,4	24,1	23,5	27,8	20,3	24,1
2,5	14,9	17,4	15,0	17,5	14,7	17,3	12,9	15,1	13,0	15,1	12,8	15,0	12,7	15,0	14,6	17,3	12,7	15,0
4	9,4	10,9	9,5	10,9	9,2	10,8	8,2	9,5	8,2	9,5	8,0	9,4	7,9	9,3	9,1	10,8	7,9	9,3
6	6,4	7,3	6,4	7,3	6,2	7,2	5,5	6,3	5,6	6,3	5,4	6,2	5,3	6,2	6,1	7,1	5,3	6,2
10	3,9	4,4	4,0	4,4	3,7	4,3	3,4	3,8	3,5	3,8	3,3	3,7	3,2	3,7	3,6	4,2	3,2	3,7
16	2,58	2,83	2,64	2,86	2,42	2,74	2,25	2,46	2,31	2,48	2,12	2,39	2,05	2,35	2,34	2,70	2,03	2,34
25	1,74	1,85	0,18	1,88	1,61	1,77	1,53	1,61	1,58	1,64	1,41	1,55	1,34	1,51	1,52	1,73	1,32	1,50
35	1,34	1,37	1,40	1,41	1,21	1,30	1,18	1,20	1,23	1,23	1,06	1,14	0,99	1,10	1,15	1,26	0,98	1,09
50	1,06	1,05	1,12	1,09	0,94	0,99	0,94	0,92	0,99	0,95	0,83	0,87	0,76	0,83	0,86	0,95	0,75	0,82
70	0,81	0,77	0,88	0,80	0,70	0,71	0,72	0,68	0,78	0,70	0,63	0,63	0,56	0,59	0,63	0,67	0,54	0,58
95	0,66	0,59	0,72	0,62	0,56	0,54	0,59	0,52	0,64	0,55	0,50	0,48	0,43	0,44	0,48	0,50	0,42	0,44
120	0,57	0,49	0,63	0,53	0,48	0,45	0,51	0,44	0,56	0,46	0,43	0,40	0,36	0,36	0,40	0,41	0,35	0,35
150	0,50	0,42	0,57	0,46	0,42	0,38	0,45	0,38	0,51	0,41	0,39	0,34	0,32	0,31	0,35	0,35	0,30	0,30
185	0,44	0,36	0,51	3,90	0,38	0,32	0,40	0,32	0,46	0,35	0,34	0,29	0,27	0,26	0,30	0,29	0,26	0,25
240	0,39	0,30	0,45	0,33	0,33	0,27	0,35	0,27	0,41	0,30	0,30	0,24	0,23	0,21	0,26	0,24	0,22	0,21
300	0,35	0,26	0,41	0,29	0,30	0,24	0,32	0,24	0,37	0,26	0,28	0,21	0,21	0,18	0,23	0,20	0,20	0,18
400	0,31	0,23	0,38	0,26	0,27	0,21	0,29	0,21	0,34	0,23	0,25	0,19	0,19	0,16	_	_	_	_
500	0,28	0,20	0,34	0,23	0,25	0,18	0,26	0,18	0,32	0,21	0,24	0,17	0,17	0,14	_	_	_	_
630	0,26	1,17	0,32	0,21	0,24	0,16	0,24	1,60	0,29	0,19	0,22	0,15	0,16	0,12	_	_	_	_
800	0,23	0,15	0,29	0,18	0,22	0,15	0,22	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,15	0,11	_	_	_	_
1000	0,21	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,21	0,13	0,25	0,16	0,20	0,13	0,14	0,10	_	_	_	_

Notas:

A) Os Valores da tabela admitem uma temperatura de 90 °C

B) Válido para instalação em eletroduto não magnético e diretamente enterrado.

C) Aplicável à fixação direta a parede ou teto, eletrocalha aberta, ventilada ou fechada, espaço de construção, bandeja, prateleiras, suportes e sobre isoladores;

D) FP – Fator de potência do circuito;

E) S - Distância entre circuitos;

F) D – Diâmetro do Cabo.

Tabela orientativa, fornecida pelo fabricante.

Seguir tabela do fabricante eleito para fornecimento do cabo.

7.1.4. Fator de Correção para Temperatura Ambiente

O indicado é a aplicação de fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30 °C para linhas não subterrâneas e de 20 °C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas:

TABELA 20		
Temperatura °C	**Isolação**	
	PVC	EPR ou XLPE
Do Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
35	0,94	0,96
40	0,87	0.91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41
Do solo		
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38
De acordo com a Tabela 40 – ABNT NBR 5410:2004 [10]		

7.1.5. Fator de Correção da Resistividade Térmica do Solo

Nas tabelas 15 e 16, os valores atribuídos para a capacidade de condução de corrente em linhas subterrâneas são válidos para uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W.

Quando a resistividade térmica do solo for superior a este valor (como é o caso de solos muito secos), os valores devem ser adequadamente reduzidos, exceto quando o solo na vizinhança imediata dos cabos elétricos seja substituído por terra, ou material equivalente, com dissipação térmica mais favorável. A Tabela 21 fornece fatores de correção para resistividades térmicas do solo diferentes de 2,5 K.m/W.

Notas:

1. O valor de 2,5 K.m/W é o recomendado pela IEC quando o tipo de solo e a localização geográfica não são especificados.

2. Os valores de capacidade de condução de corrente, indicados nas tabelas do item 7.1.2 para linhas subterrâneas, referem-se apenas a percursos no interior ou em torno das edificações. Para outras instalações, quando for possível conhecer valores mais precisos da resistividade térmica do solo, em função da carga, os valores de capacidade de condução de corrente podem ser calculados pelos métodos especificados na ABNT NBR 11301.

TABELA 21

Fatores de correção para linhas subterrâneas em solo com resistividade térmica diferente de 2,5 K.m/W

Resistividade térmica K.m/W	1	1,5	2	3
Fator de correção	1,18	1,1	1,05	0,96

Notas

1) Os fatores de correção dados são valores médios para as seções nominais abrangidas nas tabelas 14 e 15, com uma dispersão geralmente inferior a 5 %.

2) Os fatores de correção são aplicáveis a cabos em eletrodutos enterrados a uma profundidade de até 0,8 m.

3) Os fatores de correção para cabos diretamente enterrados são mais elevados para resistividades térmicas inferiores a 2,5 K.m/W e podem ser calculados pelos métodos indicados na ABNT NBR 11301.

De acordo com a Tabela 41 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

7.1.6. Fator de Correção para Agrupamento de Circuitos

TABELA 22

Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe (em linhas abertas ou fechadas) e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	14 a 17 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				14 e 15 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				16 e 17 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Notas

1. Esses fatores são aplicáveis a grupos homogêneos de cabos, uniformemente carregados.

2. Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução.

3. O número de circuitos ou de cabos com o qual se consulta a tabela refere-se à quantidade de grupos de dois ou três condutores isolados ou cabos unipolares, cada grupo constituindo um circuito (supondo-se um só condutor por fase, isto é, sem condutores em paralelo), e/ou à quantidade de cabos multipolares que compõe o agrupamento, qualquer que seja essa composição (só condutores isolados, só cabos unipolares, só cabos multipolares ou qualquer combinação).

4. Se o agrupamento for constituído, ao mesmo tempo, de cabos bipolares e tripolares, deve-se considerar o número total de cabos como sendo o número de circuitos e, de posse do fator de agrupamento resultante, a determinação das capacidades de condução de corrente, nas tabelas 14 a 17, deve ser então efetuada:

• Na coluna de dois condutores carregados, para os cabos bipolares;

• Na coluna de três condutores carregados, para os cabos tripolares.

5. Um agrupamento com N condutores isolados, ou N cabos unipolares, pode ser considerado composto tanto de N/2 circuitos com dois condutores carregados quanto de N/3 circuitos com três condutores carregados.

6. Os valores indicados são médios para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5 %.

De acordo com a Tabela 42 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

TABELA 23						
Fatores de correção aplicáveis a agrupamentos consistindo em mais de uma camada de condutores - Métodos de referência C (tabelas 14 e 15), E e F (tabelas 16 e 17)						
		Quantidade de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada				
		2	3	4 ou 5	6 a 8	9 e mais
Quantidade de Camadas	2	0,68	0,62	0,60	0,58	0,56
	3	0,62	0,57	0,55	0,53	0,51
	4 ou 5	0,60	0,55	0,52	0,51	0,49
	6 a 8	0,58	0,53	0,51	0,49	0,48
	9 e mais	0,56	0,51	0,49	0,48	0,46

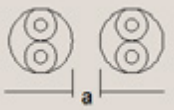
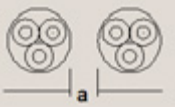
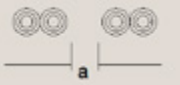
Notas

1. Os fatores são válidos independentemente da disposição da camada, se horizontal ou vertical.

2. Sobre condutores agrupados em uma única camada, ver tabela 22 (linhas 2 a 5 da tabela).

3. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

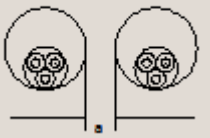
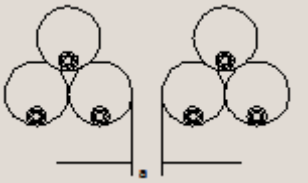
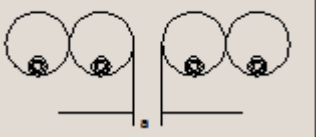
De acordo com a Tabela 43 – ABNT NBR 5410/2004 [10]

TABELA 24					
Fatores de agrupamento para mais de um circuito - Cabos unipolares ou cabos multipolares diretamente enterrados					
Número de circuitos	Distâncias entre cabos (a)				
	Nula	Um diâmetro de cabo	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
Cabos multipolares			Cabos unipolares		
					

Notas

Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as dimensões de cabos abrangidas nas tabelas 14 e 15. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até ± 10 % em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

De acordo com a Tabela 44 – ABNT NBR 5410/2004 [10]

TABELA 25				
Fatores de agrupamento para linhas em eletrodutos enterrados[1)]				
Número de circuitos	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,80
Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos [2)] Um condutor por eletroduto				
Número de circuitos (grupos de dois ou três condutores)	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0.90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90
(a)				
Cabos multipolares	Cabos unipolares			
				

1. Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as seções de condutores constantes nas tabelas 14 e 15. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até ±10 % em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

2. Deve-se atentar para as restrições e problemas que envolvem o uso de condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos metálicos quando se tem um único condutor por eletroduto.

De acordo com a Tabela 45 – ABNT NBR 5410:2004 [10]

7.1.7. Dispositivos de Proteção

Dispositivos de proteção são capazes de prover simultaneamente proteção contra correntes de sobrecarga e de curto-circuito. Esses dispositivos devem poder interromper qualquer sobrecorrente inferior ou igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que o dispositivo for instalado.

Só se admite um dispositivo com capacidade de interrupção inferior, se houver, a montante*, outro dispositivo com a capacidade de interrupção necessária.

(*) “a montante” significa “o circuito acima”.

Tais dispositivos podem ser:

a. Disjuntores conforme ABNT NBR 5361, ABNT NBR IEC 60947-2, ABNT NBR NM 60898 ou IEC 61009-2.1;
b. Dispositivos fusíveis tipo gG, conforme ABNT NBR IEC 60269-1 e ABNT NBR IEC 60269-2 ou ABNT NBR IEC 60269-3;
c. Disjuntores associados a dispositivos fusíveis, conforme ABNT NBR IEC 60947-2, ABNT NBR NM 60898 ou ABNT NBR 5410:2004.

Geralmente, dispositivos capazes de prover apenas proteção contra as correntes de sobrecarga possuem característica de atuação a tempo inverso, e podem apresentar uma capacidade de interrupção inferior à corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação. Devem satisfazer às prescrições de 5.3.4 da ABNT NBR 5410:2004.

Dispositivos capazes de prover apenas proteção contra as correntes de curto-circuito podem ser utilizados quando a proteção contra sobrecargas for provida por outros meios, ou nos casos em que se admite omitir a proteção contra sobrecargas. Esses dispositivos devem poder interromper qualquer corrente de curto-circuito inferior ou igual à corrente de curto-circuito presumida.

Podem ser empregados:

a. disjuntores conforme ABNT NBR 5361, ABNT NBR IEC 60947-2, ABNT NBR NM 60898 ou IEC 61009-2.1;
b. dispositivos fusíveis com fusíveis tipo gG, gM ou aM, conforme ABNT NBR IEC 60269-1 e ABNT NBR IEC 60269-2 ou ABNT NBR IEC 60269-3.

7.2. EXEMPLO DE CABO PARA O SEGMENTO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

Após os conceitos e tabelas apresentados no item 7.1, serão apresentados os cálculos, considerando um exemplo de cabo elétrico conforme disposto a seguir.

Para o segmento de **Infraestrutura de Transporte** em questão, será utilizado um cabo padrão de mercado para o uso em baixa tensão, com as seguintes propriedades:

- Baixa emissão de fumaça e gases tóxicos;
- Classe de encordoamento 5;
- Isolação termofixa (90 °C);
- A ser instalado em eletroduto não magnético aparente em local com alta concentração de pessoas.

Esse cabo pode atender a diversas áreas dentro do segmento estudado, tais como: áreas comuns de aeroportos, estações metroferroviárias, embarques e desembarques, e outros locais com grande fluxo de pessoas.

Será considerado um circuito com as seguintes condições:

- Alimentação 220/380 V – Trifásico (3F+N);
- Cabo tetrapolar;
- Operação em 380 V;
- 60 Hz;
- Temperatura ambiente de 40 °C;
- Corrente de projeto máxima de 75 A;
- Queda de tensão máxima de 2 %;
- Fator de potência: 0,80;
- Comprimento do circuito: 100 m;
- Instalação em eletroduto aparente.

Cálculo segundo o critério de condução de corrente:

Condutor fase:

- Fator de correção de temperatura (f_1) - Tabela 20:
    - Para temperatura ambiente igual a 40 °C e isolação em XLPE tem-se:

$$f_1 = 0,91$$

- Fator de correção de agrupamento (f_2) - Tabela 22:
    - Eletroduto fechado, referência 1, circuito único, tem-se:

$$f_2 = 1{,}00$$

- Fator de correção de carregamento do neutro (f_3):
    - Caráter geral, este fator é de 0,86 para circuitos com três condutores carregados. Conforme NBR 5410 item 6.2.5.6.

$$f_3 = 0{,}86$$

- Corrente fictícia de projeto I'_{max}

$$I'_{max} = I_{max} / (f_1 \times f_2 \times f_3) = 75/(0{,}91 \times 1{,}00 \times 0{,}86) = 95{,}83 \text{ A}$$

- Método de instalação B2 – Para maiores formas de instalação, consultar Tabela 33 – Tipos de linhas elétricas da NBR 5410:2004.

- B2 - Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede.

- Tabela 15 – Cabo tetrapolar em cobre, isolado em EPR/XLPE método de instalação B2 e três condutores carregados mais neutro, busca-se na coluna 9 da referida tabela o valor de I'_{max}:

Como I'_{max} = 95,83 A, adota-se o valor imediatamente superior na tabela, ou seja, 105 A.

Portanto, a seção do condutor fase será de 25 mm²

$$S_F = 25 \text{ mm}^2$$

- Condutor de proteção Tabela 12:

Para S_F = 25 mm² tem-se:

$$S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$$

- Queda de tensão (Z_c):

ΔU = 2 % x Tensão do circuito

220/380 V temos 2 % x 380 V ⟷ ΔU = 7,6 V

$$I_{max} = 75\ A$$

$$\ell = 100\ m = 0{,}1\ km$$

$$Z_c = \Delta U / (I_{max} \times \ell)$$

$$Z_c = 7{,}6 / (75 \times 0{,}1) = 1{,}01\ V/A.km$$

- Tabela 19 de queda de tensão:

Circuito trifásico, FP 0,80, tem-se o valor imediatamente abaixo, ou seja, o valor 0,98 V/A.km, determinando o condutor com a seção de 35 mm²

- Portanto tem-se:
  - Seção dos condutores fase

$$S_F = 35\ mm^2$$

  - Seção dos condutores de proteção

$$S_{PE} = 16\ mm^2\ *$$

(*) Utilizado o mesmo critério descrito na Tabela 12.

Portanto, ao serem consideradas as condições estabelecidas nessa aplicação, encontra-se o cabo dimensionado a seguir:

Cabo multicondutor - **3x35 mm² + 1x16 mm²**

Isolação termofixa em HEPR – 90 °C

Características específicas:

- Não propagação e autoextinção da chama;
- Baixa emissão de fumaça;
- Baixa emissão de gases tóxicos.

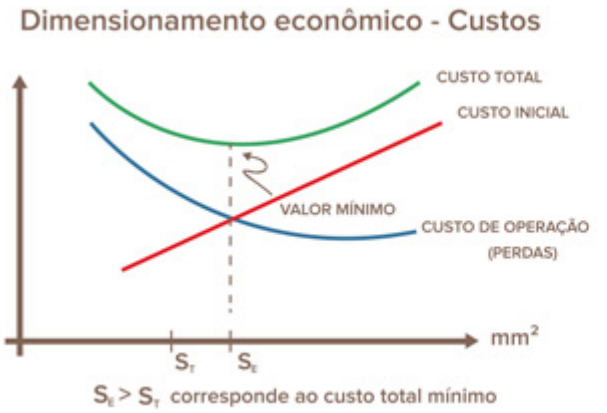
Os fabricantes reservam famílias de produtos com suas respectivas denominações comerciais que atendam a estes requisitos especificados anteriormente. A eleição do fornecedor entre os fabricantes será de livre escolha do projetista.

7.3. DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO E AMBIENTAL

O ICA/Procobre disponibiliza em seu site o *software* para Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos de baixa tensão (até 1000 V) - DEAC conforme Norma ABNT NBR 15920. [6] [31]

Para o exemplo adotado acima, considerando-se o critério de dimensionamento técnico e utilizando-se do citado *software*, obtem-se os cálculos correspondentes para o cabo multicondutor - **3x35 mm² + 1x16 mm²**.

Utilizando-se o *software* DEAC verifica-se que ele oferecerá como opção para este investimento o cabo **3x50 mm² + 1x25 mm²**.



Denomina-se como seção econômica (S^{ec}) de um circuito aquela seção que resulta no menos custo total de instalação e operação de um condutor elétrico durante sua vida econômica considerada.

Veja os valores comparativos entre estes dois circuitos:

TABELA 26			
Circuito	**Custo Inicial R$**	**Custo Operacional R$**	**Custo Total R$**
3x35 mm² + 1x16 mm²	33.681,00	64.000,00	97.681,00
3x50 mm² + 1x25 mm²	48.112,00	44.800,00	92.912,00

Com a utilização do *software* de Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos, pode-se verificar que a melhor escolha é a utilização de uma seção superior, no caso 50 mm^2. Pode-se verificar pelos cálculos de ganho ambiental mostrados a seguir:

TABELA 27				
Substituição do Circuito	**Economia de investimento (R$)**	**Tempo de retorno do investimento (Anos)**	**Economia de Energia (kWh)**	**Ganho ambiental na redução de CO_2 (Kg-CO_2)**
3x35 mm^2 + 1x16 mm^2	4.769,00	15	48.000	3.037
3x50 mm^2 + 1x25 mm^2				

Pode-se verificar que as reduções de CO_2 obtidas pelo uso do cabo calculado pelo critério de dimensionamento econômico, durante a vida econômica considerada, será superior a 3 toneladas de CO_2 que deixarão de ser emitidas para a atmosfera.

Tomando-se como exemplo a simples substituição de um único circuito de 75 A, é fácil perceber o quanto isso pode contribuir para a preservação e sustentabilidade ambiental.

Pode-se extrapolar esse exemplo para o grande número de circuitos contidos no projeto de um edifício comercial, *shopping center* ou hospital – ou mesmo para qualquer aplicação em que se valorize o meio ambiente e a sustentabilidade do planeta, fazendo com que milhares de toneladas de CO_2 deixem de ser emitidas para a atmosfera.

A ENGENHARIA

DE APLICAÇÃO DOS CABOS ELÉTRICOS

8. A ENGENHARIA DE APLICAÇÃO DOS CABOS ELÉTRICOS

A engenharia, por definição, é a aplicação do conhecimento científico, social, econômico e prático com intuito de inventar, criar, desenvolver, construir e melhorar processos, produtos, materiais e sistemas.

A engenharia de aplicação voltada aos cabos elétricos discorre sobre o conhecimento, identificação e desenvolvimento do processo de instalação e operação de circuitos elétricos – passando pelo projeto, especificação, recebimento, manutenção e destino final do produto depois de decorrido seu tempo de vida útil.

A determinação dos corretos meios de aplicação destes produtos, das normas aplicáveis, das possíveis inovações tecnológicas, dos novos materiais e processos são premissas para o desenvolvimento e para a consolidação da aplicação de produtos e métodos.

Nesse contexto, é primordial a correta determinação e especificação dos cabos elétricos que devem ser aplicados em um determinado projeto, objetivando atender integralmente às necessidades dos clientes. A relação "fabricante-cliente" – tendo como foco a engenharia de aplicação – fortalece de forma saudável esse vínculo, de modo a resultar na troca de experiências positivas para ambas as partes, o que faz com que o fabricante busque soluções técnicas para uma determinada situação de projeto e com que o cliente utilize um produto que atenda integralmente ao seu projeto, garantindo um desempenho adequado.

Resumidamente, pode-se sinalizar passos básicos para o início de um processo de engenharia de aplicação de cabos elétricos:

- Identificar uma necessidade para a especificação de um cabo;
- Elaborar uma descrição técnica (de modo mais completo possível), informando também as características especiais que o produto deve conter;
- Interagir com o fabricante de cabos para a correta especificação do produto;
- Garantir e assegurar a correta aplicação, conforme o projeto e a necessidade do cliente final.

8.1. COMO REDIGIR A ESPECIFICAÇÃO DE UM CABO ELÉTRICO

Quando da emissão de solicitação de cotação de preços ao mercado, é comum encontrar-se descrições excessivamente resumidas, o que faz com que o fabricante de cabos, por falta de informações, apresente uma proposta técnica-comercial diferente da necessidade real do cliente.

A seguir, estão indicadas as características principais que devem ser avaliadas para uma completa descrição de produto:

- Tipo do condutor (metal, nu ou estanhado, têmpera, tipo e classe de encordoamento);
- Classe de tensão;
- Número de condutores fase e seção nominal em mm^2;
- Blindagem do condutor;
- Isolação;
- Temperatura de operação em regime normal;
- Blindagem da isolação – Parte não metálica;
- Blindagem da isolação – Parte metálica (fio e/ou fita de cobre + têmpera + seção em mm^2);
- Enchimento;
- Capa interna;
- Armação;
- Cobertura externa (indicar classe de temperatura);
- Cor da cobertura externa;
- Identificação das veias isoladas;
- Gravação;
- Norma de fabricação;
- Características técnicas especiais;
- Tipo de acondicionamento* (conforme ABNT NBR 11137) e comprimento do lance em metros;
- Garantia;
- Informar os ensaios que devem ser efetuados (rotina, especiais ou tipo);
- Tipo de inspeção – a) com inspetor no local da produção; b) não haverá inspeção, sendo necessário o envio de relatórios juntamente com o produto; ou c) outra forma de inspeção.

(*) É importante esclarecer que para os fios de cobre utilizados em instalações de edificações, o acondicionamento padrão de mercado é o rolo de 100 m.

A seguir, está indicado um modelo de descrição técnica para uma solicitação de cotação de material, cujo produto contém várias partes componentes:

Descrição do produto

Condutor de cobre estanhado, têmpera mole, redondo compacto, classe de encordoamento 2, 3 x 50 mm^2, 12/20 kV, blindagem do condutor com camada semicondutora aplicada por extrusão, isolação com composto termofixo de XLPE para temperatura normal de operação de até 90 °C, blindagem da isolação com camada semicondutora aplicada por extrusão (retirada a frio) + fios de cobre nu com têmpera mole e seção de 6 mm^2, reunião das veias com enchimento interno química e termicamente compatível com os demais componentes do cabo e aplicado no centro da reunião das veias quando necessário, capa interna com composto termoplástico, armação com fios de aço galvanizado, cobertura com composto termoplástico PVC tipo ST2 na cor preta. As veias isoladas devem ser identificadas por números através de fios ou fitilhos coloridos. A cobertura externa deverá ser gravada de acordo com a norma de fabricação.

Norma de fabricação

O cabo deverá ser produzido conforme Norma ABNT NBR 7287 - Cabos de potência com isolação sólida extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de isolamento de 1 kV a 35 kV – Requisitos de desempenho. [24]

Característica(s) especial(ais)

O cabo deverá conter bloqueio contra a penetração longitudinal de água.

Acondicionamento

O material deverá ser acondicionado em bobinas de madeira conforme ABNT NBR 11137 com lance de 350 m.

Ensaios

Deverão ser realizados os ensaios de rotina conforme norma ABNT NBR 7287 e os respectivos relatórios de ensaios enviados juntamente com o produto.

Esclarecimentos ao leitor:

Os ensaios a serem realizados nos cabos elétricos podem ser assim descritos:

- Ensaios de Recebimento: são os ensaios determinados por Norma e realizados conforme planos de amostragem. São testes de desempenho, capacidade e qualidade, não destrutivos:
    - Ensaios de rotina;
    - Ensaios especiais;

- Ensaios de Tipo: são ensaios determinados por Norma e realizados para determinar a capacidade e o desempenho do produto, geralmente são destrutivos e com custos altos;
- Ensaios previstos para a instalação: durante e após a aplicação final do produto previsto em projeto.

Inspeção

A inspeção será final, em fábrica, e realizada com a presença de inspetor.

Esclarecimentos ao leitor:

A forma de inspeção de recebimento deverá ser determinada e poderá ser realizada em fábrica através de inspetor quando necessário ou em laboratórios externos previamente determinados entre comprador e fornecedor.

- O cliente pode desenvolver seu Plano de Inspeção e Testes (PIT, também denominado PICQ – Plano de Inspeção e Controle de Qualidade) quando precisar determinar seu plano de amostras e formas de inspeção e controle;
- Existem empresas especializadas em inspeções independentes que desenvolvem trabalhos voltados a realizar e assegurar esses testes em grandes projetos. Elas atuam realizando inspeção de controle, qualidade e quantidade, cumprindo com todos os requisitos regulamentares previstos no projeto.

Garantia

O período de garantia deve ser de 18 meses da compra ou 12 meses da instalação, prevalecendo o prazo que primeiro ocorrer.

Condição de entrega:

O material deverá ser entregue na condição CIF (*cost, insurance and freight*) “custo, seguro e frete” e no formato:

<Nome Completo / Empresa>

<Tipo> <Logradouro>, <Número> - <Complemento>

<Bairro> - <CEP>

<Cidade/Município/Localidade>, <Estado> - <País>

Nota:

É importante esclarecer que a descrição apresentada acima se trata de um exemplo meramente didático e deverá ser adaptada ao caso real desejado.

8.2. APLICAÇÃO DE PRODUTOS NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

Para agregar conhecimento e enriquecer o conteúdo sobre Infraestrutura de Transporte desse Guia, o ICA/Procobre solicitou às empresas que atuam neste setor - oferecendo produtos e serviços de engenharia - para que contribuíssem com orientações e análises de casos encontrados em campo.

Foram elencadas algumas características básicas dos cabos de acordo com cada um dos segmentos de Infraestrutura de Transporte abordados.

As informações a seguir representam um resumo dos dados coletados, uma vez que podem existir particularidades nessas instalações que exijam características específicas com decorrentes variações.

PORTUÁRIO

O ambiente portuário está sujeito a condições severas de aplicação, cujas principais são:

- **Corrosão:** os cabos elétricos estão sujeitos ao desgaste gradual do ataque químico e físico devido à interação com o ambiente. O ambiente salino inerente a portos marítimos já é um grande agressor, que, aliado aos inúmeros produtos químicos de transbordo, pode resultar em uma possível modificação da atmosfera;

- **Proteção mecânica:** O ambiente portuário está sujeito à movimentação de maquinário pesado, excesso de peso, acidentes em manobras e práticas agressivas de carregamento (pá carregadeira, conchas, dentre outros) e queda de material sobre os cabos elétricos;

- **Proteção contra a explosão:** O ambiente portuário, como descrito anteriormente, pode conter materiais de transbordo que modifiquem a atmosfera local, gerando risco de explosão ou início de incêndio. Pode conter também áreas específicas de inflamáveis;

- **Aterramento:** O sistema de proteção portuário é extremamente importante em todos os tipos de operação, sejam galpões, instalações elétricas, equipamentos de transporte de produtos, esteiras transportadoras, gruas, braços de carregamento e equipamentos em geral.

A confiabilidade do sistema deve ser levada em consideração, pois uma manutenção corretiva não planejada gera altos custos, com danos emergentes e lucros cessantes, perdas que demonstram a grande vantagem dos cabos em cobre quando adequadamente especificados e instalados.

A Tabela 28 elenca as classes de encordoamento e os locais onde são instalados os diferentes tipos de cabos elétricos. Cabe esclarecer que o conteúdo desta tabela, como também as informações técnicas deste item buscam representar a maioria dos cabos elétricos utilizados neste setor, contudo, variações podem ocorrer devido à ampla variedade de cabos e as particularidades de cada projeto:

TABELA 28		
Tipos de cabos elétricos utilizados	**Classes de encordoamento**	**Local onde utilizado**
Cabos de cobre nu	2	Sistemas de aterramento
Fios e cabos para instalação predial 750 V, conhecidos como BW: "*Building Wire*"	5	Edificações em geral
Cabos de controle e instrumentação	5	Nas máquinas operatrizes (aquelas com movimentação), por exemplo em pórticos (*Portainers* e *Transtainers*)
Cabos de potência 0,6/1 kV	2 e 5	Bombas (drenagem de água, tratamento de rede de esgotos, dentre outras) e iluminação externa
Cabos de potência de média tensão (exemplo: 15/25 kV)	2	Subestações e distribuição de energia
Cabos de uso móvel em baixa e média tensão (nestes cabos podem ser incorporadas fibras ópticas no seu interior visando aumentar a velocidade da comunicação entre a máquina e o centro operacional)	5 e 6	*Portainers* (*) e *Transtainers* (**)

(*) O que é um *Portainer*: Pórtico utilizado na área portuária, realizando as operações de embarque e desembarque de contêineres em um navio.

(**) O que é um *Transtainer*: Pórtico para a movimentação, carregamento e descarregamento de contêineres nos pátios portuários. Estes tipos de pórticos são mais comumente encontrados em docas secas, mas também podem ser instalados dentro de galpões.

Exemplos de alguns tipos de *transtainers*:

- **RTG** (***Rubber Tired Gantry Cranes*** – Guindastes Pórticos com Pneus de Borracha);
- **RMG** (***Rail Mounted Gantry Cranes*** – Guindastes Pórticos Montados em Trilho);
- **ASC** (***Automated Stacking Cranes*** – Guindastes Empilhadores Automatizados).

Em função de locais específicos de instalação, os cabos necessitam possuir resistência aos agentes químicos. Estão elencados a seguir os principais benefícios que os cabos elétricos com condutores em cobre oferecem para a aplicação no setor portuário:

- Confiabilidade das conexões;
- Maior flexibilidade e otimização de espaço na instalação, facilitando o lançamento em longas distâncias em rotas não retilíneas, portanto, o uso de cabos flexíveis também visa à facilidade, segurança e redução de custos operacionais nas instalações;

- Raio de curvatura reduzido;
- Resistência à corrosão do condutor;
- Maior capacidade de corrente e menor perda por aquecimento.

Tipos de isolações usualmente utilizadas:

- **PVC;**
- **EPR e HEPR:** em função da classe de temperatura de operação do cabo (maior ampacidade).

Tipos de coberturas usualmente utilizadas:

- **PVC:** para os cabos de potência em baixa e média tensão;
- **NEOPRENE:** para os cabos de uso móvel (dependendo do tipo de projeto o Hypalon pode ser utilizado).

Este segmento exige algumas características a serem consideradas nos cabos de uso móvel utilizados em Pórticos, tais como:

- Resistência aos esforços mecânicos;
- Resistência às intempéries, pois os cabos são instalados ao tempo;
- Flexibilidade.

Não é comum a utilização de armações neste segmento, contudo, quando utilizadas nas instalações da infraestrutura portuária, poderão ser em fitas de aço galvanizado, fios de aço galvanizado ou fitas corrugadas e intertravadas. Por outro lado, apesar de evidente, cabe comentar que os cabos de uso móvel utilizados em máquinas e equipamentos não possuem armação para permitir a flexibilidade exigida.

Este segmento segue as Normas ABNT NBR e, de maneira geral, as empresas não elaboram suas próprias normas.

Os tipos de instalação utilizados são as canaletas (de alvenaria – no solo), eletrodutos corrugados enterrados e leitos (nas subestações).

AEROPORTUÁRIO

O ambiente aeroportuário também está sujeito a condições de aplicação, cujas principais são:

- **Corrosão:** o ambiente é um grande agressor que aliado aos inúmeros produtos químicos, combustíveis e lubrificantes podem modificar o solo e a atmosfera;

- **Proteção mecânica:** o ambiente está sujeito à movimentação de maquinário pesado, excesso de peso, acidentes em manobras e práticas agressivas de carregamento (aeronaves, caminhões, ônibus, veículos pesados, dentre outros).

Exemplo: na instalação dos condutores elétricos na área de pista e pátio, utiliza-se somente instalação enterrada em banco de dutos (eletrodutos de PVC envelopados com concreto, dimensionados para suportar os excessivos esforços mecânicos da superfície);

- **Proteção contra a explosão:** algumas áreas são classificadas e podem estar sujeitas às condições de risco de explosão ou início de incêndio, bem como áreas específicas de inflamáveis. Exemplo: local de abastecimento de combustível, gás GNV (Gás Natural Veicular) e gás GLP (Gás Liquefeito de Petróleo);

- **Aterramento:** o sistema de proteção é extremamente importante em todos os tipos de operação, sejam aeronaves, hangares, instalações elétricas, equipamentos de transporte, esteiras, gruas, rampas de acesso e equipamentos em geral. Em aeroportos, é utilizado o maior nível de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA - Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas).

A Tabela 29 elenca as classes de encordoamento e os locais onde são instalados os diferentes tipos de cabos elétricos. Cabe esclarecer que o conteúdo desta tabela, como também as informações técnicas deste item buscam representar a maioria dos cabos elétricos utilizados neste setor, contudo, variações podem ocorrer devido à ampla variedade de cabos e as particularidades de cada projeto:

TABELA 29

Tipos de cabos elétricos utilizados	Classes de encordoamento	Local onde é utilizado
Cabos de cobre nu	2	SPDA e aterramento utilizados em instalação predial, pistas e pátios
Cabos de cobre com isolação ou coberto	5 e 6	Aterramento temporário móvel
Fios e cabos para instalação predial 750 V, conhecidos como BW: *"Building Wire"* com características de baixa emissão de fumaça e gases tóxicos e livre de halogênio	5	Instalações prediais
Fios e cabos para instalação predial 750 V, conhecidos como BW: *"Building Wire"*	5	Hangares e instalações externas
Cabos de controle, instrumentação e auxílios visuais	5 e 6	Pistas, pátios e sítios para auxílio à navegação aérea (salas de controle, painéis de comando e equipamentos eletrônicos da navegação aérea)
Cabos de potência 0,6/1 kV	2 e 5	Instalações prediais, elevadores, elevadores de carga dos hangares e oficina de manutenção
Cabos de potência até 69 kV	2 e 5	Transmissão e distribuição de energia elétrica
Cabos para auxílios luminosos 3,6/6 kV	2	Pistas
Cabos de uso móvel	5	Alimentação da aeronave através da GPU (*General Power Unity*) e também em gerador de emergência móvel para outras finalidades (GMG Diesel - Grupo Moto Gerador)
Busway blindado de cobre	Barramento	Áreas comerciais e administrativas

No caso de cabos para auxílios luminosos em aeroportos, existe Norma específica ABNT NBR 7732:2011 – “Cabos Elétricos para auxílios luminosos em aeroportos, na tensão de 3,6/6 kV” [25], para aceitação e recebimento de cabos unipolares em cobre isolados em borracha etilenopropileno (EPR ou HEPR) ou polietileno reticulado (XLPE).

Para o emprego de sistemas de aterramento para proteção de auxílios luminosos, utiliza-se a Norma ABNT NBR 12971:1993 – “Emprego de Sistema de aterramento para proteção de auxílios luminosos em aeroportos” [26], que discorre sobre o projeto, execução e manutenção destes sistemas.

No sistema de bagagens, os cabos de energia e controle estão submetidos a altas temperaturas de operação e ficam sujeitos ao envelhecimento prematuro, porém devem garantir segurança aos passageiros em caso de incêndio, assegurando baixa emissão de gases tóxicos (livre de halogênio) e de fumaça.

Há predominância de cabos flexíveis para as instalações prediais, baixa tensão e cabos de uso móvel. Para os cabos de média e alta tensão, verifica-se a utilização da classe 2 de encordoamento.

Da mesma forma que o setor portuário, os principais benefícios que os cabos elétricos com condutores em cobre oferecem para esta aplicação são:

- Confiabilidade das conexões;
- Maior flexibilidade e otimização de espaço na instalação, facilitando o lançamento em longas distâncias em rotas não retilíneas, portanto, o uso de cabos flexíveis também visa à facilidade, segurança e redução de custos operacionais nas instalações;
- Raio de curvatura reduzido;
- Resistência à corrosão do condutor;
- Maior capacidade de corrente e menor perda por aquecimento.

Tipos de isolações usualmente utilizadas:

- **EPR e HEPR:** em função da classe de temperatura de operação do cabo (maior ampacidade);
- **COMPOSTOS NÃO HALOGENADOS:** em locais onde há grande concentração de pessoas (áreas de embarque e áreas administrativas);
- **SILICONE:** em função da segurança em circuitos de segurança e emergência.

Tipos de coberturas usualmente utilizadas:

- **PVC:** para os cabos de potência em baixa, média e alta tensão;
- **COMPOSTOS NÃO HALOGENADOS:** em locais onde há grande concentração de pessoas (áreas de embarque e áreas administrativas);
- **NEOPRENE e HYPALON:** para os cabos de uso móvel.

Principais características que devem ser sempre lembradas, desde o projeto, para a correta especificação dos cabos elétricos de cobre em áreas específicas do setor aeroportuário:

- Resistência mecânica;
- Resistência às intempéries;
- Flexibilidade;
- Resistência à corrosão do condutor;
- Resistência aos agentes químicos, aos combustíveis, aos lubrificantes e à água presente nas áreas de pista.

Os métodos de instalação predominantemente são leitos, bandejas, eletrodutos aparentes ou embutidos, dutos corrugados, galerias, todos previstos nas Normas ABNT NBR 5410 e ABNT NBR 14039, algumas aplicações específicas são adotadas, tais como os cabos de auxílios de pista de (BT) e (MT) utilizados nos controles e alimentação de periféricos e iluminação.

Esse segmento segue as Normas ABNT NBR e Internacionais, sendo que as empresas, de maneira geral, não possuem suas próprias normas.

METROFERROVIÁRIO

Para esse segmento da infraestrutura de transporte será abordado o sistema metroviário.

A Tabela 30 elenca as classes de encordoamento e os locais onde são instalados os diferentes tipos de cabos elétricos. Cabe esclarecer que o conteúdo desta tabela, como também as informações técnicas deste item buscam representar a maioria dos cabos elétricos utilizados neste setor, contudo, variações podem ocorrer devido à ampla variedade de cabos e as particularidades de cada projeto:

TABELA 30		
Tipos de cabos elétricos utilizados	**Classes de encordoamento**	**Local onde é utilizado**
Cabos de cobre nu	2	Sistemas de aterramento em geral
Fios e cabos para instalação predial 750 V, conhecidos como BW: *"Building Wire"* com características de baixa emissão de fumaça e gases tóxicos e livre de halogênio	2 e 5	Estações e edificações de uma forma geral
Cabo de controle 0,6/1 kV com isolação de composto termofixo de borracha etileno-propileno (EPR) e cobertura à base de material poliolefínico termofixo ou termoplástico, possuindo a isolação e a cobertura características de baixa emissão de fumaça e gases tóxicos e livre de halogênio	2 e 5	Sistemas de baixa tensão (Controle), ou seja: Sistemas de comando, controle, proteção e sinalização dos equipamentos das instalações fixas
Cabo de potência 0,6/1 kV com isolação de composto termofixo de borracha etileno-propileno (EPR) e cobertura à base de material poliolefínico termofixo ou termoplástico, possuindo a isolação e a cobertura características de baixa emissão de fumaça e gases tóxicos e livre de halogênio	2 e 5	Sistemas de baixa tensão (Energia), ou seja: Instalações elétricas de força, iluminação e tomadas da linha em geral
Cabo de potência 1,8/3 kV com isolação de composto termofixo de borracha etileno-propileno (EPR) e cobertura à base de material poliolefínico termofixo ou termoplástico, possuindo a isolação e a cobertura características de baixa emissão de fumaça e gases tóxicos e livre de halogênio	2 e 5	Sistemas de 750 Vcc / 1500 Vcc, ou seja: 1) Ligação dos barramentos positivos das subestações retificadoras com o sistema de terceiro trilho. 2) Interligação entre o trilho de rolamento e o negativo das subestações retificadoras. 3) Ligação das seccionadoras e contatores ao longo da linha e do pátio com o terceiro trilho. 4) Interligação dos diversos trechos de terceiro trilho.
Cabo de potência 15/25 kV com isolação de composto termofixo de borracha etileno-propileno (EPR) e cobertura à base de material poliolefínico termofixo ou termoplástico, possuindo a isolação e a cobertura características de baixa emissão de fumaça e gases tóxicos e livre de halogênio	2	Sistemas de média tensão (22 kV), ou seja: 1) Interligação entre a subestação primária e as subestações retificadoras e auxiliares da linha. 2) Interligação entre as subestações retificadoras e entre as subestações auxiliares do sistema de distribuição de 22 kV da linha. 3) Alimentação para as subestações retificadoras da linha, a partir dos cubículos de 22 kV até os terminais dos transformadores dos grupos retificadores. 4) Alimentação para as subestações auxiliares da linha,a partir dos cubículos de 22 kV até os terminais dos transformadores dos serviços auxiliares.
Cabo fendido (ou irradiante)	-	Telecomunicação-VHF (Exemplo: comunicação dos trens com o Centro de Controle Operacional)
Fio *trolley* ranhurado e cabo mensageiro de cobre duro	-	Sistemas de rédea aérea autocompensada e rede aérea rígida

Principais características necessárias dos cabos elétricos com condutores em cobre utilizados em áreas específicas do setor metroviário:

- Confiabilidade;
- Resistência à água;
- Maior flexibilidade e otimização de espaço na instalação.

A título de informação, cabe esclarecer que o fio trolley (ou fio de contato) é usado para a alimentação elétrica aérea de carros móveis movidos à eletricidade (exemplo: trens e ônibus elétricos), sendo utilizado desde os primórdios do sistema ferroviário no Brasil. [18] [32]

Da mesma forma que já citado nos setores anteriores, os principais benefícios que os cabos elétricos com condutores em cobre oferecem para esta aplicação são:

- Confiabilidade das conexões;
- Maior flexibilidade e otimização de espaço na instalação, facilitando o lançamento em longas distâncias em rotas não retilíneas, portanto, o uso de cabos flexíveis também visa à facilidade, segurança e redução de custos operacionais nas instalações;
- Raio de curvatura reduzido;
- Resistência à corrosão do condutor;
- Maior capacidade de corrente e menor perda por aquecimento.

Tipos de isolações usualmente utilizadas:

- **EPR e HEPR**: em função da classe de temperatura de operação do cabo (maior ampacidade);
- **COMPOSTOS NÃO HALOGENADOS**: em locais onde há grande concentração de pessoas (estações, túneis e áreas administrativas);
- **SILICONE**: circuitos de segurança e emergência para continuar operando em situações de incêndio durante determinado tempo.

Tipo de cobertura usualmente utilizada:

- **COMPOSTOS NÃO HALOGENADOS:** em locais onde há grande concentração de pessoas (estações, túneis e áreas administrativas).

Cabos armados com fios ou fitas planas (proteção contra roedores) podem ser utilizados nesse setor, dependendo do tipo de aplicação.

Os métodos de instalação predominantemente são leitos, bandejas, eletrodutos aparentes ou embutidos, dutos corrugados e galerias, todos previstos nas Normas ABNT NBR 5410 e ABNT NBR 14039.

Esse segmento segue as Normas ABNT NBR, sendo que as empresas, de maneira geral, possuem suas próprias especificações técnicas.

8.3. SUGESTÕES PARA ENRIQUECER A RELAÇÃO ENTRE CLIENTE E FABRICANTE

Para a correta especificação de um cabo elétrico devem-se considerar os aspectos técnicos abordados até aqui. Contudo, há outros aspectos que merecem atenção e devem ser observados para que os processos de consulta de preço do cliente, proposta do fabricante de cabo, emissão de ordem de compra do cliente e produção e entrega do cabo pelo fabricante sejam processados sem intercorrências que venham a prejudicar o cumprimento do prazo de entrega, o que resultaria em prejuízo para o andamento da obra.

É importante reforçar que o pedido de ordem de compra esteja perfeitamente alinhado com a consulta de preços do cliente e a proposta do fabricante, com as eventuais dúvidas e discrepâncias devidamente esclarecidas.

Fluxo adequado de informações entre o cliente e fabricante:

A Tabela 31 apresenta os itens que merecem atenção especial pelo fato de ocorrerem com certa frequência no mercado quando da emissão de consultas de preço e ordens de compra:

TABELA 31	
SITUAÇÕES	**CONSEQUÊNCIAS**
• Informar um lance(s) ou a quantidade total de cabo errados ou estimados. • Informar a quantidade total de cabo como sendo o comprimento do circuito (circuito trifásicos). Ou seja, 1.000 m de cabo onde o correto seria 3.000 m. • Comunicar ao fabricante, após vários dias da emissão da ordem de compra, a correção do(s) fato(s) acima.	• Necessidade de nova produção. • Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente. Motivos do não atendimento: ✓ Se a nova quantidade for maior, o fabricante poderá não ter matérias-primas em estoque e os seus fornecedores não conseguirem agilizar a entrega. Caso a nova quantidade seja menor, o fabricante poderá não ter como atender, pois não desejará ficar com matéria-prima não consumida em estoque ou, eventualmente, a quantidade reduzida seja menor do que a quantidade mínima de fornecimento do fabricante. ✓ O fabricante poderá ter dificuldades em mudar seu planejamento de produção devido aos compromissos com demais ordens de compra em andamento.
• Lance grande	• Pode gerar bobina com dimensão muito grande e peso significativo, gerando problemas no recebimento do produto: ✓ Dificuldades para descarregar a bobina. ✓ Cavalete não suporta as dimensões e peso da bobina.
• Informar a tolerância do lance errada. • Comunicar ao fabricante, após vários dias da emissão da ordem de compra, uma correção de tolerância.	• Necessidade de nova produção. • Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente. Motivos do não atendimento: ✓ Fabricante não tem como atender à tolerância solicitada. As tolerâncias do lance indicadas nas normas ABNT NBR são: 3 % para cabos isolados e 5 % para cabos nus (a tolerância total do fornecimento deverá ser negociada com o fabricante).
• Informar a tolerância do lance de um circuito trifásico que não seja real ou deixar de informá-la.	• Fornecimento com um lance inadequado ou com o padrão do fabricante e, consequentemente, poderá não atender ao comprimento necessário para as fases do circuito trifásico devido às tolerâncias de fabricação gerarem lances distintos.
• Informar a unidade de medida equivocada (o padrão do mercado é: “cabos de cobre nu” em quilograma e “cabos isolados” em metro).	• Produção equivocada em termos de quantidade podendo resultar em necessidade de nova produção e atrasos na entrega.
• Devido à falta de planejamento no momento da emissão da consulta de preços e ordem de compra, as quantidades, descrições de produtos e a indicação de normas técnicas são informadas equivocadamente.	• Geralmente, esta situação é percebida somente no momento do recebimento do material. • Necessidade de nova produção. • Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
• Informar a cor de cobertura ou isolação (cabo sem cobertura) que não seja um padrão de fornecimento do fabricante.	• Necessidade de negociação entre cliente e fabricante. Risco de não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
• Emitir ordem de compra sem observar eventuais comentários e conteúdo da proposta técnica-comercial do fabricante de cabos.	• Necessidade de renegociação entre cliente e fabricante. • Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
• Informar que haverá inspeção somente próximo à data do faturamento, uma vez que, equivocadamente, não ter sido informada na ordem de compra. • Agendar inspeção em dias e horários não coordenados com o fabricante.	• Fabricante não terá tempo hábil para o planejamento da inspeção, bem como, funcionário disponível para o recebimento do inspetor devido às inspeções de outras ordens de compra. • Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
• Local de entrega do material não tem o CNPJ estabelecido. • Não indicar eventuais incentivos fiscais obtidos.	• Gerar faturamento equivocado ou a impossibilidade de efetuar o faturamento e entrega do material. • Não atendimento do prazo de entrega desejado pelo cliente.
• Cancelamento de ordem de compra de cabos a serem produzidos (produtos que não fazem parte da política de estoque do fabricante).	• Muitos fabricantes não aceitam o cancelamento deste tipo de ordem de compra (dependendo do momento do cancelamento) por já terem adquirido as matérias-primas necessárias.

9. CONCLUSÃO

O ICA/Procobre espera que este Guia tenha enriquecido o conhecimento dos leitores sobre a aplicação de cabos elétricos no segmento de Infraestrutura de Transporte.

Foram apresentados conceitos técnicos e características direcionadas ao projeto de cabos elétricos, procurando oferecer, de forma simples e didática, os caminhos para a correta determinação dos cabos elétricos a serem utilizados.

Os setores de Infraestrutura de Transporte abordados neste trabalho apontaram algumas características próprias dos cabos elétricos de cobre, tais como a maior resistência à corrosão do condutor, a maior confiabilidade nas conexões elétricas e a possibilidade de utilizar cabos flexíveis para otimizar o espaço na instalação – qualidade que, além de facilitar o lançamento em longas distâncias em rotas não retilíneas, também visa aumentar a segurança e reduzir custos operacionais nas instalações.

Para os setores aeroportuário e metroferroviário foi ressaltada a importância da utilização de cabos com características de baixa emissão de fumaça e gases tóxicos e livre de halogênio, uma vez que nesses locais há grande concentração de pessoas.

No setor portuário a vantagem é poder utilizar cabos de uso móvel em portainers e transtainers para conferir maior vida útil aos cabos elétricos, reduzindo o impacto nas instalações devido aos constantes movimentos destes tipos de equipamentos durante as movimentações de cargas.

O texto destaca ainda a importância da engenharia de aplicação e o cumprimento às Normas ABNT, indispensáveis para a correta elaboração do projeto e para a escolha adequada do produto e da instalação, objetivando eliminar falhas resultantes das divergências entre o projeto e as necessidades e particularidades da aplicação prática, em qualquer dos setores analisados.

Com o estudo fica evidente o valor das características e dos benefícios do cobre, assim como sua importância no setor elétrico e na sustentabilidade do mundo moderno. O objetivo desse Guia foi reunir um conteúdo de qualidade e útil aos profissionais atuantes em eletricidade, que também podem enviar contribuições e sugestões para aperfeiçoar esse estudo (procobre@procobre.org.br)

A proposta do ICA/Procobre é sempre melhorar as informações sobre o uso do cobre e acredita que com a divulgação e distribuição deste Guia pôde contribuir com o leitor e fortalecer o setor de cabos elétricos.

BIBLIOGRAFIA

1. **ABNT.** ABNT NBR 5471:1986 - Condutores Elétricos. 1986.
2. **Group, International Copper Study.** The World Copper Factbook 2015. 2015.
3. **Weisstein, Eric W.** Resistivity. Wolfram Research. [Online] [Citado em: 23 de 01 de 2016.] http://scienceworld.wolfram.com/
4. **Georgia State University.** Thermal Conductivity. HyperPhysics. [Online] 2016. [Citado em: 2016 de 01 de 23.] http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/thrcn.html
5. **MDJ.** COMPARAÇÃO DE CUSTO ENTRE CABOS ISOLADOS DE BAIXA TENSÃO EM COBRE E ALUMÍNIO - Projeto de Analise de Ciclo de Vida. s.l. : International Copper Association, 2011.
6. **Moreno, Hilton.** Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos. s.l. : Procobre, 2010.
7. **Copper Alliance, Initiative and partners.** [Online] 16 de 04 de 2015. [Citado em: 23 de 01 de 2016.] http://help.leonardo-energy.org/hc/en-us
8. **Procobre.** Procobre - Beneficios Sociais. [Online] Procobre. http://procobre.org/pt/
9. **Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.).** Climate Change 2007: Synthesis Report Synthesis Report. [Online] 2007. [Citado em: 2016 de 01 de 26.] www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf
10. **ABNT.** NBR 5410-1 = Instalações elétricas de baixa tensão - Proteção e segurança. 2004.
11. ABNT. NBR 14039 —. Instalações elétricas de média tensão 1,0 kV a 36,2 kV. Instalações elétricas de média tensão 1,0 kV a 36,2 kV. s.l. : ABNT, 2005.
12. ABNT. NBR 15920 —. Cabos elétricos — Cálculo da corrente nominal — Condições de operação — Otimização econômica das seções dos cabos de potência. Cabos elétricos — Cálculo da corrente nominal — Condições de operação — Otimização econômica das seções dos cabos de potência. 2011.
13. **ICA/Procobre.** Energia fotovoltaica ganha competitividade. [Online] 2016. [Citado em: 06 de 05 de 2016.] http://procobre.org/pt/beneficios-sociais/sustentavel/
14. **Cutri, Prof. Dr. Rodrigo.** O Portal da Eficiência Energética - Construções Sustentáveis. [Online] [Citado em: 23 de 01 de 2016.] http://leonardo-energy.org.br/wpdm-package/construcoes-sustentaveis/
15. **International Copper Association.** Meio ambiente e reciclagem. [Online] 2015. [Citado em: 26 de 01 de 26.] www.campanhacobresustentavel.com.br
16. **Glöser, Simon, Soulier, Marcel e Espinoza, Luis A. Tercero.** Dynamic Analysis of Global Copper Flows. Global Stocks, Postconsumer Material Flows, Recycling Indicators, and Uncertainty Evaluation. 2013.
17. **Brasil, Portal.** Conheça o panorama do setor aeroportuário brasileiro. [Online] 03 de 06 de 2014. [Citado em: 23 de 01 de 2016.] www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/06/conheca-o-panorama-do-setor-aeroportuario-brasileiroview

18. **Sampaio, Patricia Regina Pinheiro e Daychoum, Mariam Tchepurnaya.** REGULAÇÃO E CONCORRÊNCIA INTRAMODAL NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE. [Online] 20 de 07 de 2015. [Citado em: 23 de 01 de 2016.] http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/14375

19. **ANTP.** Sistema de Informações da Mobilidade Urbana - Relatório Comparativo 2003-2013 - Maio de 2015. 2015.

20. **FPD, Faculdade Pio Décimo.** Cabos Elétricos Curso de Engenharia - Faculdade Pio Décimo - Aracajú. [Online] [Citado em: 2016 de 01 de 23.] http://www.ebah.com.br/content/ABAAABVCEAL/cabos-eletricos

21. **Daniel, Mário.** Características construtivas dos cabos de energia. [Online] 14 de 10 de 2014. [Citado em: 2016 de 01 de 23.] www.kitacessorios.com.br/caracteristicas-construtivas-dos-cabos-de-energia/

22. **Gomes, Manuel Morato.** Polímeros / Elastómeros / Borrachas. Rubberpedia. [Online] [Citado em: 23 de 01 de 2016.] www.rubberpedia.com

23. **ABNT.** ABNT NBR 11301 - Cálculo de capacidade de condução de corrente de cabos isolados em regime permanente. s.l. : ABNT - Associação de Normas Técnicas, 1990.

24. ABNT NBR 7287:2014 - Cabos de potência com isolação sólida extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de isolamento de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho. 2014.

25. ABNT NBR 7732:2011 - Cabos elétricos para auxílios luminosos em aeroportos, na tensão de 3,6 kV/6 kV. 2011.

26. ABNT NBR 12971:1993 - Emprego de sistema de aterramento para proteção de auxílios luminosos em aeroportos - Procedimento. 1993.

27. NBR 5349:1997 - Cabos nus de cobre mole para fins elétricos - Especificação. 1997.

28. **Espinoza, Dr. Luis Tercero.** COPPER STOCKS & FLOWS, RECYCLING AND. [Online] 24 de 02 de 2015. [Citado em: 23 de 01 de 2016.] http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es400069b

29. **The Hartford Loss Control Department.** Aluminium Wiring: Understanding the Problem and the Solutions. [Online] 2002. [Citado em: 23 de 01 de 2016.] http://help.leonardo-energy.org/hc/en-us/articles/203085132-Installation-and-repair-of-power-cables-Copper-vs-aluminium

30. **Boone, Win, Kacker, Arnav e Bal, Remco.** Copper and Aluminium: A Comparison of Life-Cycle Cost. [Online] 14 de 10 de 2015. [Citado em: 23 de 01 de 2016.] www.jicable.org/2015/content/Programme/pdfCreator/242_E1.2_JICABLE15_0039.pdf

31. **ICA Brazil.** Software DEAC – Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores. [Online] 22 de 01 de 2016. [Citado em: 26 de 01 de 2016.] http://leonardo-energy.org.br/wpdm-package/software-deac-dimensionamento-economico-e-ambiental-de-condutores/

32. **Gorni, Antonio Augusto.** http://www.gorni.eng.br/Gorni_ElectroBras_2003.pdf. [Online] 2003. [Citado em: 27 de 01 de 2016.] www.gorni.eng.br

Realização:

International Copper Association Brazil
Copper Alliance

Apoio:

General Cable

Nexans
BRINGS ENERGY TO LIFE

Prysmian Group