

# TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA



## MÓDULO II MÁQUINAS ELÉTRICAS



Ineprotec



2025 - INEPROTEC

Diretor Pedagógico	EDILVO DE SOUSA SANTOS
Diagramação	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Capa	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Elaboração	INEPROTEC

Direitos Autorais: É proibida a reprodução parcial ou total desta publicação, por qualquer forma ou meio, sem a prévia autorização do INEPROTEC, com exceção do teor das questões de concursos públicos que, por serem atos oficiais, não são protegidas como Direitos Autorais, na forma do Artigo 8º, IV, da Lei 9.610/1998. Referida vedação se estende às características gráficas da obra e sua editoração. A punição para a violação dos Direitos Autorais é crime previsto no Artigo 184 do Código Penal e as sanções civis às violações dos Direitos Autorais estão previstas nos Artigos 101 a 110 da Lei 9.610/1998.

Atualizações: A presente obra pode apresentar atualizações futuras. Esforçamo-nos ao máximo para entregar ao leitor uma obra com a melhor qualidade possível e sem erros técnicos ou de conteúdo. No entanto, nem sempre isso ocorre, seja por motivo de alteração de software, interpretação ou falhas de diagramação e revisão. Sendo assim, disponibilizamos em nosso site a seção mencionada (Atualizações), na qual relataremos, com a devida correção, os erros encontrados na obra e sua versão disponível. Solicitamos, outros sim, que o leitor faça a gentileza de colaborar com a perfeição da obra, comunicando eventual erro encontrado por meio de mensagem para [contato@ineprotec.com.br](mailto:contato@ineprotec.com.br).

**VERSÃO 2.0 (01.2025)**

**Todos os direitos reservados à**  
**Ineprotec - Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico Eireli**  
**Quadra 101, Conjunto: 02, Lote: 01 - Sobreloja**  
**Recanto das Emas - CEP: 72.600-102 - Brasília/DF**  
**E-mail: [contato@ineprotec.com.br](mailto:contato@ineprotec.com.br)**  
**[www.ineprotec.com.br](http://www.ineprotec.com.br)**

# Sumário

<b>ABERTURA</b>	06
<b>SOBRE A INSTITUIÇÃO</b>	06
• Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente	06
• Missão	06
• Visão	06
• Valores	06
<b>SOBRE O CURSO</b>	06
• Perfil profissional de conclusão e suas habilidades	07
• Quesitos fundamentais para atuação	07
• Campo de atuação	07
• Sugestões para Especialização Técnica	08
• Sugestões para Cursos de Graduação	08
<b>SOBRE O MATERIAL</b>	08
• Divisão do Conteúdo	09
• Boxes	09
<b>BASE TEÓRICA</b>	11
<b>INTRODUÇÃO</b>	11
<b>MOTORES E ASPECTOS ELÉTRICOS</b>	11
• Motores Monofásicos	11
• Motores Trifásicos	11
• Alimentação dos Motores	12
• Rigidez Dielétrica	12
• Fator de Potência	12
• Índice de Acidez	13
<b>ISOLANTES E DIELÉTRICOS</b>	13
• Dielétricos gasosos	14
• Dielétricos líquidos	16
✓ Óleos de Grande Pureza	16
✓ Óleos de boa pureza	17

✓ Askarels	17
• Dielétricos Sólidos	18
✓ Ionização Interna	18
✓ Ruptura Intrínseca	18
✓ Ruptura Térmica	19
<b>DIELÉTRICA E SUA RIGIDEZ</b>	19
• Característica da tensão aplicada	20
• Óleos isolantes	20
✓ Óleo mineral isolante	21
✓ Características dos óleos minerais isolantes	21
• Condutores	22
✓ Cabos elétricos	22
• Metais utilizados como condutores elétricos	23
✓ Condutividade elétrica	24
✓ Peso	25
✓ Conexões elétricas	25
• O dimensionamento dos cabos em função da isolação	26
✓ A tensão elétrica	26
✓ A corrente elétrica	26
✓ Temperatura em regime permanente	26
✓ Temperatura em regime de sobrecarga	27
✓ Temperatura em regime de curto-circuito	27
<b>MEDIDAS ELÉTRICAS E SEUS INSTRUMENTOS</b>	27
• Ohmímetro	28
• Wattímetro	29
• Multímetro	30
• Megôhmetro	31
• Alicates Amperímetro	32
<b>MOTORES TIPO CA</b>	33
• Partida Direta	33
• Chave Estrela: Triângulo	34
• Partida com Chave Série: Paralelo	34

• Partida com Chave Compensadora (Auto- Transformador)	34
• Soft- Start (Partida Eletrônica)	35
• Inversor de Frequência	35
<b>OS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA</b>	<b>37</b>
• Tipos de transformadores	38
• Componentes de proteção e manobra	38
<b>SESSÕES ESPECIAIS</b>	<b>40</b>
<b>MAPA DE ESTUDO</b>	<b>40</b>
<b>SÍNTESE DIRETA</b>	<b>42</b>
<b>MOMENTO QUIZ</b>	<b>44</b>
<b>GABARITO DO QUIZ</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>47</b>

MÓDULO II

# MÁQUINAS ELÉTRICAS

## Abertura

### SOBRE A INSTITUIÇÃO

#### Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente

O Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico (INEPROTEC) é uma instituição de ensino que valoriza o poder da educação e seu potencial de transformação.

Nascemos da missão de levar educação de qualidade para realmente impactar a vida dos nossos alunos. Acreditamos muito que a educação é a chave para a mudança.

Nosso propósito parte do princípio de que a educação transforma vidas. Por isso, nossa base é a inovação que, aliada à educação, resulta na formação de alunos de grande expressividade e impacto para a sociedade. Aqui no INEPROTEC, o casamento entre tecnologia, didática e interatividade é realmente levado a sério e todos os dias otimizado para constante e contínua evolução.

#### Missão

A nossa missão é ser símbolo de qualidade, ser referência na área educacional presencial e a distância, oferecendo e proporcionando o acesso e permanência a cursos técnicos, desenvolvendo e potencializando o talento dos estudantes, tornando-os, assim, profissionais de sucesso e cidadãos responsáveis e capazes de atuar como agentes de mudança na sociedade.

#### Visão

O INEPROTEC visa ser um instituto de ensino profissionalizante e técnico com reconhecimento nacional, comprometido com a qualidade e excelência de seus cursos, traçando pontes para oportunidades de sucesso, tornando-se, assim, objeto de desejo para os estudantes.

#### Valores

Ciente das qualificações exigidas pelo mercado de trabalho, o INEPROTEC tem uma visão que prioriza a valorização de cursos essenciais e pouco ofertados para profissionais que buscam sempre a atualização e especialização em sua área de atuação.

### SOBRE O CURSO

O curso TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA pertence ao Eixo Tecnológico de CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS. Vejamos algumas informações importantes sobre o curso TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA relacionadas ao **perfil profissional de**

**conclusão e suas habilidades, quesitos fundamentais para atuação, campo de atuação** e, também, algumas sugestões interessantes para continuação dos estudos optando por **Especializações Técnicas e/ou Cursos de Graduação**.

### Perfil profissional de conclusão e suas habilidades

- Planejar, controlar e executar a instalação e a manutenção de sistemas e instalações elétricas industriais, prediais e residenciais, considerando as normas, os padrões e os requisitos técnicos de qualidade, saúde e segurança e de meio ambiente.
- Elaborar e desenvolver projetos de instalações elétricas industriais, prediais e residenciais, sistemas de acionamentos elétricos e de automação industrial e de infraestrutura para sistemas de telecomunicações em edificações.
- Aplicar medidas para o uso eficiente da energia elétrica e de fontes energéticas alternativas.
- Elaborar e desenvolver programação e parametrização de sistemas de acionamentos eletrônicos industriais.
- Planejar e executar instalação e manutenção de sistemas de aterramento e de descargas atmosféricas em edificações residenciais, comerciais e industriais.
- Reconhecer tecnologias inovadoras presentes no segmento visando a atender às transformações digitais na sociedade.

### Quesitos fundamentais para atuação

- Conhecimentos e saberes relacionados aos processos de planejamento e implementação de sistemas elétricos de modo a assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores e dos usuários.
- Conhecimentos e saberes relacionados à sustentabilidade do processo produtivo, às técnicas e aos processos de produção, às normas técnicas, à liderança de equipes, à solução de problemas técnicos e trabalhistas e à gestão de conflitos.

### Campo de atuação

- Empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que atuam na instalação, manutenção, comercialização e utilização de equipamentos e sistemas elétricos.
- Grupos de pesquisa que desenvolvam projetos na área de sistemas elétricos.
- Laboratórios de controle de qualidade, calibração e manutenção.
- Indústrias de fabricação de máquinas, componentes e equipamentos elétricos.

- Concessionárias e prestadores de serviços de telecomunicações.

### Sugestões para Especialização Técnica

- Especialização Técnica em Automação Predial (Domótica).
- Especialização Técnica em Redes Industriais.
- Especialização Técnica em Acionamentos de Servomotores Industriais.
- Especialização Técnica em Eficiência Energética em Edificações.
- Especialização Técnica em Eficiência Energética Industrial.
- Especialização Técnica em Energia Solar Fotovoltaica.
- Especialização Técnica em Implantação e Comissionamento de Parques Eólicos.
- Especialização Técnica em Biocombustíveis.
- Especialização Técnica em Biogás e Biometano.
- Especialização Técnica em Aproveitamento Energético de Biogás.

### Sugestões para Cursos de Graduação

- Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos.
- Bacharelado em Engenharia Eletrônica.
- Bacharelado em Engenharia Elétrica.
- Bacharelado em Engenharia de Automação e Controle.
- Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações.
- Bacharelado em Engenharia Mecatrônica.
- Bacharelado em Engenharia de Computação.

### SOBRE O MATERIAL

Os nossos materiais de estudos são elaborados pensando no perfil de nossos cursistas, contendo uma estruturação simples e clara, possibilitando uma leitura dinâmica e com volume de informações e conteúdos considerados básicos, mas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de cada disciplina. Lembrando que nossas apostilas não são os únicos meios de estudo.

Elas, juntamente com as videoaulas e outras mídias complementares, compõem os vários recursos midiáticos que são disponibilizados por nossa Instituição, a fim de proporcionar subsídios suficientes a todos no processo de ensino-aprendizagem durante o curso.

### Divisão do Conteúdo

Este material está estruturado em três partes:

- 1) ABERTURA.
- 2) BASE TEÓRICA.
- 3) SESSÕES ESPECIAIS.

#### Parte 1 - ABERTURA

- Sobre a Instituição.
- Sobre o Curso.
- Sobre o Material.

#### Parte 2 – BASE TEÓRICA

- Conceitos.
- Observações.
- Exemplos.

#### Parte 3 – SESSÕES ESPECIAIS

- Mapa de Estudo.
- Síntese Direta.
- Momento Quiz.

### Boxes

Além dessas três partes, no desenvolvimento da BASE TEÓRICA, temos alguns BOXES interessantes, com intuito de tornar a leitura mais agradável, mesclando um estudo mais profundo e teórico com pausas pontuais atrativas, deixando a leitura do todo “mais leve” e interativa.

Os BOXES são:

- VOCÊ SABIA



São informações complementares contextualizadas com a base teórica, contendo curiosidades que despertam a imaginação e incentivam a pesquisa.

- PAUSA PARA REFLETIR...



Um momento especial para descansar a mente do estudo teórico, conduzindo o cursista a levar seus pensamentos para uma frase, mensagem ou indagação subjetiva que leve a uma reflexão pessoal e motivacional para o seu cotidiano.

- SE LIGA NA CHARADA!



Se trata de um momento descontraído da leitura, com a apresentação de enigmas e indagações divertidas que favorecem não só a interação, mas também o pensamento e raciocínio lógico, podendo ser visto como um desafio para o leitor.

## Base Teórica

### INTRODUÇÃO

Em eletricidade, máquinas elétricas são máquinas eletromecânicas cujo funcionamento baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética.

As máquinas elétricas são, basicamente, divididas em dois tipos: máquinas elétricas estáticas e rotativas. As primeiras são aquelas que na sua constituição e durante o seu funcionamento não possuem nenhuma parte em movimento, como é o caso dos transformadores, e as segundas são as que na sua constituição existe uma parte móvel (no sentido rotacional), como é o caso dos motores e geradores.

As máquinas elétricas são classificadas de acordo com o tipo de seu movimento, sua velocidade, a natureza da corrente e o número de fases. Quanto ao movimento classificam-se em máquinas rotativas e máquinas estáticas ou estacionárias. Quanto à velocidade classificam-se em máquinas síncronas e máquinas assíncronas. Quanto à natureza da corrente as máquinas elétricas são classificadas em máquinas de corrente contínua e máquinas de indução ou de corrente alternada. Quanto ao número de fases são classificadas em máquinas monofásicas e máquinas polifásicas, sendo que as máquinas trifásicas são as mais comuns.

### MOTORES E ASPECTOS ELÉTRICOS

O motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da utilização da energia elétrica – baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando – com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

#### Motores Monofásicos

O enrolamento é constituído de pares de polos (polo “norte” e polo “sul”) cujos efeitos se somam. A corrente que percorre o enrolamento cria um campo magnético. O fluxo magnético atravessa o rotor entre os dois “polos” e se fecha através do núcleo do estator. Como a corrente é alternada, então o polo hora é positivo, hora é negativo – logo o rotor “tentará” acompanhar o campo girante do estator. Daí deriva o nome de motor de indução.

#### Motores Trifásicos

O enrolamento trifásico é similar ao monofásico citado acima, com a diferença de que agora existem três fases distribuídas simetricamente, ou seja, defasadas entre si de  $120^\circ$ . Se este enrolamento é alimentado por um sistema trifásico cada corrente  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  criarão do mesmo modo os campos magnéticos  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$ . Estes campos estão espaçados entre si de  $120^\circ$ .

### Alimentação dos Motores

É muito importante que se observe a correta alimentação da rede de energia elétrica. A seleção dos condutores, sejam os dos circuitos de alimentação dos motores, sejam dos circuitos terminais ou de distribuição, deve ser baseada na corrente nominal dos motores, conforme ABNT-NBR 5410.

Os motores trifásicos geralmente são disponíveis nas tensões:

220/380/440 V e 760 V somente para partida ou 380/660 V

Monofásicos em: 110/220 V ou 220/440 V

Outras tensões são possíveis, com prévia consulta ao fabricante.

### Rigidez Dielétrica

É a propriedade de um dielétrico de se opor a uma descarga disruptiva; é medida pelo gradiente de potencial sob o qual se produz essa descarga. O teste de rigidez dielétrica revela a presença no óleo de agentes contaminantes tais como a água, sujeira e partículas condutoras. Existem dois métodos para testar a rigidez dielétrica: o de discos (NBR – 6869 e ASTM – D877) e o de esferas (ASTM – D1816).

O método de esferas é preferido, em virtude de sua maior sensibilidade para teste de óleos novos e de boa qualidade. O método de discos é mais adequado para testes de óleo usado e de qualidade inferior. Uma rigidez dielétrica alta indica alta capacidade do óleo de resistir a esforços elétricos sem falhar.



#### VOCÊ SABIA?

O fenômeno de ruptura dielétrica do ar é responsável pela formação das descargas elétricas atmosféricas, popularmente conhecidas como raios.

### Fator de Potência

O fator de potência é definido como o quociente entre as perdas consumidas em watts

e os volt-ampéres, quando testados com tensão senoidal em condições determinadas. Incrementos elevados do fator de potência indicam contaminação ou deterioração por água, oxidações, partículas em suspensão, etc. Uma vez que as perdas aumentam com a temperatura, os testes de fator de potência devem ser referenciados a uma mesma temperatura. (20° C).

### Índice de Acidez

A ASTM D-974 define o índice de acidez como a quantidade de base, expressa em miligramas de hidróxido de potássio, necessária para neutralizar os constituintes ácidos contidos em uma amostra de óleo mineral. A formação de acidez inicia-se logo após o óleo ser colocado no tanque do transformador. O efeito de agitação, produzido pela vibração eletromagnética, pancadas, e, especialmente o calor, acelera a deterioração em função do tempo. As diminutas partículas de água colaboram para a oxidação e formação de ácidos. Essa reação é catalisada pelo cobre dos enrolamentos.

## ISOLANTES E DIELÉTRICOS

Os isolantes e os dielétricos são substâncias nas quais, ao contrário dos condutores, os elétrons estão fortemente ligados ao núcleo do átomo.

Podem-se mencionar mais de vinte propriedades que deveriam ter os materiais isolantes para que atendessem plenamente a todas as exigências impostas pelas máquinas elétricas.

Nenhum dos materiais conhecidos até o momento é capaz de atender a todas as exigências elétricas e mecânicas necessárias para ser considerado um isolante perfeito.

Considerações:

- a) A característica Isolante está relacionada com a habilidade de limitar o fluxo da Corrente. Está relacionada com a Resistividade do Material e as características do campo elétrico.
- b) Um material dielétrico deve também ser um meio isolante, mas suas propriedades são descritas por sua constante dielétrica, rigidez dielétrica, absorção dielétrica e fator de potência.
- c) Portanto, como um dielétrico deve possuir algumas propriedades de um isolante, e vice-versa, ambos os termos costumam ser usados indistintamente.
- d) A propriedade isolante está mais associada à função que o material deve atender para uma dada situação.

e) Assim, um dielétrico com diferentes espessuras, ou usado em diferentes temperaturas, frequências ou intensidade de campo elétrico, poderá ser ou não um isolante adequado.

CLASSE TÉRMICA	T° DO PONTO MAIS QUENTE (° C) *	MATERIAIS OU COMBINAÇÃO DE MATERIAIS
O	90	Algodão, Seda e Papel não impregnados
A	105	Algodão, Seda e Papel adequadamente impregnados, envolvidos ou imersos em dielétrico líquido (Óleo)
B	130	Mica, Fibra de vidro, Asbesto, etc., com substâncias aglutinadas adequadas para operação com 130 °C
F	155	Mica, Fibra de Vidro, Asbesto, etc., com substâncias aglutinadas adequadas para operação com 155 °C
H	180	Elastômero de Silicone, Mica, Fibra de vidro, Asbesto, etc., com substâncias aglutinadas adequadas tais como resinas e outros materiais com capacidade de operação em 180 °C
-	220	Materiais em que a experiência ou os testes de aceitação mostrem que são adequados para operar a 220 °C
C	Acima de 220	Isolação que consiste inteiramente de mica, porcelana, vidro, quartzo ou materiais orgânicos similares capazes de operar com temperaturas acima de 220 °C

*Figura 1: Classe térmica.*

Basicamente existem 3 (três) tipos diferentes de dielétricos: Gasosos, líquidos e sólidos. O mecanismo de ruptura para cada um desses três tipos será apresentado na sequência.

Muitos dielétricos são combinações desses três tipos, como papel (dielétrico sólido) impregnado com óleo (dielétrico líquido).

### Dielétricos gasosos

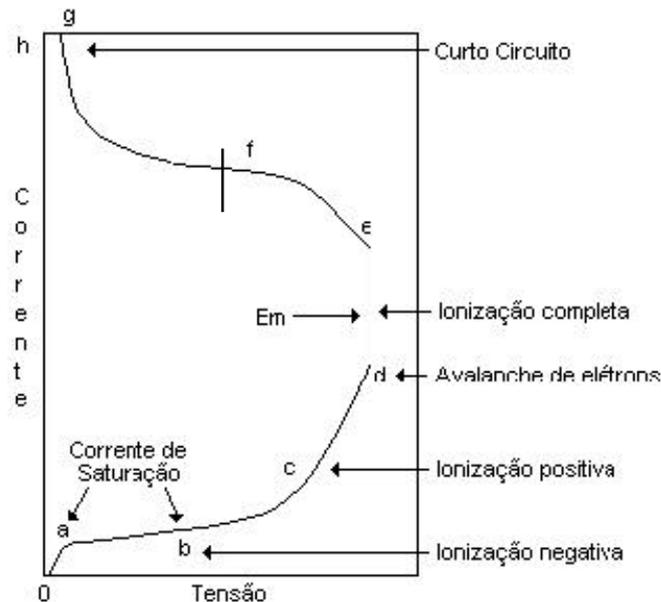
Dos três tipos básicos de dielétricos, o mecanismo de ruptura dos gasosos é o mais fácil de entender. Isto se deve ao fato de possuírem uma estrutura atômica e molecular relativamente simples.

- ✓ **Ionização:** quando se aplica um campo elétrico a um gás, há uma força tendendo a atrair os núcleos dos átomos para o eletrodo negativo e os elétrons para o eletrodo positivo. Isto acontece também com os elétrons e íons positivos livres existentes nos gases. Como a tensão aplicada inicialmente é pequena, a corrente inicial será pequena também. Entre os pontos “a” e “b” na figura abaixo, não há aumento de corrente, apesar de a tensão crescer. Quando o campo é aumentado (a partir do ponto “b”) os elétrons livres adquirem velocidades maiores e ao colidirem com átomos neutros, muitos elétrons desses átomos saem de suas órbitas e são separados dos núcleos, sobrando mais íons positivos e elétrons livres. Esses elétrons produzem

novos íons positivos e elétrons livres por sucessivas colisões. Esta ação é acumulativa e a corrente aumenta rapidamente quando a tensão atinge o ponto “c”.

Apesar dos elétrons possuírem uma massa muito menor que a dos íons positivos, eles gastam uma energia muito maior nas colisões, devido à sua velocidade ser maior.

No ponto “c” os íons positivos atingem velocidade suficiente para produzir novos íons e elétrons nas colisões, contribuindo na ionização e aumento da corrente. Este processo é chamado de “avalanche de elétrons”.



**Figura 2:** Características de ionização e ruptura dos gases.

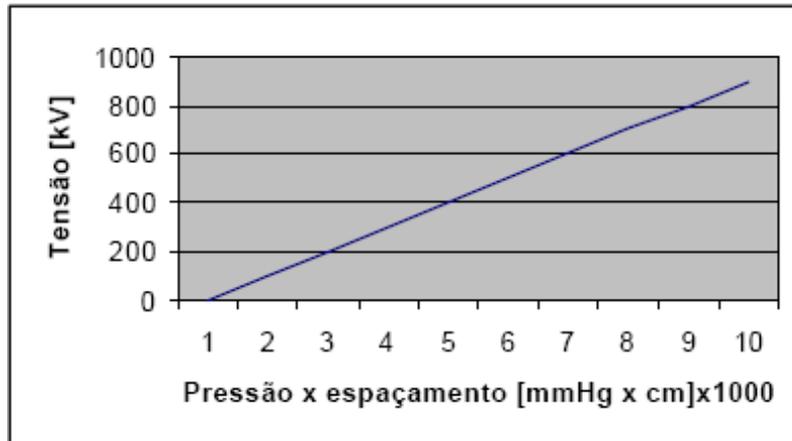
- ✓ **Ruptura:** a corrente em “a” é da ordem de alguns microampères e a corrente em “h” algo em torno de  $10^8$  vezes maior que a corrente em “a”. A tensão máxima em depende da pressão e do espaçamento entre os elétrodos. Com ar a uma pressão de 76cm de Hg com 1 cm de espaçamento entre os elétrodos, em será da ordem de 30kV.
- ✓ **Lei de Paschen:** a lei de Paschen, descoberta por ele mesmo em 1889, dá o potencial como função da massa de gás entre os elétrodos.

$$E_s = f(p, d)$$

Onde:

- ❖ **p** : é a pressão absoluta.
- ❖ **d** : é o espaço entre os elétrodos.

A figura (figura 3) abaixo ilustra a lei de Paschen para o ar com altos valores de “pd”.



**Figura 3:** Lei de Paschen para o ar com grandes valores de “pd”.

### Dielétricos líquidos

Os óleos e askarels são praticamente os únicos dielétricos líquidos usados em componentes elétricos e serão considerados separadamente.

	<p><b>VOCÊ SABIA?</b></p> <p>Em capacitores usamos dielétricos líquidos, fazendo a separação das placas e as isolando. Outros tipos de dielétricos líquidos: betumes, resinas, vernizes e ceras.</p>
--	--

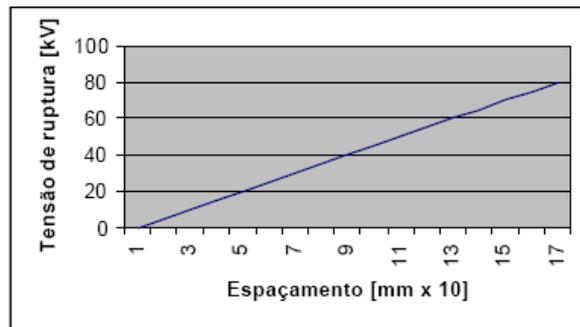
### Óleos de Grande Pureza

No campo elétrico intenso deve haver uma propagação dessas transmissões; os íons positivos indo para o eletrodo negativo e os íons negativos indo para o eletrodo positivo.

Isso contribui com uma pequena corrente de condução inicial. Sob a alta tensão elétrica alguns dos elétrons das órbitas dos átomos são desprendidos do núcleo e ficam livres, produzindo íons por colisão.

Quando ocorre a ruptura, um arco é formado dentro do líquido e, por algum tempo, as propriedades que protegem o óleo contra o calor são perdidas. O calor do arco no líquido carboniza o óleo e por fim as partículas de carbono se espalham pelo óleo, contaminando-o.

A tensão de ruptura (breakdown voltage – BDV) é também chamada de “tensão crítica”.

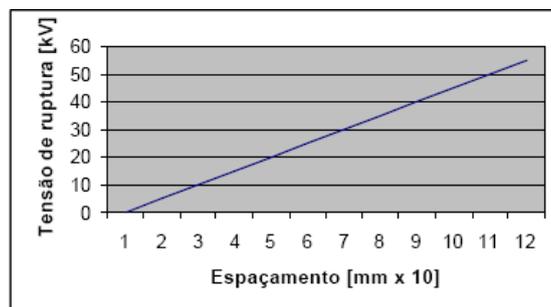


**Figura 4:** Teste em óleo de grande pureza entre eletrodos esféricos.

### Óleos de boa pureza

O mecanismo de ruptura para óleos de boa pureza é exatamente igual ao dos óleos de grande pureza. As maiores quantidades de impurezas nestes óleos fazem com que as transmissões elétricas sejam aceleradas. Como consequência, íons são formados mais rapidamente através das colisões, atingindo a condição acumulativa a valores de tensão bem menores que nos óleos de grande pureza.

Esferas são mais frequentemente usadas como eletrodos em testes de ruptura em óleos.

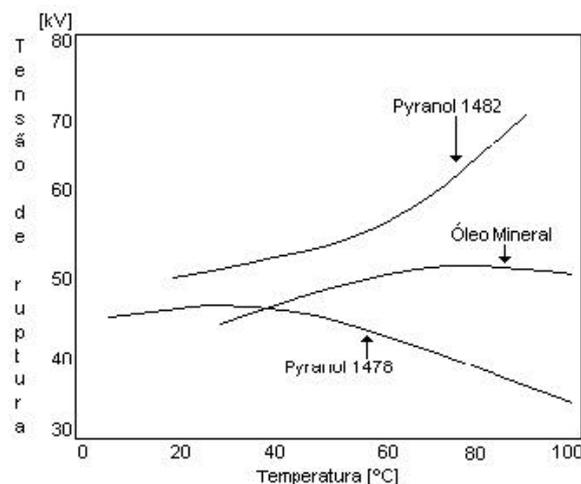


**Figura 5:** Teste em óleo de boa pureza entre eletrodos esféricos.

### Askarels

Óleos minerais apresentam várias dificuldades, como os problemas no refinamento, a degradação em altas temperaturas e o fato de serem altamente inflamáveis. Existem líquidos sintéticos que não incendiam, além de serem muito estáveis quimicamente, mas que também possuem ação de solvente em muitos dos materiais usados na construção de aparatos elétricos. Nos Estados Unidos esses materiais são chamados “askarels”. Eles possuem várias composições diferentes e são conhecidos por vários nomes. O tipo usado pela General Electric, por exemplo, é chamado de “Pyranol”. Devido à alta constante dielétrica esses líquidos são muito usados em capacitores e devido à propriedade de não incendiarem, são altamente usados em transformadores.

A ruptura elétrica para os askarels é similar a dos óleos minerais, exceto pela sua composição química diferente, que faz com que exista uma diferença na proporção de elétrons e íons livres. Como nos óleos, sob uma grande tensão elétrica, haverá ionização por colisão, que se tornará acumulativa, culminando em uma avalanche de elétrons e por fim, em um arco.



**Figura 6:** Características de ruptura de óleos e pyrenol.

## Dielétricos Sólidos

Existem várias causas de ruptura em dielétricos sólidos e várias teorias relatando essas causas. Muitas vezes a ruptura é causada por efeitos externos, como exposição às altas temperaturas, produtos químicos e choques mecânicos. Isto pode produzir carbonização, quebra e degradação física e química do dielétrico.

As análises a seguir serão dirigidas às falhas causadas pelos efeitos das tensões elétricas e temperatura na estrutura física e molecular dos isolantes.

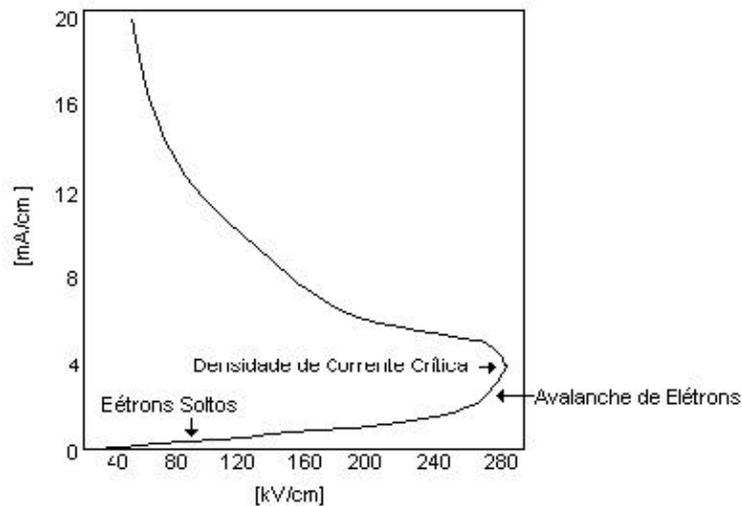
## Ionização Interna

O isolante é destruído internamente, geralmente devagar, pelas descargas provocadas pela ionização de gases em espaços vazios.

## Ruptura Intrínseca

As altas tensões elétricas separam elétrons dos átomos e estes se tornam carregadores de carga, produzindo corrente elétrica. Este processo é conhecido como “emissão de campo interno”. Quando a tensão é aumentada, mais e mais elétrons são soltos até que a emissão de elétrons chega a um valor crítico, aumentando a corrente a grandes valores. Esta corrente é chamada de “densidade de corrente crítica”, quando há um aumento

grande na emissão, que culminará com uma avalanche de elétrons semelhante aos gases. Finalmente o processo resultará em um grande arco corrente e na ruptura do dielétrico.



**Figura 7:** Característica Volt-ampere de papel impregnado com óleo.

### Ruptura Térmica

Também chamada de “teoria piroelétrica,” diz que a ruptura é atribuída ao calor intrínseco do dielétrico, quando sob tensão elétrica.

O isolante possui um coeficiente de temperatura resistivo muito negativo. A resistência do isolante pode diminuir de 4 a 5% por grau Celsius aumentado na temperatura.

Com a resistividade do isolante caindo, permite-se um aumento da densidade de corrente, que por conseqüência aumentará a temperatura e o efeito se torna acumulativo.

Com a diminuição da resistência e o aumento irrestrito da corrente a temperatura pode chegar a causar uma degradação térmica no isolante, produzindo a ruptura.



#### SE LIGA NA CHARADA!

##### PERGUNTA:

O que a ovelha mais nova disse para a mais velha?

##### RESPOSTA:

“Ô velha!”

### DIELÉTRICA E SUA RIGIDEZ

Representa a capacidade que um material tem de suportar esforços elétricos sem sofrer danos. Pode ser definido como a maior tensão  $E_d$ , a qual o material pode ser submetido sem perfurar. Para que exista a perfuração, é necessária, além da tensão, uma

determinada quantidade mínima de energia.

$$Ed = \frac{Vd}{L} \left( \frac{kV}{mm} \right)$$

O valor de  $Ed$  é obtido, na prática, dividindo-se a tensão de perfuração  $Vd$  pela espessura do material  $L$ . Apesar da simplicidade da fórmula, a determinação do resultado do teste é complexa, uma vez que é muito influenciado por fatores característicos do ensaio, tais como a espessura do material, formato dos elétrodos e da amostra, frequência da tensão aplicada, temperatura, umidade, tempo de duração do ensaio etc.

### Característica da tensão aplicada

Ensaio em amostras de diversos materiais têm mostrado que a curva de envelhecimento acelerado por tensão  $V_{cc}$  em função do tempo é relativamente horizontal, se comparada com a de  $V_{ca}$ . Isso significa que um ensaio de tensão em  $V_{cc}$  é menos prejudicial que outro realizado com o mesmo nível de tensão em  $V_{ca}$ .

Tempo de duração do ensaio - Os ensaios de tensão aplicada submetem os dielétricos a esforços consideráveis de fadiga, de forma que, se forem muito prolongados, o dielétrico poderá ser perfurado. Quanto maior for a tensão aplicada, menor será o tempo que a suportará sem perfurar.

Espessura do material isolante - A rigidez dielétrica não é proporcional à espessura do material; à medida que a espessura aumenta, a rigidez dielétrica média se reduz. Isso é um inconveniente principalmente para as altas tensões em que são requeridas grandes espessuras de material.

*“Não existe isolante perfeito, mas apenas bons isolantes.”*

### Óleos isolantes

Os óleos isolantes têm como função o fornecimento de isolamento elétrico e a transferência de calor para o exterior. Como isolante elétrico, deverá substituir o ar entre as partes ativas e preencher todos os espaços vazios, tais como poros, rachaduras e gaps, e oferecer alta rigidez dielétrica e baixa condutividade. Para tanto, o líquido deverá ser pouco viscoso, de forma que possa penetrar facilmente pelos poros e dissolver bolhas de ar que por ventura tenham ficado presas. Por outro lado, se o líquido for muito viscoso, terá prejudicado sua característica como transmissor de calor.



### VOCÊ SABIA?

O óleo mineral é extensivamente utilizado no interior de transformadores elétricos como um fluido dielétrico e para auxiliar no resfriamento. Vários fluidos distintos são utilizados em capacitores de alta-tensão.

Outras características importantes são:

- ✓ Baixa inflamabilidade;
- ✓ Baixa temperatura de congelamento;
- ✓ Alto índice de evaporação.

### Óleo mineral isolante

Um dos primeiros e mais utilizados isolantes líquidos é o óleo mineral obtido da destilação do petróleo. Três tipos de óleos são comumente utilizados: naftênico, parafínico e o aromático. O óleo naftênico, derivado do petróleo naftênico, reúne as melhores propriedades como líquido isolante e foi utilizado quase que com exclusividade na última década. Devido a escassez do petróleo naftênico, (3 a 4% das reservas mundiais), foram desenvolvidos aditivos de forma a melhorar as características dos óleos parafínicos, principalmente no que se refere a fluidez, para poderem ser utilizados em regiões de inverno rigoroso (não congelarem). O óleo parafínico está sendo utilizado de forma crescente na Europa e América do Norte até o nível de tensão de 500kV.

### Características dos óleos minerais isolantes

Todos os países industrializados dispõem de normas que definem as características mínimas exigidas dos óleos isolantes para que possam ser comercializados. As principais características são:

- ✓ **Cor** :A cor do óleo isolante é determinada pela comparação da luz emitida com cores padrões estabelecidos e numerados. Um óleo novo tem cor amarelo-pálido transparente. Uma alteração rápida da cor é uma indicação de deterioração, contaminação ou de ambas.
- ✓ **Ponto de Fulgor**: É a menor temperatura a que o óleo precisa ser aquecido para que vapores liberados, ao misturar-se com o ar, resultem inflamáveis ao contato com a chama.

- ✓ **Ponto de Fluidez:** É a temperatura mais baixa a qual, sob condições estabelecidas, o óleo isolante escoar. O ponto de fluidez não é muito significativo como indicativo de contaminação ou deterioração do óleo, mas é útil na identificação do tipo do óleo.
- ✓ **Densidade:** A densidade do óleo isolante não é significativa como fator determinante da qualidade; no entanto, poderá ser útil em determinadas situações para usos específicos. Em regimes com invernos sumamente rigorosos, com temperaturas abaixo de zero grau, é possível a formação de gelo e em função de sua densidade, flutuar e provocar curtos-circuitos. A densidade dos óleos isolantes a 1,5 °C oscila em torno de 0,9.
- ✓ **Viscosidade:** É a resistência que oferece ao escoamento contínuo sem turbulência, inércias ou outras forças. A viscosidade é normalmente medida pelo tempo que uma determinada quantidade leva para ser escoada através de um orifício com dimensões determinadas. A viscosidade não tem valor significativo na determinação das condições de contaminação do óleo; entretanto, tem importância significativa na determinação do tipo de óleo.
- ✓ **Ponto de Anilina:** O ponto de anilina é a temperatura em que há a separação de anilina de uma mistura de anilina e óleo. O ponto de anilina indica a capacidade do óleo de dissolver materiais em contato com ele e seu conteúdo em aromáticos.
- ✓ **Tensão Interfacial:** A tensão interfacial mede a força e atração entre as moléculas de óleo e água na superfície de contato. Essa força se expressa, normalmente em dinas/cm. A tensão interfacial é um ótimo detector da existência de contaminantes dissolvidos no óleo. Uma diminuição acentuada é um indicativo de contaminação ou deterioração do óleo.

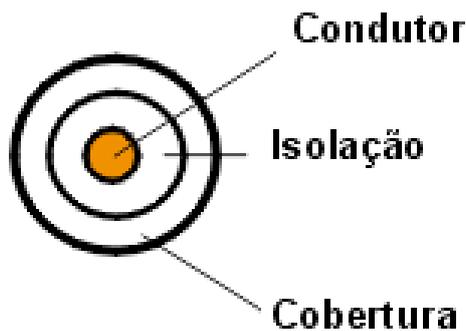
## Condutores

São substâncias nas quais os elétrons se locomovem com facilidade por estarem fracamente ligados ao núcleo do átomo.

## Cabos elétricos

Os cabos elétricos de potência em baixa tensão são os responsáveis pela transmissão de energia em circuitos de até 1000 volts.

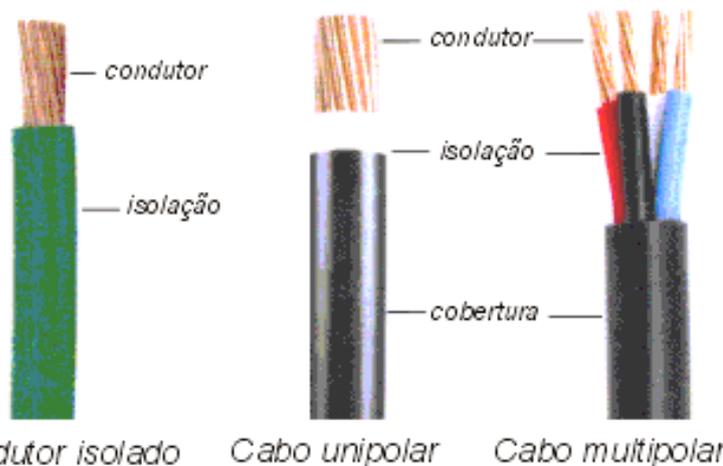
Os principais componentes (*figura 8*) de um cabo de potência em baixa tensão são o condutor, a isolação e a cobertura.



**Figura 8:** Cabo elétrico de potência em baixa tensão típico.

Alguns cabos elétricos podem ser dotados apenas de condutor e isolação, sendo chamados então de condutores isolados, enquanto que outros podem possuir adicionalmente a cobertura (aplicada sobre a isolação), sendo chamados de cabos unipolares ou multipolares, dependendo do número de condutores (veias) que possuem. A figura abaixo (*figura 9*) mostra exemplos desses três tipos de condutores elétricos.

### Metais utilizados como condutores elétricos



**Figura 9:** Tipos de cabos elétricos de potência em baixa tensão.

Em função de suas propriedades elétricas, térmicas, mecânicas e custos, o cobre e o alumínio são os metais mais utilizados desde os primórdios da indústria de fabricação de fios e cabos elétricos.

A prática nos leva a observar que, quase sempre, as linhas aéreas são construídas em alumínio e as instalações internas são com condutores de cobre. Verificamos ainda que, segundo a norma de instalações elétricas de baixa tensão, a NBR 5410, é proibido o uso de alumínio em instalações residenciais. Por que essas diferenças entre os dois metais no campo de fios e cabos elétricos?

As três principais diferenças entre o cobre e o alumínio são: condutividade elétrica,

peso e conexões.

### Condutividade elétrica

Começamos a entender as diferenças pela condutividade elétrica. Todos os materiais conduzem corrente elétrica de um modo melhor ou pior. O número que expressa a capacidade que um material tem de conduzir a corrente é chamado de condutividade elétrica. Ao contrário, o número que indica a propriedade que os materiais possuem de dificultar a passagem da corrente é chamado de resistividade elétrica.

Segundo a norma “*International Annealed Copper Standard*” (IACS), adotada em praticamente todos os países, é fixada em 100% a condutividade de um fio de cobre de 1 metro de comprimento com 1 mm<sup>2</sup> de seção e cuja resistividade a 20° C seja de 0,01724 W.mm<sup>2</sup>/m (a resistividade e a condutividade variam com a temperatura ambiente). Dessa forma, esse é o padrão de condutividade adotado, o que significa que todos os demais condutores, sejam em cobre, alumínio ou outro metal qualquer, têm suas condutividades sempre referidas a aquele condutor.

A tabela abaixo (*figura 10*) ilustra essa relação entre condutividades.

Material	Condutividade relativa ACS (%)
cobre mole	100
cobre meio-duro	97,7
cobre duro	97,2
alumínio	60,6

**Figura 10:** Condutividade relativa entre diferentes materiais.

A tabela acima (*figura 10*) pode ser entendida da seguinte forma: o alumínio, por exemplo, conduz aproximadamente 39 % (100 - 60,6) menos corrente elétrica que o cobre mole. Na prática, isso significa que, para conduzir a mesma corrente, um condutor em alumínio precisa ter uma seção aproximadamente, 39 % maior que a de um fio de cobre mole. Ou seja, se tivermos um condutor de 10 mm<sup>2</sup> de cobre, seu equivalente em alumínio será de 10 x 1,4 = 14 mm<sup>2</sup>. Dissemos “aproximadamente” porque a relação entre as seções não é apenas geométrica e também depende de alguns fatores que consideram certas condições de fabricação do condutor, tais como eles serem nus ou recobertos, sólidos ou encordoados, etc.

## Peso

A densidade do alumínio é de  $2,7 \text{ g/cm}^3$  e a do cobre de  $8,9 \text{ g/cm}^3$ .

Se calcularmos a relação entre o peso de um condutor de cobre e o peso de um condutor de alumínio, ambos transportando a mesma corrente elétrica, verificamos que, apesar de o condutor de alumínio possuir uma seção cerca de 60% maior, seu peso é da ordem da metade do peso do condutor de cobre.

A partir dessa realidade física, estabeleceu-se uma divisão clássica entre a utilização do cobre e do alumínio nas redes elétricas. Quando o maior problema em uma instalação envolver o peso próprio dos condutores, prefere-se o alumínio por sua leveza. Esse é o caso das linhas aéreas em geral, onde as dimensões de torres e postes e os vãos entre eles dependem diretamente do peso dos cabos por eles sustentados. Por outro lado, quando o principal aspecto não é peso, mas é o espaço ocupado pelos condutores, escolhe-se o cobre por possuir um menor diâmetro. Essa situação é encontrada nas instalações internas, onde os espaços ocupados pelos eletrodutos, eletrocalhas, bandejas e outros são importantes na definição da arquitetura do local.

Deve-se ressaltar que, embora clássica, essa divisão entre a utilização de condutores de cobre e alumínio possui exceções, devendo ser cuidadosamente analisada em cada caso.

## Conexões elétricas

Uma das diferenças mais marcantes entre cobre e alumínio está na forma como se realizam as conexões entre condutores ou entre condutor e conector.

O cobre não apresenta requisitos especiais quanto ao assunto, sendo relativamente simples realizar as ligações dos condutores de cobre. No entanto, o mesmo não ocorre com o alumínio. Quando exposta ao ar, a superfície do alumínio é imediatamente recoberta por uma camada invisível de óxido, de difícil remoção e altamente isolante.

Assim, em condições normais, se encostarmos um condutor de alumínio em outro, é como se estivéssemos colocando em contato dois isolantes elétricos, ou seja, não haveria contato elétrico entre eles. Nas conexões em alumínio, um bom contato somente será conseguido se rompermos essa camada de óxido. Essa função é obtida através da utilização de conectores apropriados que, com o exercício de pressão suficiente, rompem a camada de óxido. Além disso, quase sempre são empregados compostos que inibem a formação de uma nova camada de óxido, uma vez removida a camada anterior.



### VOCÊ SABIA?

Ao fazer uma conexão se os pontos não estão conectados, e a diferença de potencial entre aqueles pontos é alta o suficiente, a ionização elétrica do ar ocorrerá, e o fluxo da corrente tenderá a acontecer ao longo do caminho de menor resistência.

Existem conetores elétricos de qualquer tipo e para diversas finalidades e isentos de efeitos corona para tensões até 800 KV de acordo com as normas NEMA CC1, NBR 5370 e NBR 11788. São fabricados em ligas de cobre e alumínio com alta condutividade elétrica, resistência à corrosão e propriedades mecânicas compatíveis com a utilização destinada.

### O dimensionamento dos cabos em função da isolação

As duas principais solicitações a que a camada da isolação está sujeita são os campos elétricos (tensão) e a temperatura (corrente).

#### A tensão elétrica

Em relação à tensão elétrica, como vimos anteriormente, o PVC está limitado a 6 kV, o que o torna recomendado para emprego em cabos de baixa tensão, seja de potência, de controle, de sinal ou para ligação de equipamentos. A principal característica construtiva dos cabos associada com a tensão elétrica é a espessura da isolação. Ela varia de acordo com a classe de tensão do cabo e da qualidade do material utilizado e é fixada pelas respectivas normas técnicas aplicáveis. Em geral, quanto maior a tensão elétrica de operação do cabo, maior a espessura da isolação.

#### A corrente elétrica

É sabido que todo condutor elétrico percorrido por uma corrente aquece. E também é sabido que todos os materiais suportam, no máximo, determinados valores de temperatura, acima dos quais eles começam a perder suas propriedades físicas, químicas, mecânicas, elétricas etc. Desse modo, a cada tipo de material de isolação correspondem três temperaturas características que são:

#### Temperatura em regime permanente

É a maior temperatura que a isolação pode atingir continuamente em serviço normal. É a principal característica na determinação da capacidade de condução de corrente de um cabo.

### Temperatura em regime de sobrecarga

É a temperatura máxima que a isolação pode atingir em regime de sobrecarga. Segundo as normas de fabricação, a duração desse regime não deve superar 100 horas durante doze meses consecutivos, nem superar 500 horas durante a vida do cabo.

### Temperatura em regime de curto-circuito

É a temperatura máxima que a isolação pode atingir em regime de curto-circuito. Segundo as normas de fabricação, a duração desse regime não deve superar 5 segundos durante a vida do cabo.

Tabela abaixo (*figura 11*) indica as temperaturas características das isolações em PVC e EPR.

Temperatura em regime (°C)	Temperatura em sobrecarga (°C)	Temperatura em curto-circuito (°C)
70	100	160

**Figura 11:** Temperaturas características do PVC.

Temperatura em regime (°C)	Temperatura em sobrecarga (°C)	Temperatura em curto-circuito (°C)
90	100	160

**Figura 12:** Temperaturas características do EPR.



#### PAUSA PARA REFLETIR...

A essência do conhecimento consiste em aplicá-lo, uma vez possuído.

*Confúcio.*

## MEDIDAS ELÉTRICAS E SEUS INSTRUMENTOS

Vários são os instrumentos utilizados pelos técnicos para efetuar medições elétricas na análise de funcionamento de circuitos eletroeletrônicos.

Dentre esses destacaremos:

- ✓ Voltímetro;
- ✓ Amperímetro/Ohmímetro;
- ✓ Wattímetro;
- ✓ Megôhmetro;
- ✓ Hi-POT
- ✓ Microhmímetro;
- ✓ TTR;
- ✓ Medidor de Fator de potência;
- ✓ Alicates amperímetro.

Podemos encontrar instrumentos de medidas elétricas em padrão analógico ou digital.

Um instrumento digital é aquele onde o sinal de saída é uma função descontínua do sinal de entrada, isto é, o sinal é caracterizado por variações bruscas, não havendo sinal intermediário entre seu máximo e mínimo.

Geralmente esses instrumentos indicam suas leituras através de display's ( a maioria de cristal líquido).

#### **EXEMPLO:**

Na figura abaixo (*figura 13*), a amostragem do sinal medido é indicada em display's de cristal líquido.



**Figura 13:** Display Cristal Líquido.

### **Ohmímetro**

É um instrumento utilizado para medição de resistência elétrica.

Características:

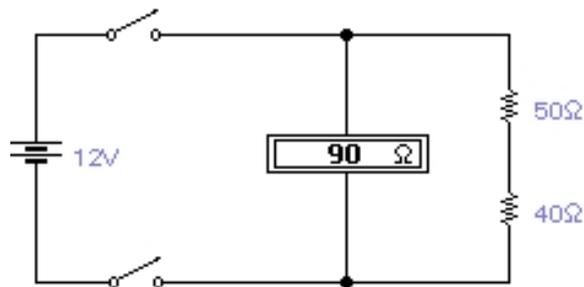
- ✓ Apresenta fonte elétrica (bateria) interna para o seu funcionamento;
- ✓ Deve ser ligado somente em circuitos elétricos desligados da fonte geradora, isto é, o dispositivo a ser medido não pode estar energizado;
- ✓ No formato real é identificado pela presença da letra “Ω” em seu painel;
- ✓ Podemos encontrar do tipo analógico ou digital.

Vejamos a seguir uma figura de ohmímetro.



**Figura 14:** Ohmímetro Analógico.

Observemos no diagrama a seguir a aplicação desse instrumento.



**Figura 15:** Medição Ohmímetro Digital.

## Wattímetro

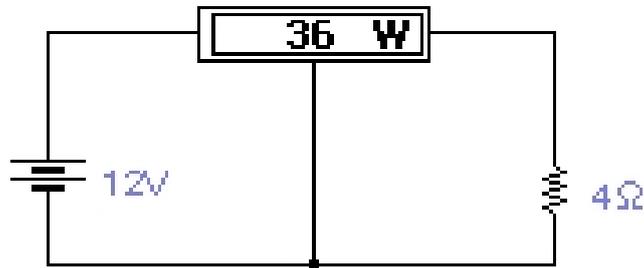
O wattímetro é um instrumento que permite medir a potência elétrica fornecida ou dissipada por um dispositivo. Este instrumento integra o produto das grandezas tensão e corrente elétrica do dispositivo a ser medido, razão pela qual a sua ligação ao circuito é feita simultaneamente em série e em paralelo. Dois terminais são ligados em paralelo com o dispositivo, efetuando assim a medição da tensão, e mais dois são conectados no caminho da corrente.

Vejamos a seguir a figura (*figura 16*) de um wattímetro:



**Figura 16:** Wattímetros analógicos e Wattímetro digital.

Observemos no diagrama a seguir (*figura 17*) a aplicação desse instrumento.



**Figura 17:** Wattímetro Digital.

## Multímetro

Equipamento que mede várias grandezas, entre as quais destaca-se a corrente contínua, a tensão tanto alternada como contínua (voltímetro) e o ohmímetro. Vejamos alguns tipos de multímetros na figura a seguir (*figura 18*):



**Figura 18:** Multímetro Analógico e Multímetro Digital.



### VOCÊ SABIA?

Essa ferramenta é capaz de medir:

- ✓ Corrente elétrica (contínua e alternada) – função amperímetro;
- ✓ Tensão elétrica (contínua e alternada) – função voltímetro;
- ✓ Resistência elétrica - função ohmímetro;
- ✓ Capacitância;
- ✓ Frequência de sinais alternados;
- ✓ Temperatura;
- ✓ Entre outros.

## Megôhmetro

A resistência de isolamento pode ser determinada pela lei de Ohm, aplicando uma tensão de corrente contínua e medindo a corrente que circula pelo galvanômetro interno ao equipamento.

A importância da medição de isolamento é devida ser uma das maneiras de se saber as condições de isolamento de um equipamento. Realizando periodicamente esta medição, pode-se acompanhar a vida útil do equipamento comparando os resultados obtidos com as informações dos fabricantes ou com outro teste já anteriormente realizado.

O megôhmetro é um instrumento portátil que permite realizar medições de resistências de isolação com tensões de prova de até 10kV. Proporciona medições confiáveis de resistências de isolação de até 2.000.000MΩ com quatro tensões de prova: 1kV, 2kV, 5kV e 10kV. As leituras se realizam em um indicador analógico ou digital com escala ampliada e de fácil leitura.

Para uma melhor compreensão e análise dos ensaios de resistência de isolamento, é necessário que se tenha um conhecimento básico sobre os fenômenos que surgem num meio dielétrico, quando submetido a um potencial contínuo.

Antes de se energizar uma máquina nova ou que esteve parada muito tempo, é boa norma medir-se a resistência de isolamento dos enrolamentos. Desta maneira verifica-se uma das condições mínimas para a sua energização.

Um valor alto de resistência de isolamento é uma condição necessária, mas não suficiente para garantir que não existam imperfeições no isolamento, que possam causar falhas quando da energização.

O termo resistência de isolamento é a relação existente entre a tensão CC aplicada a um isolante e a corrente resultante em um determinado instante, após a aplicação da tensão. Devido ao fenômeno da polarização do dielétrico e à capacidade dos condutores contra as partes metálicas adjacentes, a definição acima se torna algo imprecisa, mas válida para fins práticos.

Pela análise dos valores da resistência de isolamento obtidos nos ensaios, comparados aos registrados anteriormente, podemos avaliar o processo de degradação do isolamento.

Esta análise pode representar uma economia substancial, seja pela garantia de continuidade operativa, seja pela redução de custos de reparos devidos a falhas de maiores proporções.



**Figura 19:** Megôhmetro Eletrônico de Alta Tensão-10kv.

Este equipamento é especialmente indicado para teste da resistência de isolamento nas linhas de transmissão e distribuição de médias tensões, áreas externas ou subterrâneas, já que permitem realizar o teste com tensões próximo as de trabalho. Também é um excelente auxiliar na detecção de falhas de isolamento em cabos, disjuntores, seccionadoras, painéis elétricos, motores e transformadores.

O megôhmetro possui BORNE GUARD que permite eliminar o efeito de resistências parasitas e de correntes superficiais sobre a resistência de isolamento que se deseja medir.

### Alicate Amperímetro

Instrumento podendo ser digital ou analógico portátil que realiza medições DC e AC, de correntes. Pode medir várias grandezas como o multímetro.

Vejamos um exemplo de alicate amperímetro na figura a seguir:



**Figura 20:** Alicate Amperímetro.



#### SE LIGA NA CHARADA!

##### PERGUNTA:

Por que os elefantes não usam computador?

##### RESPOSTA:

Porque eles têm medo de usar o mouse.

## MOTORES TIPO CA

*“Quando tudo está bem, ninguém se dá conta que existe. Quando algo está mal, dizem que não existe. Quando é necessário gastar, dizem que não é preciso que exista. Porém, quando realmente não existe, todos concordam que deveria existir.”*

A manutenção das máquinas elétricas girantes engloba dois aspectos importantes, envolvendo parte elétrica e mecânica. O domínio destas duas áreas é necessário para a manutenibilidade do equipamento como um todo.

Entre os aspectos elétricos, serão abordados itens desde a correta interpretação, bem como métodos e técnicas para a recuperação de eventuais danos elétricos, fatores fundamentais para seu perfeito funcionamento e durabilidade.

Em função da severidade da aplicação e necessidade de operação contínua, muitas vezes a manutenção básica é deixada em segundo plano. Fatores imprescindíveis para a operação do motor tais como relubrificação, alinhamento, dimensionamento, limpeza e especificação, se mal elaborados, refletem negativamente no desempenho da máquina.

### Partida Direta

Sempre que possível a partida de um motor elétrico trifásico de gaiola deverá ser direta, por meio de contatores. Deve-se ter em conta que para um determinado motor, as curvas de conjugado e corrente são fixas, independente da carga, para uma tensão constante. No caso em que a corrente de partida do motor é elevada pode ocorrer as seguintes consequências:

- 1º) Elevada queda de tensão no sistema de alimentação da rede. Em função disso, provoca interferência em equipamentos instalados no sistema.
- 2º) O sistema de proteção (cabos, contatores) deverá ser superdimensionado, ocasionando custo elevado.
- 3º) A imposição das concessionárias de energia elétrica que limitam a queda de tensão da rede. Caso a partida direta não seja possível devido aos problemas citados acima, pode ser usado um sistema de partida indireta, visando reduzir a corrente de partida.

#### **OBSERVAÇÕES:**

Nota : A NBR 5410, item 6.5.3.2, pg. 93 cita que para partida direta de motores com potência acima de 3,7 kW(5CV), em instalações alimentadas por rede de distribuição pública em baixa tensão, deve ser consultada a concessionária local.

## Chave Estrela: Triângulo

É fundamental para este tipo de partida que o motor tenha a possibilidade de ligação em dupla tensão, ou seja, 220/380V, 380/660V ou 440/760V. Os motores deverão ter no mínimo seis bornes de ligação. Deve-se ter em mente que o motor deverá partir a vazio. A partida estrela - triângulo poderá ser usada quando a curva de conjugado do motor é suficientemente elevada para poder garantir a aceleração da máquina com a corrente reduzida. Na ligação estrela a corrente fica reduzida para 25% a 33% da corrente de partida na ligação triângulo. Também a curva de conjugado é reduzida na mesma proporção. Por esse motivo, sempre que for necessário uma partida com chave estrela - triângulo, deverá ser usado um motor com curva de conjugado elevado.

O conjugado resistente da carga não pode ultrapassar o conjugado de partida do motor, e nem a corrente no instante da mudança para triângulo poderá ser de valor inaceitável. Existem casos em que este sistema de partida não pode ser usado, como no caso em que o conjugado resistente é muito alto. Se a partida é em estrela, o motor acelera a carga até aproximadamente 85% da rotação nominal. Neste ponto a chave deverá ser ligada em triângulo. Neste caso, a corrente que era aproximadamente a nominal, salta repentinamente, o que não é nenhuma vantagem, uma vez que a intenção é justamente a redução da corrente de partida.

## Partida com Chave Série: Paralelo

Para a partida com chave série-paralelo é necessário que o motor seja religável para duas tensões, a menor delas igual a da rede e a outra duas vezes maior. Este tipo de ligação exige nove terminais do motor e a tensão nominal mais comum é 220/440V, ou seja, durante a partida o motor é ligado na configuração série até atingir sua rotação nominal e, então, faz-se a comutação para a configuração paralelo.

## Partida com Chave Compensadora (Auto- Transformador)

A chave compensadora pode ser usada para a partida de motores sob carga. Ela reduz a corrente de partida, evitando assim uma sobrecarga no circuito, deixando porém, o motor com conjugado suficiente para a partida e aceleração. A tensão na chave compensadora é reduzida através de auto-transformador que possui normalmente os taps de 50%, 65% e 80% da tensão nominal.

### Soft- Start (Partida Eletrônica)

O avanço da eletrônica permitiu a criação da chave de partida a estado sólido, a qual consiste de um conjunto de pares de tiristores (SCR Silicon Controlled Rectifier ou combinações de tiristores/diodos), um em cada borne de potência do motor.

O ângulo de disparo de cada par de tiristores é controlado eletronicamente para aplicar uma tensão variável aos terminais do motor durante a aceleração. No final do período de partida, ajustável tipicamente entre 2 e 30 segundos, a tensão atinge seu valor pleno após uma aceleração suave ou uma rampa ascendente, ao invés de ser submetido a incrementos ou saltos repentinos. Com isso, consegue-se manter a corrente de partida (na linha) próxima da nominal e com suave variação.

Além da vantagem do controle da tensão (corrente) durante a partida, a chave eletrônica apresenta também, a vantagem de não possuir partes móveis ou que gerem arcos, como nas chaves mecânicas.

### Inversor de Frequência

Do mesmo modo que a evolução da eletrônica possibilitou a criação da Soft Start, onde controlamos a tensão aplicada ao motor na partida, proporcionou também a possibilidade de controle da frequência e conseqüente variação de velocidade do motor, sendo esta sua principal função.

Os inversores promovem uma conversão indireta de frequência, ou seja, a corrente alternada é retificada para corrente contínua (CA-CC). A partir da retificação, controlada ou não, a tensão contínua é chaveada para obter um trem de pulsos que alimenta o motor. Devido à natureza indutiva do motor, a corrente que circula tem um aspecto de corrente alternada. Em resumo, os inversores convertem CA em CC e novamente em CA.

#### *Características Operacionais*

A tensão aplicada na bobina de um estator é dada por:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \Phi$$

Portanto, o fluxo no entreferro é diretamente proporcional à relação entre tensão e frequência, como mostra a equação:

$$\Phi = E_1 / f_1$$

Onde:

- ✓ **E1** = Tensão aplicada na bobina do estator (V);
- ✓ **f1** = Frequência da tensão estatórica (Hz);
- ✓ **N1** = Número de espiras no estator;
- ✓  **$\Phi$**  = Fluxo de magnetização (Wb).

Para um desempenho adequado do motor de indução, especialmente com respeito ao conjugado desenvolvido, o fluxo no entreferro deve ser mantido o mais constante possível. Assim ao variar a frequência, a tensão aplicada também deve variar para manter o fluxo magnético constante.

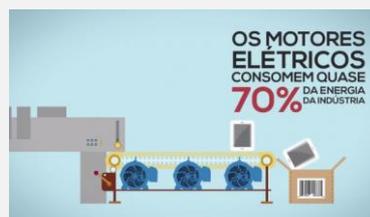
Os inversores devem manter uma relação linear entre tensão e frequência até o ponto de tensão e frequência nominais, como mostra a figura abaixo. Para frequências mais altas que a nominal, não é possível.



### VOCÊ SABIA?

#### Os motores industriais são grandes consumidores de energia!

Por conta do complexo processo de produção mecânica de diversos produtos, os motores acabam consumindo muita energia. Por isso, é necessário até que o industrial consulte a concessionária de energia para saber se existe a disponibilidade para atender as demandas do empreendimento. Isso é um dos fatores de encarecimento dos produtos fabricados.



**Figura 21:** Consumo de energia elétrica em indústrias.

O inversor de frequência, é muito útil quando o assunto é o controle de energia, pois sua função é alterar a frequência norma de um motor que gira em torno de 50 Hz e 60 Hz para outras modalidades de alimentação, o que pode proporcionar um uso menor de energia por parte do maquinário. Embora existam diversos tipos de estudos envolvendo os motores, ainda há muito a ser descoberto para gerar o seu melhoramento.

## OS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

São máquinas elétricas “estacionárias” que servem para transformar valores de tensões e correntes elétricas, podendo elevar ou abaixar essas grandezas, servindo também como isolador de circuitos elétricos.

O uso dos transformadores é bastante disseminado na distribuição de energia CA. Pois com essa máquina podemos transportar um valor considerado de potência a uma distância bastante considerada.

O transformador funciona baseado no princípio de indução mútua, onde no mínimo duas bobinas estão dispostas de modo que uma delas fica submetida ao campo magnético criado pela outra. Este é constituído basicamente de um núcleo de ferro laminado onde são enroladas duas bobinas, uma chamada de bobina indutora ou primária e a outra de bobina induzida ou secundária.



**Figura 22:** Transformador de potência.

A bobina indutora faz parte do circuito primário, que é aquele energizado pela fonte CA e a bobina induzida ao circuito secundário, de onde retira-se a tensão que foi induzida, no qual geralmente fica ligada a uma carga.

O acoplamento (ligação magnética) entre as duas bobinas ocorre pela geração de um fluxo magnético variável no núcleo (material de ferro laminado) do transformador produzido pela bobina primária a qual foi aplicada uma tensão CA. Esse fluxo corta a bobina secundária induzindo nessa uma tensão elétrica.

A potência que é consumida pelo transformador é igual a oferecida pelo mesmo a uma carga. Assim desconsiderando as perdas (efeito joule e outras) a potência aparente no primário (S1) do transformador é igual a potência aparente em seu secundário (S2).

### Tipos de transformadores

- ✓ **Elevador:** é aquele no qual a tensão do secundário é maior do que a do primário.
- ✓ **Abaixador:** é aquele no qual a tensão do secundário é menor do que a do primário.
- ✓ **Isolador:** é aquele no qual geralmente a tensão do secundário é igual a do primário. Utilizado para isolação elétrica entre circuitos.
- ✓ **Autotransformador:** é aquele que possui apenas um enrolamento, podendo apresentar várias derivações de saída.

### Componentes de proteção e manobra

Os transformadores devem ser protegidos contra sobrecargas, curto-circuito, surtos de tensão, vazamentos etc. Normalmente usam-se chaves fusíveis, disjuntores, seccionadoras, para-raios etc. todos esses componentes deverão ser adequadamente dimensionados para serem coordenados com o transformador e testados antes de fazer as conexões.

Devem ser instalados tão próximos quanto possível dos transformadores. Os elos utilizados nas chaves-fusíveis devem estar de acordo com a demanda e potência do transformador. O aterramento dos para-raios deve ser feito com cabos independentes do aterramento do neutro do transformador.



#### VOCÊ SABIA?

Procedimentos de medição de isolamento do motor trifásico:

Para efetuar estas medições se faz necessário o uso de um Megôhmetro, cujo fundo de escala deve ser no mínimo 500V. Se a resistência do isolamento for menor que os valores obtidos pela fórmula acima, os motores terão que ser submetidos a um processo de secagem.

Para medirmos a Isolação de máquinas elétricas girantes é necessário que o equipamento esteja desconectado da rede e completamente isolado.

Para medirmos o isolamento do estator de um motor de indução

deve-se curto-circuitar todos os outros enrolamentos e sensores e conectá-los ao terminal “GUARD” do megôhmetro, conecta-se nos terminais do estator ao terminal “V” do megôhmetro, e o terminal “GND” a carcaça do motor.

Aplicar a tensão de ensaio durante 1 minuto e efetuar a medição da resistência de isolamento.

Após a edição é necessário curto-circuitar estator e carcaça a fim de descarregar eventuais cargas elétricas armazenadas no dielétrico bobinado-carcaça.

- ✓ **Importante:** Registros periódicos são úteis para concluir se a máquina está ou não apta a operar.
- ✓ **Finalidade:** Verificar a condição do isolamento, e quando se deseja um resultado quantitativo e o seu registro.

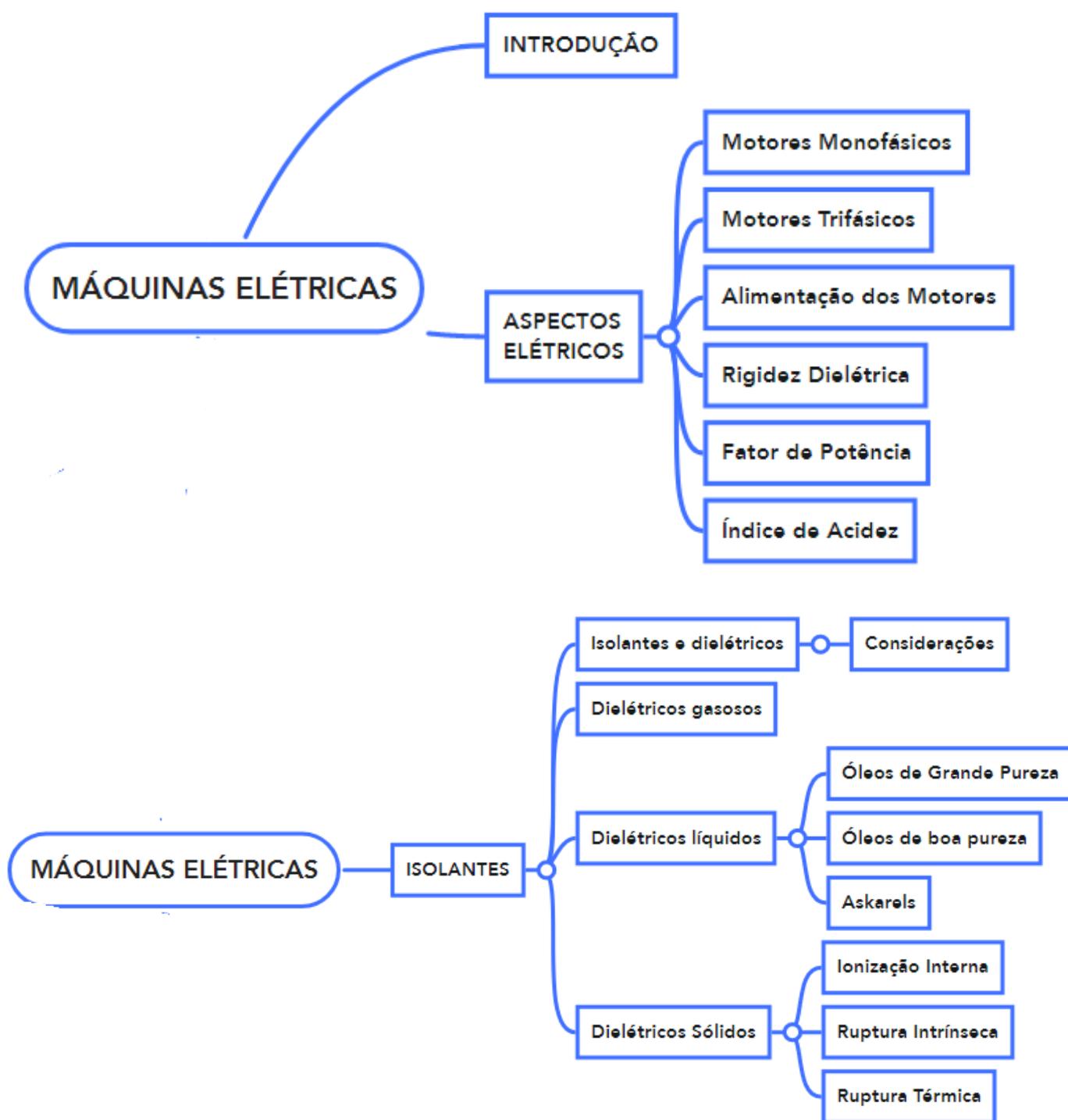
Limites orientativos da resistência de isolamento em máquinas elétricas:

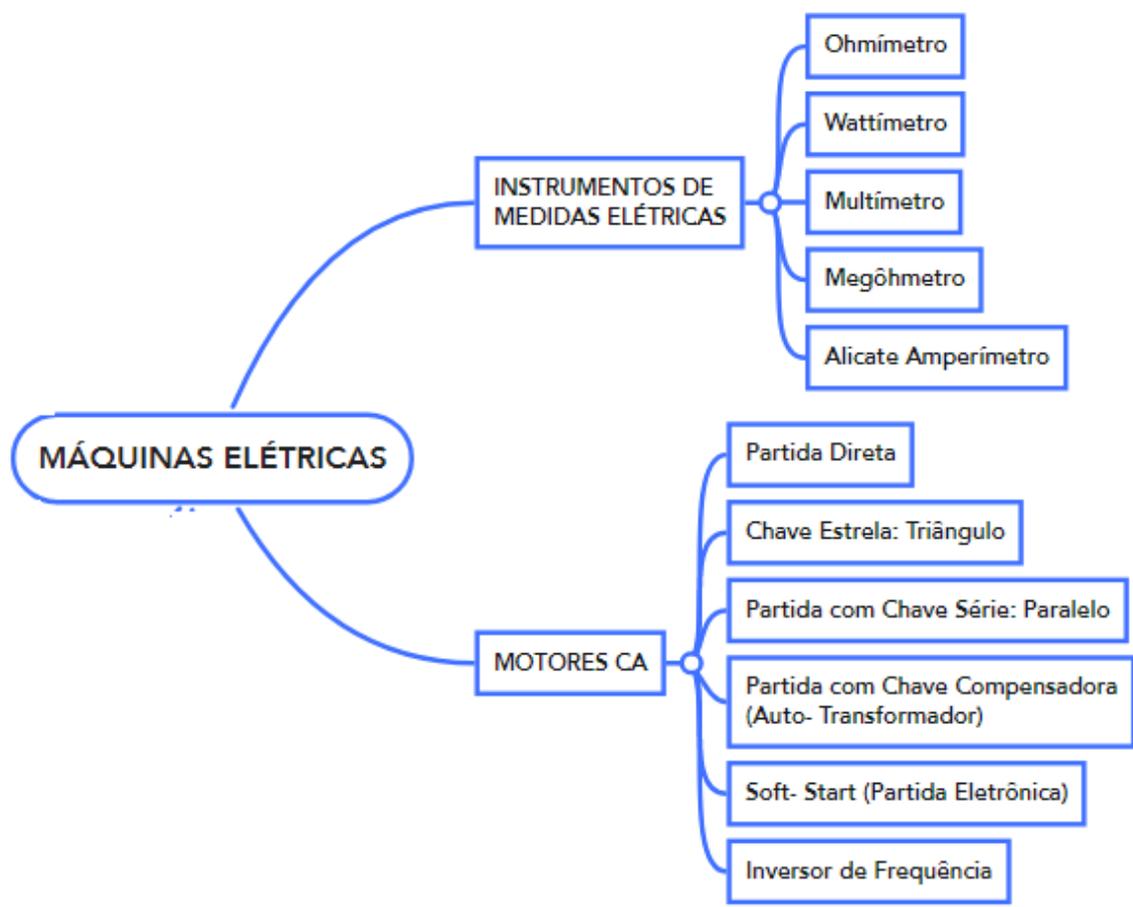
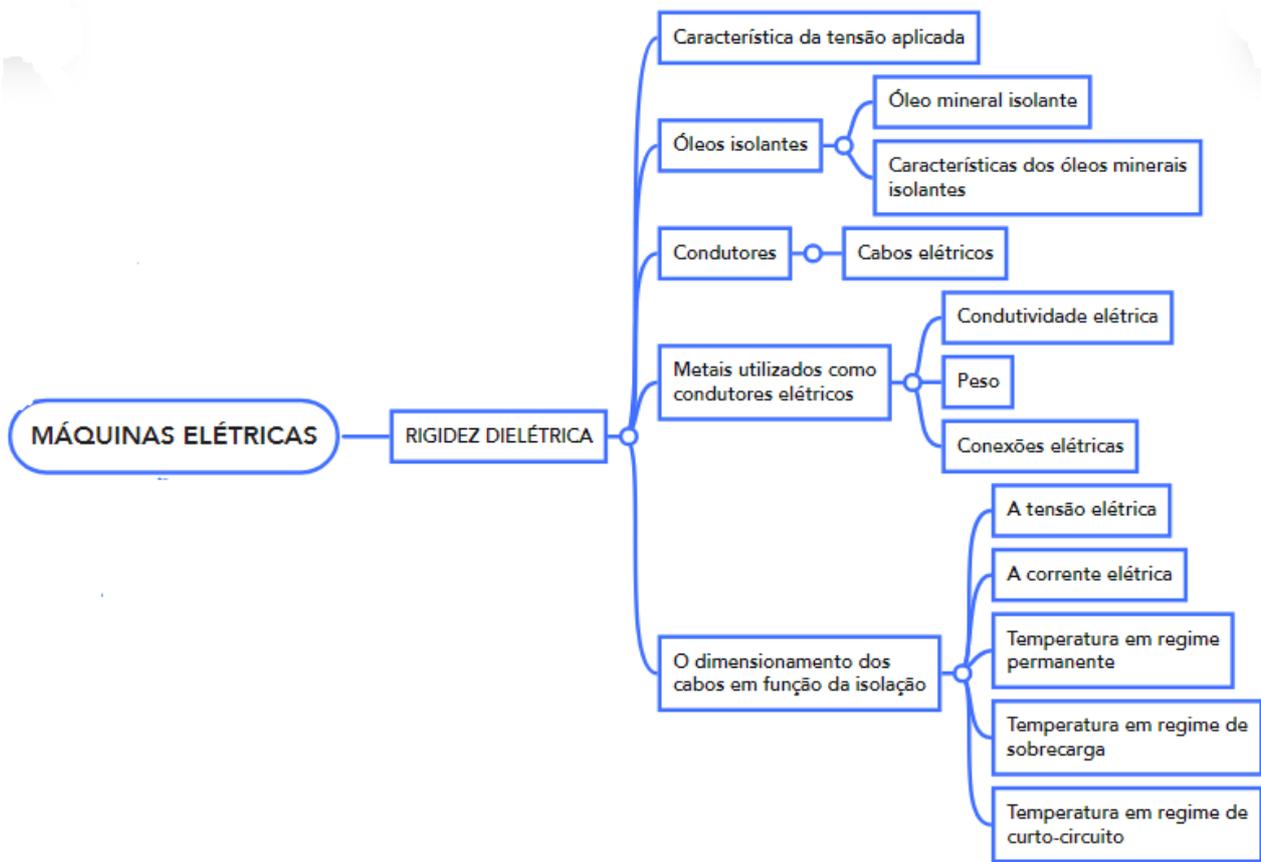
Valor da resistência do isolamento	Avaliação do isolamento
2MΩ ou menor	Ruim
< 50MΩ	Perigoso
50...100MΩ	Regular
100...500MΩ	Bom
500...1000MΩ	Muito Bom
> 1000MΩ	Ótimo

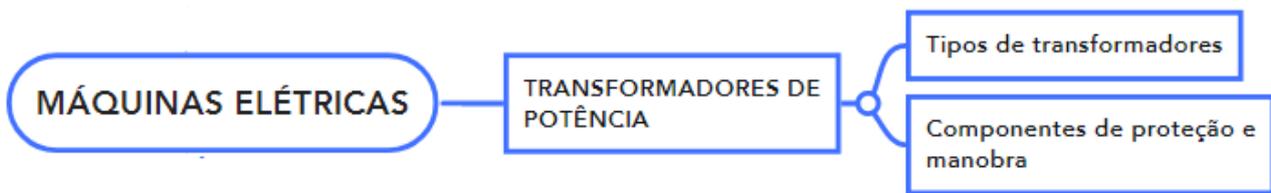
**Figura 23:** Resistencia de isolamento do motor.

Sessões Especiais

MAPA DE ESTUDO







## SÍNTESE DIRETA

### 1. A IMPORTÂNCIA DAS MÁQUINAS ELÉTRICAS NA INDÚSTRIA

- As máquinas elétricas são essenciais para a conversão de energia elétrica em mecânica e vice-versa.
- Classificam-se em **máquinas rotativas** (motores e geradores) e **máquinas estáticas** (transformadores).
- Utilizadas em setores industriais, comerciais e residenciais, desempenham papel fundamental na automação e eficiência energética.

### 2. ASPECTOS ELÉTRICOS

- **Motores Monofásicos:** Utilizam uma fase de alimentação e necessitam de dispositivos auxiliares para partida.
  - ✓ Princípio de funcionamento: Baseia-se na criação de um campo magnético girante para mover o rotor.
  - ✓ Tipos de motores monofásicos: Motores de capacitor, de indução e universais.
  - ✓ Aplicações: Pequenos eletrodomésticos, ventiladores, bombas e compressores.
- **Motores Trifásicos:** Mais eficientes e utilizados em indústrias devido à estabilidade da rotação.
  - ✓ Características construtivas: Rotor de gaiola e rotor bobinado.
  - ✓ Vantagens: Maior eficiência energética e menor necessidade de manutenção.
  - ✓ Aplicações: Máquinas industriais, compressores e sistemas de transporte.
- **Alimentação dos Motores:** Importante para o correto funcionamento e dimensionamento da rede elétrica.
  - ✓ Tensões padrão: Motores podem operar em diferentes tensões conforme a rede elétrica.
  - ✓ Seleção de condutores: Deve ser feita considerando corrente nominal e distância do motor à fonte de alimentação.
  - ✓ Proteções elétricas: Fusíveis e disjuntores evitam sobrecargas e curtos-circuitos.

- **Rigidez Dielétrica:** Propriedade dos isolantes de resistir a descargas elétricas disruptivas.
  - ✓ Métodos de teste: Teste de discos e teste de esferas são os mais comuns.
  - ✓ Influências: Contaminação por água, sujeira e partículas condutoras reduzem a rigidez dielétrica.
  - ✓ Aplicações: Determinação da qualidade dos isolantes usados em transformadores e motores.

### 3. ISOLANTES ELÉTRICOS

- **Dielétricos Gasosos:** Utilizados para isolamento e controle de descargas.
  - ✓ Lei de Paschen: Relaciona a rigidez dielétrica dos gases com a pressão e distância dos eletrodos.
  - ✓ Aplicações: Interruptores a gás, para-raios e transformadores de alta tensão.
- **Dielétricos Líquidos:** Incluem óleos isolantes e askarels, empregados em transformadores.
  - ✓ Óleos minerais: Comumente usados por sua capacidade de dissipar calor.
  - ✓ Askarels: Substituem óleos minerais por serem menos inflamáveis.
  - ✓ Degradação: Contaminação e oxidação reduzem a eficiência do dielétrico.
- **Dielétricos Sólidos:** Aplicados em cabos e componentes internos das máquinas.
  - ✓ Materiais: Papel impregnado com óleo, cerâmicas e plásticos especiais.
  - ✓ Resistência térmica: Importante para garantir durabilidade em altas temperaturas.

### 4. INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

- **Ohmímetro:** Mede a resistência elétrica dos componentes.
  - ✓ Aplicação: Teste de continuidade de circuitos e cabos.
- **Wattímetro:** Determina a potência ativa consumida por um circuito.
  - ✓ Tipos: Wattímetro eletromagnético e digital.
- **Multímetro:** Equipamento versátil que mede tensão, corrente e resistência.
  - ✓ Função de teste de diodos: Verifica semicondutores em circuitos eletrônicos.
- **Megôhmetro:** Utilizado para medir a resistência de isolantes elétricos.
  - ✓ Faixa de medição: Pode medir valores na ordem dos megohms.
- **Alicate Amperímetro:** Mede corrente elétrica sem necessidade de contato direto.
  - ✓ Método de funcionamento: Baseado no princípio da indução eletromagnética.

## 5. MOTORES CA (CORRENTE ALTERNADA)

- **Partida Direta:** A forma mais simples de acionar motores de baixa potência.
  - ✓ Características: Utiliza contadores para ligar o motor diretamente à rede.
- **Chave Estrela-Triângulo:** Reduz a corrente de partida em motores trifásicos.
- **Partida com Chave Compensadora:** Utiliza autotransformador para limitar a corrente inicial.
- **Soft-Start (Partida Eletrônica):** Controla a aceleração do motor, evitando picos de corrente.
- **Inversor de Frequência:** Permite controle preciso da velocidade e do torque dos motores.

## 6. TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

- **Tipos de Transformadores:** Podem ser monofásicos ou trifásicos, secos ou à óleo.
- **Componentes de Proteção e Manobra:** Incluem disjuntores, fusíveis e relés para segurança e controle.

## 7. A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

- O uso eficiente de máquinas elétricas reduz desperdícios e custos operacionais.
  - ✓ Controle do fator de potência: Evita multas e melhora a eficiência energética.
  - ✓ Manutenção preventiva: Evita falhas e aumenta a vida útil dos equipamentos.
  - ✓ Modernização de sistemas elétricos: Implementação de tecnologias mais eficientes para controle de motores e transformadores.

### MOMENTO QUIZ

7. Entre os diversos métodos de acionamentos de motores trifásicos de indução, um dos principais, são as chaves eletrônicas soft-starter.

Valor da resistência do isolamento	Avaliação do isolamento
2MΩ ou menor	Ruim
< 50MΩ	Perigoso
50...100MΩ	Regular
100...500MΩ	Bom
500...1000MΩ	Muito Bom
> 1000MΩ	Ótimo

**Sobre as chaves soft-starter é correto afirmar que:**

- É utilizada para reduzir a corrente de partida de motores trifásicos de indução, todavia com redução de torque de partida.
- O princípio de funcionamento é fundamentado nas fontes chaveadas e tecnologia Pulse Wide Modulation – PWM.
- É usual nos acionamentos de bombas centrífugas para variação de velocidade.
- Substitui com vantagens os inversores de frequência.
- É um dispositivo eletrônico que utiliza como componente o semicondutor Insulated Gate Bipolar Transistor – IGBT.

**1. Um motor trifásico de induções apresenta a seguinte placa de identificação:**

W22 Premium	
~ 3 kW(HP-cv)	0.75(1.0) CARC. FRAME 80
220/380 V	A 2.89/1.67
1725 RPM	Hz 60 FS SF 1.25 W/N 7.3 P.F. 0.82
83.0 REND.(%)	AMB. 40°C ISOL INCL F ΔT 80 K I.S.F.A. 3.61/2.09 A
N CAT	IP55 REG DUTY S1 Alt. 1000 m.a.s.l.m.
W2 U2 V2	W2 U2 V2
U1 Y1 W1	U1 Y1 W1
Δ L1 L2 L3	Y L1 L2 L3
220 V	380 V
MOBIL POLYREX EM	
RENDEMENTO E FATOR DE POTÊNCIA APROVADOS PELO INMETRO	
PROCEL NBR - 17084-1	

**Com os dados da placa é correto afirmar que:**

- O escorregamento é inferior a 3%.
- É permitido a instalação apenas em ambientes abrigados.
- A corrente de partida é 3,61 A.
- É permitido operar com sobrecarga de até 25%.
- O motor é de 6 polos.

**2. Em uma subestação de distribuição constituída por transformadores abaixadores.**

- Na ocorrência de um curto-circuito, a corrente inicia-se com máxima simetria, tornando-se aos poucos assimétrica.
- O rendimento máximo dos transformadores sempre ocorre com carga máxima.
- As perdas são constantes e independem da carga.
- A ligação em paralelo dos transformadores só é possível com unidades de mesma potência.
- As perdas magnéticas independem da carga, todavia, as perdas por efeito Joule variam de forma quadrática com a corrente de carga.

5. Um motor síncrono hipotético está conectado a um barramento infinito. Inicialmente, o motor tem sua corrente de campo ajustada de modo que seu fator de potência seja indutivo. Suponha agora que, a corrente de campo seja gradualmente aumentada até seu valor nominal e que a potência de saída do motor seja constante ao longo de todo o processo. Diante do exposto, à medida que a corrente de campo aumenta,

- a) A velocidade do motor aumenta.
- b) A tensão do barramento infinito aumenta.
- c) A frequência do barramento infinito aumenta.
- d) O motor consome cada vez menos reativos da rede.
- e) O motor possa a consumir mais reativos da rede.

6. Considere as afirmativas abaixo sobre o tiristor SCR.

V. Possui quatro camadas semicondutoras PNPN, sendo o G (gate) instalado em uma das camadas N.

VI. Conduz de anodo para catodo e vice-versa.

VII. Pode ser levado à condução por meio de um impulso de tensão positiva no terminal gate.

VIII. Uma forma, bastante comum para retorná-lo à condição de bloqueio é estabelecer um curto-circuito momentâneo entre o anodo e o catodo.

Está correto o que se afirmar APENAS em:

- a) II.
- b) II e IV.
- c) I e III.
- d) III e IV.
- e) I.

## Gabarito

QUESTÃO	ALTERNATIVA
1	A
2	D
3	E
4	E
5	D

## Referências

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR, C.; UMANS, S. D. Máquinas elétricas. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CHAPMAN, Stephen J. Máquinas elétricas. 5. ed. São Paulo: McGraw-Hill Brasil, 2010.

BOLDRINI, P.; REIS, A. R. Máquinas elétricas: teoria, projeto e aplicações. São Paulo: Érica, 2018.

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 17094-1:2022 – Motores elétricos de indução trifásicos – Parte 1: Características gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.



**OBRIGADO!**  
CONTINUE ESTUDANDO.



Ineprotec