

**Recobrimento de condutores****Resumo**

Sabe-se que o condutor elétrico é um produto metálico que possui uma determinada seção transversal normalmente circular e de comprimento bastante elevado. Nesse contexto, este trabalho discorre sobre esse material tendo como objetivo principal analisar o processo de acabamento e recobrimento de condutores elétricos. O estudo foi desenvolvido por intermédio de um levantamento bibliográfico, sendo: pesquisas e consultas em artigos, revistas, internet, dentre outras. Entre os principais autores utilizados no decorrer do estudo foram: Angelo Fernando Padilha, Walfredo Schmidt. O estudo baseou-se no processo de fabricação desses fios: trefilamento e extrusão. O primeiro processo na fabricação do condutor é o trefilamento, que consiste em reduzir o diâmetro do fio de cobre, de maneira progressiva, até ao diâmetro final, para aumentar a sua maleabilidade e condutividade. Foi possível verificar no presente estudo que os materiais elétricos é um objeto importante para a sociedade, para o mercado industrial e, principalmente, para a área elétrica. Constatou-se, assim, que a forma correta de sua fabricação é um processo relevante, visto que, a natureza exige cuidados para não haver poluição durante o processo.

*Palavras-chave:* Processo – Acabamento – Recobrimento – Condutores.

**Abstract**

It is known that the electrical conductor is a metal product that has a certain cross-section usually circular and fairly high length. In this context, this work elaborates on this material with the main objective to analyze the process of finishing and coating of electrical conductors. The study was developed through a literature review, as follows: research and consultation in articles, magazines, internet, among others. Among the main authors used during the study were: Angelo Fernando Padilha, Walfredo Schmidt. The study was based on the manufacturing process of these wires: trefilamento and extrusion. The first process for the manufacture of the conductor is trefilamento, consisting of reducing the copper wire diameter in a progressive manner until the final diameter, to increase its malleability and conductivity. It was verified in this study that electric materials is an important object to the company for the industrial market and especially for the electrical area. It was found, therefore, that the correct form of manufacture is an important process, since nature requires care to be no pollution in the process.

*Keywords:* Process - Finishing - Coating - conductors.

**Francisco Jeandson Rodrigues da Silva**

Jeandson.silva.beq@enel.com  
Faculdades Nordeste – DeVry  
Brasil

---

**1 Introdução**

O objetivo de estudar os Materiais Elétricos é aprimorar o conhecimento nos tipos de materiais que constitui as instalações elétricas, máquinas elétricas, eletrônica analógica e digital e outras.

O engenheiro em algum momento de sua carreira se depara com alguns problemas em projetos que envolva a escolha de materiais. Sabe-se que não existe um procedimento padrão para seguir na hora de escolher os materiais corretos em determinada aplicação. Cada situação é diferente requerendo um conhecimento sobre os materiais e sobre as condições envolvidas no projeto. Entretanto existem alguns pontos gerais que fornecem um ponto de partida, como: o material selecionado precisa possuir propriedades consistentes com as condições de serviço. (Tavares, 2009)

É necessário considerar que para selecionar um material apropriado, primeiro deve-se listar os materiais possíveis e então segue eliminando alguns em função das características não adequadas em relação às propriedades, ou ainda, devido à falta de segurança ou o custo. Se os materiais restantes na lista não preencherem os requisitos há ainda algumas opções, tais como tratar os materiais de maneira apropriada, mudar o ambiente de serviço, produzir uma liga que tenha os efeitos específicos desejados, etc. (Tavares, 2009)

Dessa forma, verifica-se a importância de estudar sobre os materiais elétricos, pois habilita aos estudantes, principalmente, de Engenharia Elétrica a distinguir e recomendar os diversos materiais utilizados em equipamentos e componentes elétricos e magnéticos. A partir disso pode-se fazer uma correlação das propriedades dos metais, ligas, materiais cerâmicos, semicondutores, plásticos e outros tipos de polimerizados com suas propriedades estruturais, além disso, faz com que eles conheçam as tendências atuais e as perspectivas futuras no campo da ciência dos materiais, pois ainda há desafios tecnológicos, inclusive considerações sobre o impacto ambiental da produção dos materiais. (Tavares, 2009)

## 2 Considerações iniciais sobre condutores

Sabe-se que quando um corpo se encontra eletrizado, houve nele um desequilíbrio entre o número de prótons e de elétrons dos átomos do referente corpo. Por isso, a quantidade de carga depende de quantos elétrons foram retirados ou então colocados nele.

Segundo Tavares (2009, p. 24) existem vários exemplos de bons condutores:

- Metais (como o cobre, alumínio, ferro, etc.) usados para enrolamentos de máquinas elétricas e transformadores, etc.
- Ligas metálicas usadas para fabricação de resistências, aparelhos de calefação, filamentos para lâmpadas incandescentes, etc.
- Grafite
- Soluções aquosas (de sulfato de cobre, de ácido sulfúrico. etc.).
- Água da torneira, água salgada, água ionizada (como, por exemplo, as das piscinas);
- Corpo humano;
- Ar úmido.

No caso dos metais (ferro, ouro, platina, cobre e outros) seus átomos são chamados de elétrons livres quando, na sua última órbita eletrônica, perde um elétron mais facilmente. A condução desses elétrons livres ou a circulação da corrente elétrica é evidente tanto em sólidos quanto nos líquidos, como também, em condições favoráveis pode-se ocorrer nos gasosos.

Porém, é visível que, de um modo mais prático, os materiais condutores são sólidos, e dentro desse grupo verifica-se os metais que facilitam no fornecimento de elétrons livres e, esses, são utilizados para a fabricação, especialmente, de fios para cabos e aparelhos elétricos.

Ainda para Tavares (2009, p. 27):

Fio elétrico: produto metálico maciço e flexível, com seção transversal invariável, que pode ou não possuir isolamento e/ou proteção mecânica; e Cabo elétrico: produto metálico composto de fios elétricos justapostos, que pode ou não possuir isolamento e/ou proteção mecânica.

Portanto, o condutor elétrico é um produto metálico que possui uma determinada seção transversal - normalmente circular - e com um comprimento bem elevado. Esse pode ser formado por apenas um único maciço fio metálico ou então por vários fios torcidos.

Sabe-se que um condutor elétrico tem como principal função o transporte de energia elétrica ou transmitir sinais elétricos. Comumente pode ser composto apenas de condutor e isolamento, conhecido como condutores isolados; porém, existem também os condutores unipolares ou multipolares que possuem adicionalmente uma cobertura sobre a isolamento, vale ressaltar que isso depende do número de condutores presente nesse fio (veias).

### 2.1 Materiais mais utilizados como condutores

Quando se trata dos materiais mais utilizados para a fabricação dos condutores elétricos, verifica-se que esses são: o cobre e o alumínio.

### 2.1.1 O Cobre

Sobre esse assunto, o Group Prysmian (2012, p.3) de cabos energia - construção e dimensionamento - explica que:

O cobre, que é o material tradicional, deve ser eletrolítico, ou seja, refinado por eletrólise, de pureza mínima 99,9% (considerando a prata como cobre), recozido (têmpera mole), de condutibilidade 100% IACS (*Internacional Annealed Copper Standard*). Somente em aplicações especiais, torna-se necessária a utilização de cobre de têmperas meio-dura e dura.

O alumínio, normalmente obtido por laminação contínua, vem sendo amplamente empregado como condutor elétrico em virtude principalmente de sua boa trabalhabilidade, menor peso específico e conveniência econômica.

Ainda referente ao cobre Tavares (2009, p. 27) especifica que há vantagens que esse elemento se destaca dentre os outros metais condutores, como:

- Pequena resistividade. Somente a prata tem valor inferior, porém o seu elevado preço não permite seu uso em quantidades grandes;
- Características mecânicas favoráveis;
- Baixa oxidação para a maioria das aplicações. O cobre oxida bem mais lentamente, perante elevada umidade, que diversos outros metais; esta oxidação, entretanto, é bastante rápida quando o metal sofre elevação de temperatura;
- Fácil deformação a frio e a quente: é relativamente fácil reduzir a seção transversal do cobre, mesmo para fios com frações de milímetros de diâmetro.

O cobre possui uma cor avermelhada que se distingue dos demais metais que, exceto o ouro, são na maioria das vezes cinzentos. Quanto a sua condutividade, ou seja, seu grau de pureza percebe-se que ela é muito influenciada quando há impurezas mesmo em pouca quantidade.

Sua resistividade a 20°C é de:  $\rho_{cu} = 1,7241 \mu\text{-cm}^2/\text{cm}$  e seu coeficiente de termoresistividade vale:  $\alpha = 0.00393/^\circ\text{C}$ .

Dentre outras características têm-se a sua resistência a ação da água, de asfaltos, de fumaças, mas pode ser atacado diretamente pelo oxigênio do ar presente quando reagido com alguns ácidos - sulfatos, carbonatos -, sais e amoníacos podem corroer o cobre.

### 2.1.2 Alumínio

O alumínio, segundo metal mais utilizado na eletricidade, tornou-se nos últimos anos uma preocupação sobre a substituição do cobre por ele devido ser mais barato. Por isso tem-se elevado sua preferência, porém, mesmo com esse ponto positivo, existem alguns que lhes prejudicam, como: sua fragilidade mecânica e sua rápida oxidação.

Dentre as características desse elemento o seu pequeno peso específico para Tavares (2009, p. 32) torna-o mais utilizado, principalmente:

- em equipamento portátil, uma redução de peso;
- em partes de equipamento elétrico em movimento, redução de massa, da energia cinética e do desgaste por atrito;
- de peças sujeitas a transporte, maior facilidade nesse transporte, extensiva à montagem dos mesmos;
- em estruturas de suporte de materiais elétricos (cabos, por exemplo) redução do peso e consequente estrutura mais leve;
- em locais de elevada corrosão, o uso particular de ligas com manganês.

Portanto, o uso do alumínio adquiriu, por essas razões, uma importância especial nas instalações elétricas. Outro aspecto evidente é a sua oxidação, como já foi mencionada acima. Ele apresenta uma oxidação extremamente rápida, formando uma fina película de óxido de alumínio que tem a propriedade de evitar que a oxidação se amplie, tornando, assim, apenas superficial. Porém, esta película apresenta uma resistência elétrica elevada com uma tensão de ruptura de 100 a 300V, o que dificulta a soldagem do alumínio, que por essa razão exige pastas especiais. (Tavares, 2009)

### 3 Principais características relevante dos condutores elétricos

Na visão de Padilha (2000, p. 13):

Os materiais metálicos são normalmente combinações de elementos metálicos. Eles apresentam um grande número de elétrons livres, isto é, elétrons que não estão presos a um único átomo. Muitas das propriedades dos metais são atribuídas a estes elétrons. Por exemplo, os metais são excelentes condutores de eletricidade e calor e não são transparentes à luz. A superfície dos metais, quando polida, reflete eficientemente a luz. Eles são resistentes, mas deformáveis. Por isto são muito utilizados em aplicações estruturais.

Os materiais condutores são caracterizados por diversas grandezas, dentre as quais se destacam: condutividade ou resistividade elétrica, coeficiente de temperatura, condutividade térmica, potencial de contato, comportamento mecânico, etc. Estas grandezas são importantes na escolha adequada dos materiais, uma vez que das mesmas vai depender se estes são capazes de desempenhar as funções que lhe são atribuídas. A escolha do material condutor mais adequado, nem sempre recai naquele de características elétricas mais vantajosas, assim, em outro metal ou uma liga, que, apesar de eletricamente menos vantajoso, satisfaz as demais condições de utilização. (Schmidt, 2010)

Sabe-se que os materiais condutores são na maioria sólidos, como no caso dos metais, pois possui uma facilidade de fornecer elétrons livres e, por isso, são utilizados para fabricar os fios de cabos e aparelhos elétricos. No caso dos materiais condutores líquidos, é válido mencionar também os metais em estados de fusão, eletrólitos e as soluções de ácidos, de bases e de sais. Um exemplo particular é o mercúrio, o único metal que se encontra no estado líquido (à temperatura ambiente) e solidifica-se apenas a  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Outro exemplo: em uma solução de água com sal (NaCl), haverá uma dissociação da molécula de cloreto de sódio (NaCl) em íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , que ficam livres para se movimentar pelo interior da solução. (Schmidt, 2010)

Quanto aos gasosos Schmidt (2010, p. 20) especifica que:

Estes adquirem características condutoras sob a ação de campos muito intensos, quando então se podem ionizar. É o caso das descargas através de meios gasosos, como na abertura arco com a formação de um meio condutor conhecido por plasma. Entretanto, normalmente, os gases, mesmo os de origem metálica, não podem ser utilizados nem considerados como condutores.

Os materiais condutores caracterizam-se por uma elevada condutividade elétrica. Possuem também grande capacidade de deformação, moldagem e condutividade térmica. Com exceção do mercúrio e dos eletrólitos, que são condutores líquidos, e do plasma (gás ionizado) que é gasoso, os materiais condutores são geralmente sólidos e, neste caso, incluem-se os metais, suas ligas e não-metais como o carvão, carbono e grafite. Os metais são elementos químicos que formam sólidos opacos, lustrosos, bons condutores de eletricidade e de calor e, quando polidos, bons refletores de luz. A maioria dos metais é forte, dúctil, maleável e, em geral, de alta densidade. (Tavares, 2009)

Em geral os materiais elétricos são classificados em:

- ✓ Elétrico, em materiais condutores, semicondutores e isolantes;
- ✓ O magnético, em materiais ferromagnéticos, diamagnéticos e paramagnéticos.

Todos os materiais apresentam suas limitações de funcionamento, portanto a classificação dos materiais na eletricidade se baseia num comportamento relativo entre eles, e numa característica que predomina em ampla faixa e que é a mais importante na aplicação referida. Então, tem-se procurado um denominador comum para essa classificação, utilizando-se, para tanto, a resistividade transversal do material em questão, para classificação no ponto de vista elétrico, e as grandezas da permeabilidade e da suscetibilidade para os fins magnéticos. (Schmidt, 2010)

Segue abaixo a fórmula para encontrar a resistividade elétrica de um material condutor:

$$p = \frac{R \cdot A}{l}, (\Omega \text{ mm}^2)/\text{m ou } (\Omega \cdot \text{cm})$$

Onde:

p = resistividade elétrica do material ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

R = resistência elétrica (em  $\Omega$ )

A = seção transversal (em  $\text{cm}^2$ )

l = comprimento do corpo condutor (em cm)

Já para encontrar a resistência dos materiais é a lei de Ohm:

$$U = R.I$$

Onde:

u = tensão

R = resistência

I = Corrente elétrica

#### **4 Recobrimento e acabamentos dos condutores (processo de fabricação)**

Constatou-se que os passos a serem seguidos no processo de fabricação são os seguintes:

1. Trefilamento;
2. Cablagens;
3. Isolamento;
4. Cablagem das fases;
5. Proteção auxiliares;
6. Bainha exterior;
7. Controle de qualidade
8. Expedição;
9. Sustentabilidade.

##### **4.1 Trefilamento**

O primeiro passo a ser seguido na fabricação do condutor é o trefilamento. Consiste em reduzir o diâmetro do fio de cobre ou outro material, de maneira progressiva, até ao diâmetro final, para aumentar a sua maleabilidade e condutividade.

##### **4.2 Cablagens**

Depois de feito o trefilado, os fios de cobre ou outro material utilizado recozido são agrupados para formar os condutores. Formam-se, assim, condutores elétricos de seções variadas (seção de 0,5 mm<sup>2</sup> até de 240 mm<sup>2</sup>, 400 mm<sup>2</sup> ou mais). Ou seja, tanto para utilização em potências pequenas quanto em potências altas.

##### **4.3 Isolamento**

O isolamento é o momento em que coloca-se um recobrimento isolante sobre o condutor evitando a fuga de corrente.

##### **4.4 Cablagem das fases**

Consiste em juntar vários condutores isolados para formar um cabo multi-condutor.

##### **4.5 Proteção auxiliares**

Esse processo é utilizado quando é necessário elementos auxiliares que melhoram o nível de proteção metálicas no núcleo dos condutores.

##### **4.6 Bainha exterior**

Denomina-se por bainha exterior uma cobertura polimérica exterior que protege os cabos elétricos. Tem como papel principal isolar o interior do cabo contra umidade, sol, etc. que alteram suas propriedades elétricas.

##### **4.7 Controle de qualidade**

Nesse momento finaliza-se o processo de fabricação do cabo. Aqui a empresa verifica a qualidade do produto antes de comercializar.

##### **4.8 Expedição**

Momento em que são realizadas as encomendas e preparados procedendo-se à sua expedição.

#### 4.9 Sustentabilidade

Em todos os centros de produção das empresas estão estabelecendo sistemas de reciclagem dos resíduos produzidos durante o processo de fabricação de um cabo elétrico.

#### 5 Conclusão

Esta pesquisa teve como principal objetivo elaborar um conjunto de elementos para a representação de como se dá a fabricação de fios elétricos. O foco em engenharia elétrica, não especificamente voltado para a química em si.

A partir desse estudo pode-se adquirir conhecimento e entendimento sobre os fatores que se relacionam em uma seleção correta dos materiais que serão utilizados em alguns projetos.

Mesmo com o progresso na área da engenharia é evidente ainda a necessidade de aprimorar o estudo sobre os materiais elétricos, qualidade e o problema exercido por cada um, pois sabe-se que ainda existe aqueles materiais que causa algum dano principalmente à sociedade. Portanto, uma má escolha gerará algum problema futuro.

Por fim, pode-se concluir, com base nas as observações realizadas no âmbito deste trabalho, que os fios elétricos é um material de extrema importância para eletricidade, para o cotidiano industrial, residencial e para as tecnologias maquinarias.

#### 5 Referências

PADILHA, Angelo Fernando. **Materiais de engenharia: Microestrutura e propriedades**. Editora Hemus, 2000.

SCHMIDT, Walfredo. **Materiais Elétricos condutores e semicondutores**. Volume 1: condutores e Semicondutores. 2ª edição Revista. Editora Edgard Blucher LTDA, 2010.

TAVARES, Prof Carlos Eduardo. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**. 2009. Apostila disponível em: [http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/fabiano/materiais/Nova\\_Apostila\\_MEL\\_2010.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/fabiano/materiais/Nova_Apostila_MEL_2010.pdf) . Acesso em: 20 de setembro de 2016.

PRYSMIAN GROUP. **Cabo energia: construção e dimensionamento**. 2012. Revista disponível em: <http://docslide.com.br/documents/1-cabos-energia-55bd391971ae0.html>. Acesso em: 20 de setembro de 2016.

#### Sobre o autor

##### Francisco Jeandson Rodrigues da Silva

Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade Nordeste – FANOR, Campus Dunas de Fortaleza – CE 10º Semestre

Técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal – IFCE. Atua na empresa B&Q Energia Ltda.