

Linhas de Transmissão: Ciclo de Vida dos Isoladores

Palestrante: Adriana de Castro Passos Martins

REALIZAÇÃO:

Motivação



Os isoladores geralmente não são os equipamentos mais caros em uma linha de transmissão, principalmente considerando-se a quantidade empregada. No entanto, a falha de uma cadeia de isolador pode causar interrupção na transmissão.

A parcela de custo dos isoladores nos projetos de linha está entre 5% e 8% do seu valor total, mas a eles estão associados mais de 70% das saídas de linha e até 50% dos custos de manutenção

Assim, o conhecimento de como selecionar o melhor isolador para cada situação operacional, como elaborar uma especificação para compra de isoladores, saber usar as normas correlatas e como avaliar as condições dos isoladores em campo é fundamental para garantir a operacionalidade do sistema elétrico.

RAVI S. GORUR, DAVE SHAFFNER, WAYNE CLARK "UTILITIES SHARE THEIR INSULATOR FIELD EXPERIENCE"; T&D WORLD MAGAZINE, APR 1, 2005

REALIZAÇÃO:

Sumário



01

ATIVIDADES DO CICLO DE VIDA

02

ASPECTOS REGULATÓRIOS

03

TIPOS DE ISOLADORES

04

PROPRIEDADES E
CARACTERÍSTICAS DE
ISOLADORES

05

MATERIAIS POLIMÉRICOS

06

MODOS DE FALHA

07

MITIGAÇÃO DE RISCOS - INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

08

PREVISÃO DE FINAL DE VIDA ÚTIL E DESCARTE

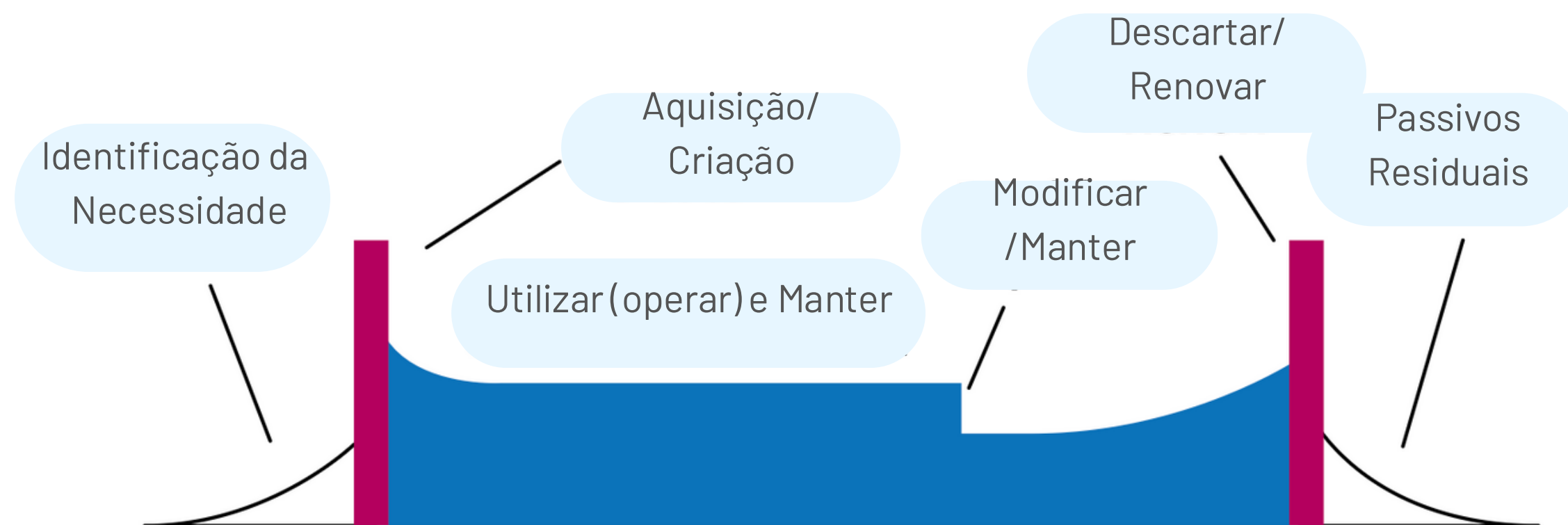
09

CONTATOS

REALIZAÇÃO:



Atividades do Ciclo de Vida



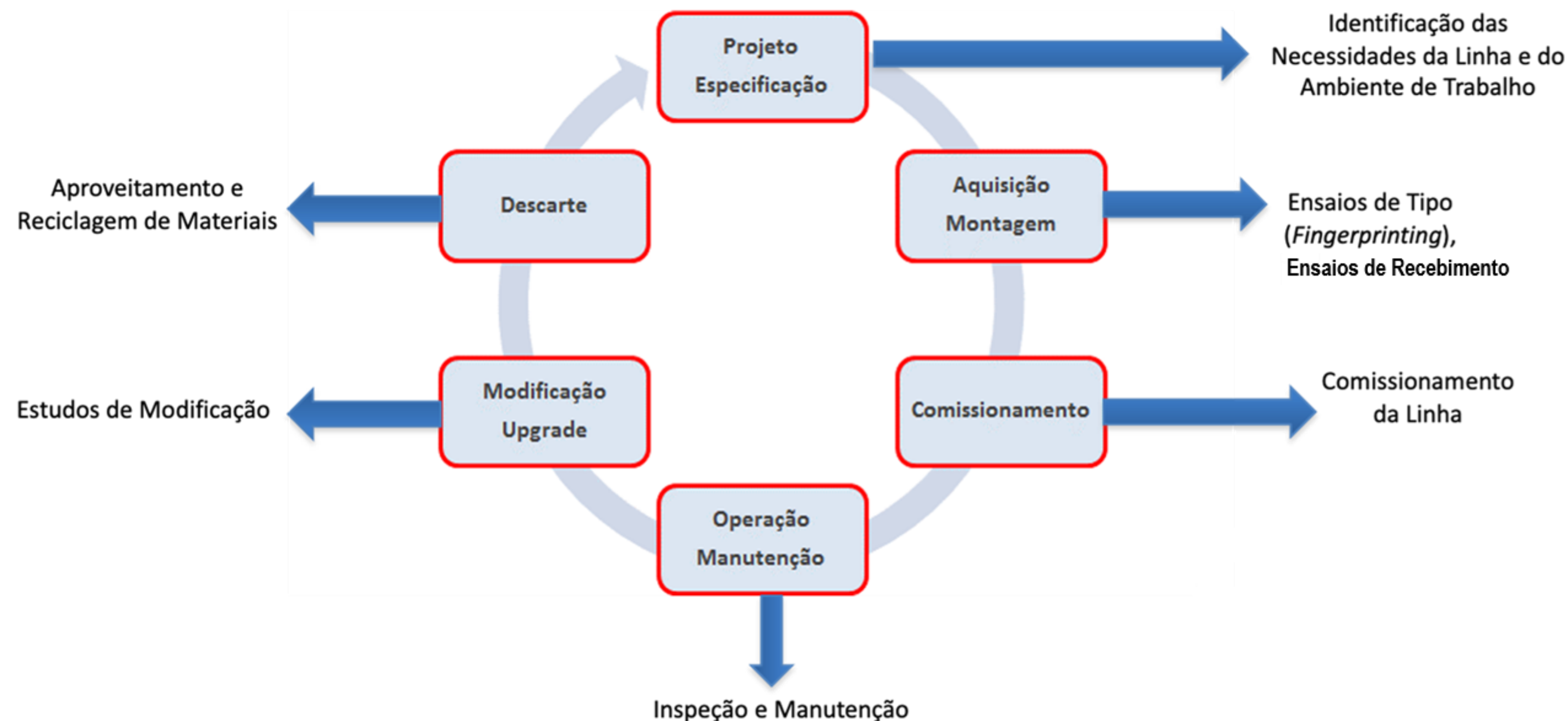
Definição da ISO 55000: ciclo de vida é o período durante o qual o valor do ativo pode ser realizado, com diferentes estágios e diferentes requisitos, riscos e oportunidades de valor.

A gestão do ciclo de vida do ativo (Gestão do Ativo) visa maximizar o aproveitamento da vida útil do ativo.

REALIZAÇÃO:

Atividades do Ciclo de Vida

Vida Útil de Isoladores



REALIZAÇÃO:

Aspectos Regulatórios ReN 1020/2022, Módulo IV



FT: Conjunto de instalações funcionalmente dependentes, considerado de forma solidária para fins de apuração da prestação de serviços de transmissão, compreendendo o equipamento principal e os equipamentos complementares.

Seção 4.0 - Anexo I

FT LINHA DE TRANSMISSÃO (LT): Equipamentos das entradas de LT, reator em derivação, equipamento de compensação série, não manobráveis sob tensão a ela conectados e aqueles associados ao equipamento principal.

Seção 4.2. Requisitos Mínimos de Manutenção

8.1. A atividade mínima de manutenção para as linhas de transmissão é a inspeção de rotina, que deve ser realizada, no mínimo, a cada doze meses.

8.2. Nas inspeções de rotina devem ser verificados: o estado geral da linha de transmissão, a situação dos estais, a integridade dos cabos condutores e para-raios, a estabilidade das estruturas, a integridade das cadeias de isoladores, a situação dos acessos às estruturas, a proximidade da vegetação aos cabos, a existência de vegetação que coloque em risco a operação da linha de transmissão em caso de incidência de queimadas e os casos de invasão de faixa de servidão.

Seção 4.3. Qualidade

3. Aplicação da Parcela Variável

REALIZAÇÃO:



Tipos de Isoladores



As principais considerações sobre a escolha de que tecnologia aplicar são:

- as propriedades dos materiais que as constituem;
- a habilidade de operar nas diferentes condições ambientais;
- o projeto da linha;
- a vida útil;
- o custo do ciclo de vida.

REALIZAÇÃO:

Tipos de Isoladores

Tipos	Vantagens	Limitações
Porcelana	Longo histórico de uso Performance conhecida Facil intercambialidade Redução com as desapropiações com uso dos isoladores pilares em linhas compactas urbanas	Peso Defeitos ocultos Susceptível ao vandalismo Técnicas de detecção de defeitos ainda não 100% confiáveis
Vidro	Longo histórico de uso Performance conhecida Facil intercambialidade Defeitos facilmente identificáveis	Percepção negativa quanto à fragilidade Peso Atrativo para vandalismo
Polimérico	Redução com as desapropiações com linhas compactas Boa performance sob contaminação Leveza Percepção de que são mais difíceis de serem danificados por vandalismo Facilidade de instalação	Fratura frágil do núcleo Efeito do tempo no processo de degradação Menor intercambialidade Pode ter defeitos ocultos Técnicas de manutenção em linha viva ainda em desenvolvimento

REALIZAÇÃO:

Isoladores - Propriedades e Características

Distância de Arco Seco

A distância de arco seco é a distância mais curta no ar entre os terminais condutores de um isolador, medida em linha reta (ou quase reta), sem seguir os contornos ou saliências do isolador. É o caminho real sobre a superfície do isolador entre os dois terminais.

Está relacionada à capacidade do isolador de resistir à tensão de arco elétrico no ar seco, ou seja, sua resistência a descargas elétricas pelo ar quando a superfície está limpa e seca.

Usos práticos:

Determina a capacidade de suportar sobretensões momentâneas (como descargas atmosféricas).

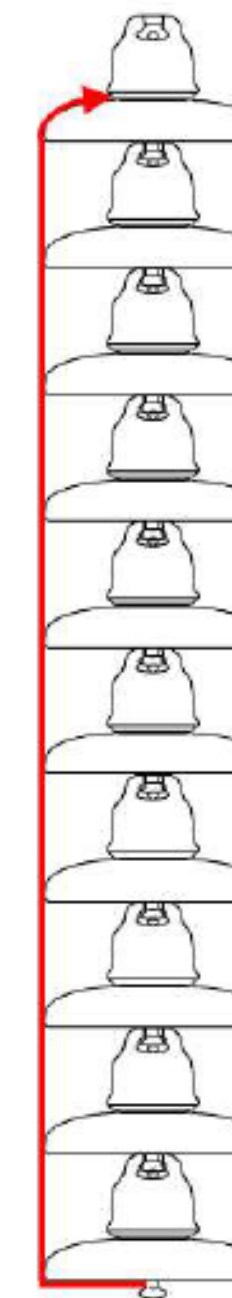
Ajuda a evitar flashovers (descargas disruptivas no ar entre extremidades do isolador).

Fatores que influenciam essa distância:

Tensão nominal do sistema – quanto maior a tensão, maior deve ser a distância.

Diâmetro do isolador

Altitude



REALIZAÇÃO:

Isoladores - Propriedades e Características

Creepage – Distância de Escoamento

A distância de escoamento (creepage) é a menor distância medida ao longo da superfície de um isolador entre duas partes condutivas ou entre uma parte condutiva e a terra. É um parâmetro fundamental para garantir o desempenho elétrico dos isoladores em ambientes sujeitos à poluição.

Segundo a norma IEC 60815-1, a distância de escoamento necessária depende de:

- Nível de poluição ambiental (leve, moderado, severo, muito severo);
- Tipo de isolador (vidro, porcelana, polimérico);
- Condições climáticas locais;
- Forma e perfil do isolador;
- Posição e montagem do isolador (horizontal, vertical, inclinado), que influenciam a autolimpeza e a acumulação de contaminantes.

A norma fornece valores mínimos recomendados de distância de escoamento em $\text{mm/kV}_{\phi-T}$, com o objetivo de evitar o aparecimento de descargas superficiais (descargas de banda seca) e a formação de correntes de fuga na superfície dos isoladores.

Valores Recomendados de Distância de Escoamento (por IEC 60815-1), que define a distância de escoamento específica com base na severidade da poluição local:

a- Muito leve- $23\text{mm/kV}_{\phi-T}$

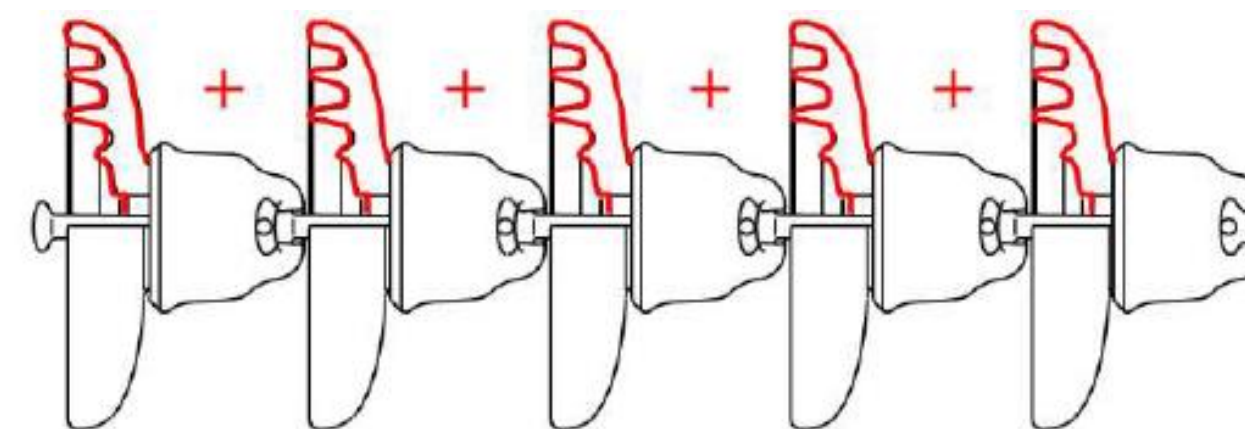
b- Leve - $27,8\text{mm/kV}_{\phi-T}$

c- Média - $34,7\text{mm/kV}_{\phi-T}$

d- Pesada $43,3\text{mm/kV}_{\phi-T}$

e- Muito pesada: $53,7\text{mm/kV}_{\phi-T}$

Exemplo: para um sistema de 230kV em ambiente com severidade de poluição média: Distância de escoamento = $(245\sqrt{3} \times 34,7\text{mm/kV}_{\phi-T} = 4908\text{mm}$



REALIZAÇÃO:

Isoladores - Propriedades e Características

IEC 60815-1 Seleção e dimensionamento de isoladores para alta-tensão para uso sob condições de poluição Parte 1: Definições, informações e princípios gerais

Quantificação da Poluição no Projeto é feita com base nas premissas da norma.

1

A partir de medições no local
Necessidade de medição de por pelo menos um ano

2

A partir de informações sobre o comportamento de isoladores em linhas e subestações em operação no local ou próximo a ele

3

Por meio de simulações que calculam o nível de poluição a partir do tempo ou outros parâmetros ambientais

4

Se não houver outra possibilidade, qualitativamente a partir da Tabela 5 da IEC 60815 (exemplos de ambientes típicos)

Isoladores: Propriedades e Características

Hidrofobicidade

Superfícies hidrofóbicas não formam camadas de filmes superficiais quando aspergidas com água. Isto pode levar a:

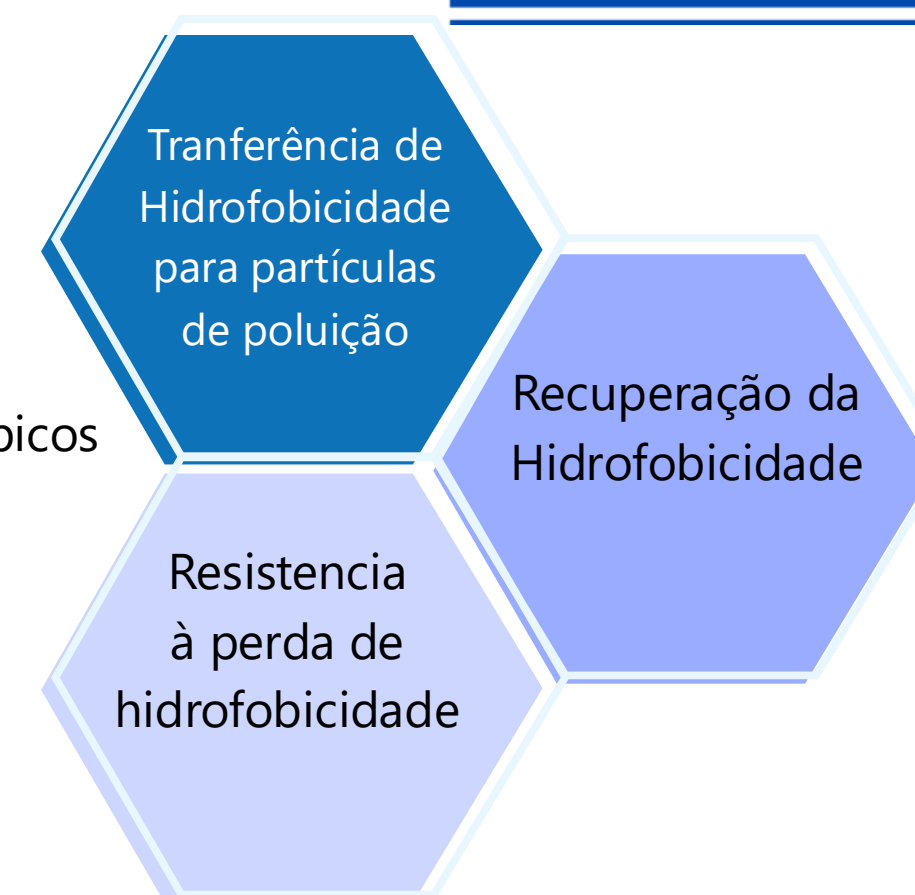
Supressão da corrente de fuga do isolador; tensões maiores de iniciação descargas elétricas em camadas úmidas poluídas; maiores tensões específicas de descargas do que em isoladores hidrofílicos.

O grau de Hidrofobicidade pode ser quantificados por diferentes métodos (IEC TS 62073:2003)

- Método do ângulo de contato;
- Método da tensão superficial;
- Método do borrifamento (STRI).

Em comparação com o desempenho elétrico, verificou-se que o ângulo de recuo da água apresenta a melhor correlação com o desempenho elétrico da superfície molhada.

Propriedades de Materiais Hidrofóbicos



REALIZAÇÃO:

Isoladores: Propriedades e Características

Ensaio de Hidrofobicidade:

Os métodos de ensaio devem abordar três dimensões:

- a) Perda da hidrofobicidade
- b) Transferência de hidrofobicidade para as partículas de poluição.
- c) Testes para estabilidade da hidrofobicidade

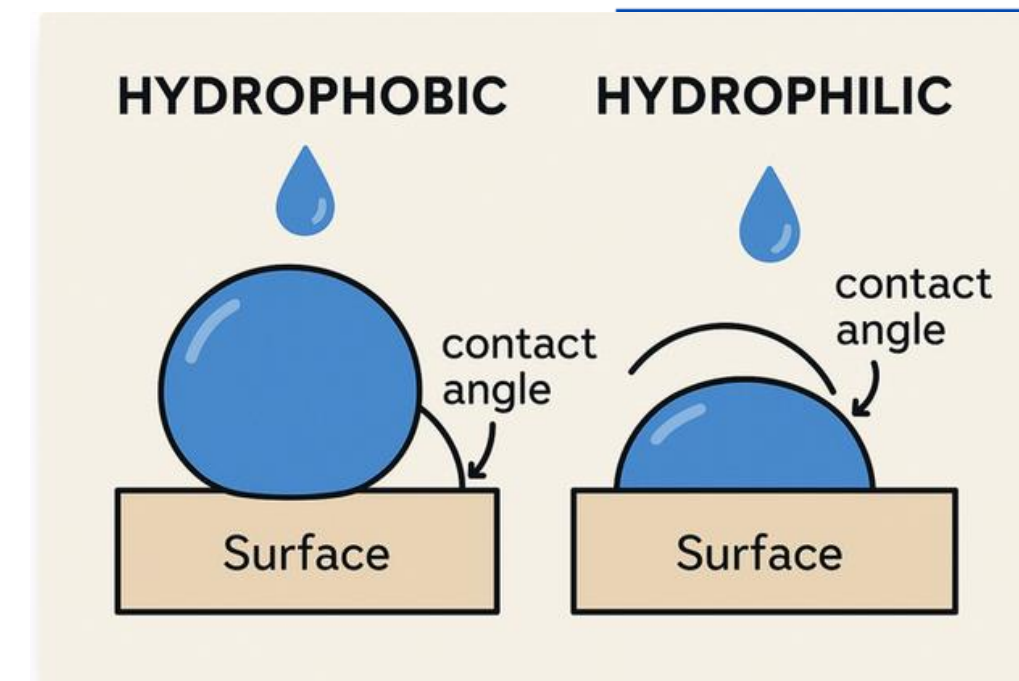
Não existem testes padrão para quantificar e comparar o processo de hidrofobicidade de materiais diferentes.

Com relação à hidrofobicidade em condições de múltiplas solicitações, alguns testes podem ser usados para avaliar a estabilidade da hidrofobicidade:

- 1) ensaio de névoa salina.
- 2) teste da roda girante modificado;
- 3) ensaio dinâmico com gotas de água.

b) Transferência da hidrofobicidade

Algum tipo de camadas de poluição artificial é usado para avaliar as mudanças em seu molhamento com relação ao tempo. A avaliação pode ser feita tanto pela medição dos ângulos de molhamento ou medindo os ângulos de molhamento usando um método drop roll (gota deslizante). Também é proposta a avaliação da corrente de fuga.



Ângulo de Contato	Classificação
<90	Hidrofílico
$\geq 90^\circ$ e $< 150^\circ$	Hidrofóbico
$\geq 150^\circ$	Superhidrofóbico

REALIZAÇÃO:

Propriedade	Requisito Mínimo		Padrão	Observação
	Material do Encapsulamento	Núcleo		
Resistência à Erosão e Trilhamento	1 a 3.5	—	IEC 60587	
Resistência ao ozônio e corona	x	-	Em andamento	Por exemplo, IEC 60343 (1991: Bi et al. 2013), mas uma avaliação de outros fatores de influência (alongamento) é recomendada.
Resistência à degradação química e física por água	Imersão em água fervente por 100h seguida por teste de suportabilidade de tensão por 1min. A 12kVrms (AC) sem ruptura ou flashover, corrente durante o teste de tensão ≤1mA		IEC 62217 (2012)	Este teste é chamando de difusão de água e fornece informações sobre a adequação do material
	Opcionalmente, medição do fator de dissipação tanδ depois de 50 dias de imersão em água a 50°C, limite tanδ<0.2		IEC 60250 (1969)	Este teste fornece informações sobre possíveis mecanismos de envelhecimento.
Resistência ao rasgamento	>6N/mm²	-	ISO 34 (2010)	DIN 53504 (2009) também é aplicável
Resistividade Volumétrica	>10 ¹⁰ Ωm			IEC 60093 (1980)
Rigidez Dielétrica	10kV/mm		IEC 60243-1 (1998)	IEC 60243-3 (2001) para ensaio de impulso
Resistência ao ataque químico		Ensaio de 96horas envolvendo esforços mecânico (340Mpa) e químico (HNO ₃ 1N) sem falha	IEC 62039	Aplicável apenas em materiais de núcleo resistentes à ácidos.
Resistência ao intemperismo e ao UV	x		IEC 62217 com referência a ISO 9892-2(2010)	A segunda edição da IEC tem apenas a exposição à radiação com lâmpadas de Xenônio (ISO 4892-2)
Resistência à flamabilidade	x		IEC 62217, com referência à IEC 60695_11_10 (2003)	V0, V1 ou HB40-25mm devem ser testados dependendo da aplicação e da tensão nominal; V0 é a classe mais alta.
Arc resistance	>180s		IEC 61621 (2003)	
Temperatura de transição. vítrea		Tg>Tmax + 15K	IEC 61006 (2004)	Tmax = Temperatura máxima em serviço
Recuperação da hidrofobicidade	x		IEC 61109 publicada em 2025	Somente para materiais poliméricos, que possuem propriedades hidrofóbicas intrínsecas permanentes e dinâmicas.
Transferência de hidrofobicidade	x		Em andamento	

Materiais Poliméricos

Termoplásticos:

- Termoplásticos são polímeros que amolecem quando aquecidos e endurecem quando resfriados, de forma reversível e repetida. Isso acontece porque suas cadeias moleculares não estão quimicamente ligadas entre si, permitindo que deslizem umas sobre as outras com o calor.

Termofixos:

- Termofixos são polímeros que, após o processo de cura (aquecimento e/ou reação química), formam uma estrutura tridimensional rígida e irreversível. Ou seja, uma vez moldados e curados, não podem ser fundidos ou remodelados com calor.

Elastômeros:

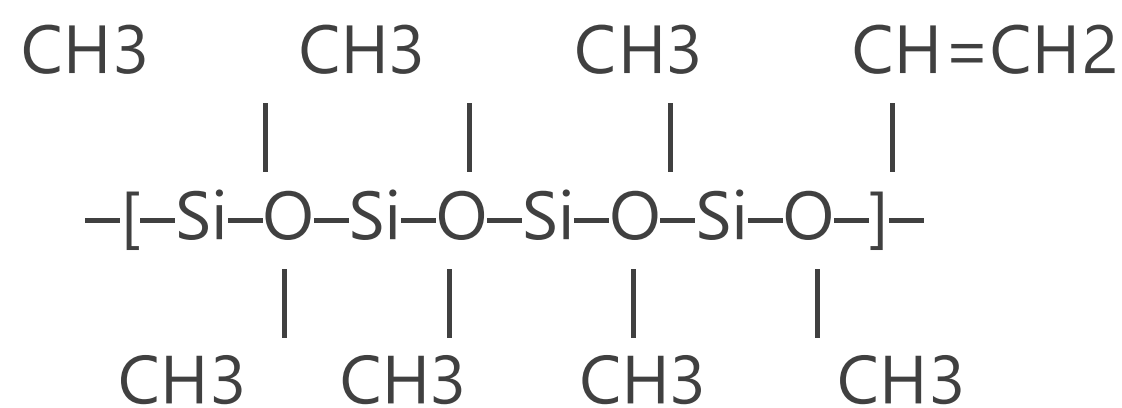
- A classe de materiais elastoméricos (conhecidos como borrachas) são polímeros cuja transição vítrea ocorre abaixo da temperatura ambiente, e isso resulta em propriedades de interesse, especialmente comportamento mecânico elástico, tenacidade e resiliência.

T_g: temperatura na qual o material passa de um estado vítreo (rígido e quebradiço) para um estado borrachoso ou mais flexível, sem que ocorra fusão.

REALIZAÇÃO:

Materiais Poliméricos

- VMQ/HCR: Vinil Metil Silicone High Consistency Rubber, uma classe de borrachas de silicone caracterizada por sua excelente flexibilidade, estabilidade térmica e resistência a fatores ambiental. requerendo alta temperatura de vulcanização (HTV). Possuem alto peso molecular e são curados usando peróxidos ou catalisadores de platina.
- VMQ/LSR: borracha de silicone líquida. Um silicone de baixa viscosidade que cura com a adição de catalisador de platina. Ideal para moldagem por injeção e aplicações a alta temperatura.
- RTV (Room Temperature Vulcanizing Silicone) – Silicone de Vulcanização à Temperatura Ambiente



- PE: Polietileno, termoplástico.
- EVA: Etileno Vinil Acetato, copolímero de etileno e vinil acetato.
- EP: Borracha Etileno Propileno, conhecida por sua resistência ao calor, ozônio e à variações climáticas.
- EPDM: Borracha Etileno Propileno Dieno: excelente desempenho climático, ao ozônio, estabilidade térmica.
- EP/HCEP: EP High Content Epoxy Particle, possui grande quantidade de carga mineral (sílica, alumina, etc.).
- EP/S-HCEP: EP Aleta Cicloalifática Epóxi Hidrofóbico desenvolvida para uso em isoladores compósitos, tem hidrofobicidade superior, resistência ao trilhamento e erosão, estabilidade UV.
- Resinas epóxi são combinadas com as borrachas EP para melhorar a flexibilidade mecânica, resistência ambiental e propriedades de isolamento elétrico.

REALIZAÇÃO:

Isoladores Poliméricos

Isoladores poliméricos e Isoladores compostos às vezes são tratados como sinônimos, mas há uma distinção técnica importante entre eles.

1. Isoladores Poliméricos Não Compostos

São isoladores fabricados com único material polimérico, como:

PE - Polietileno ou alguns polímeros termofixos,

Características:

São mais leves que os isoladores de vidro ou porcelana.

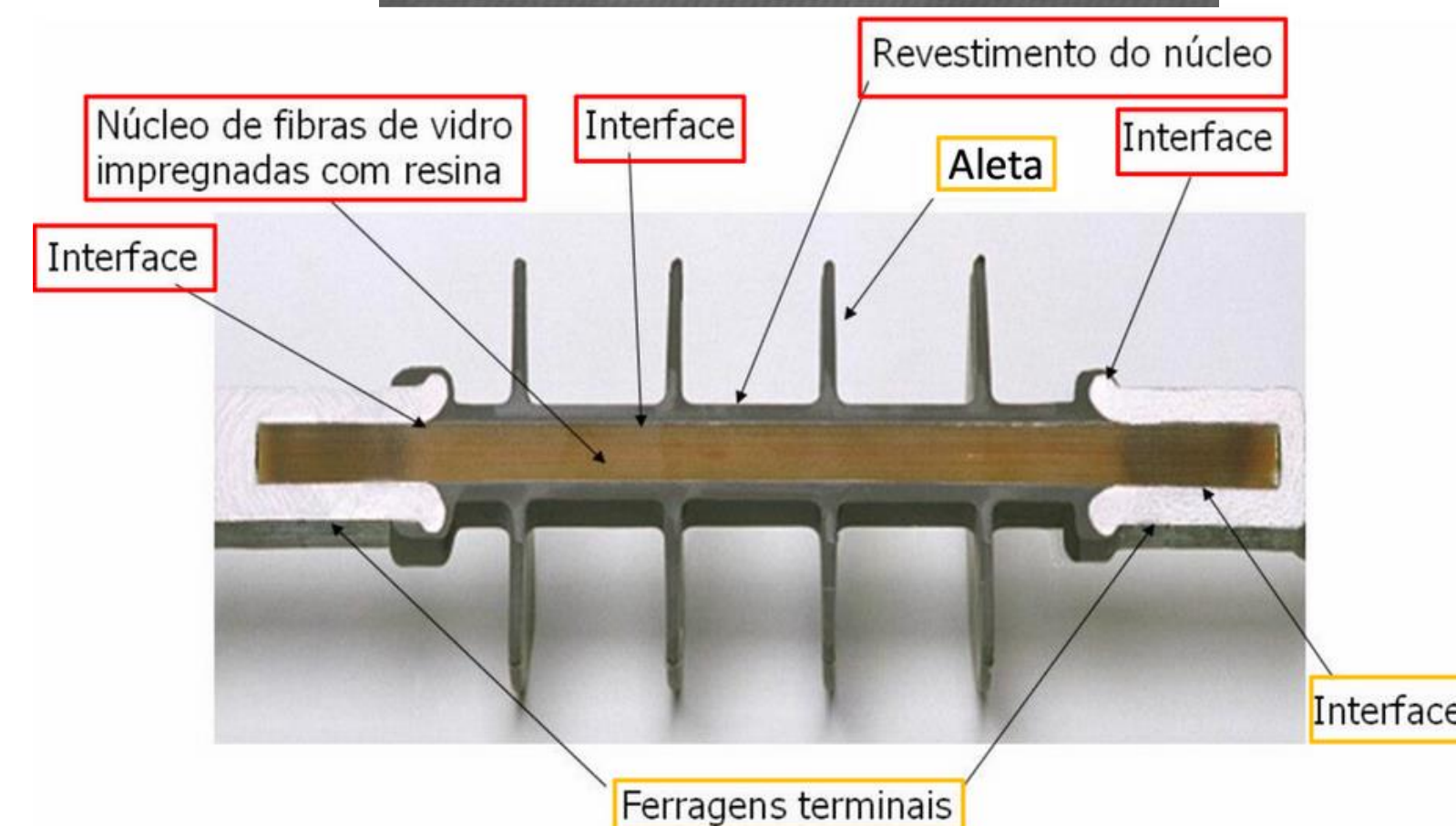
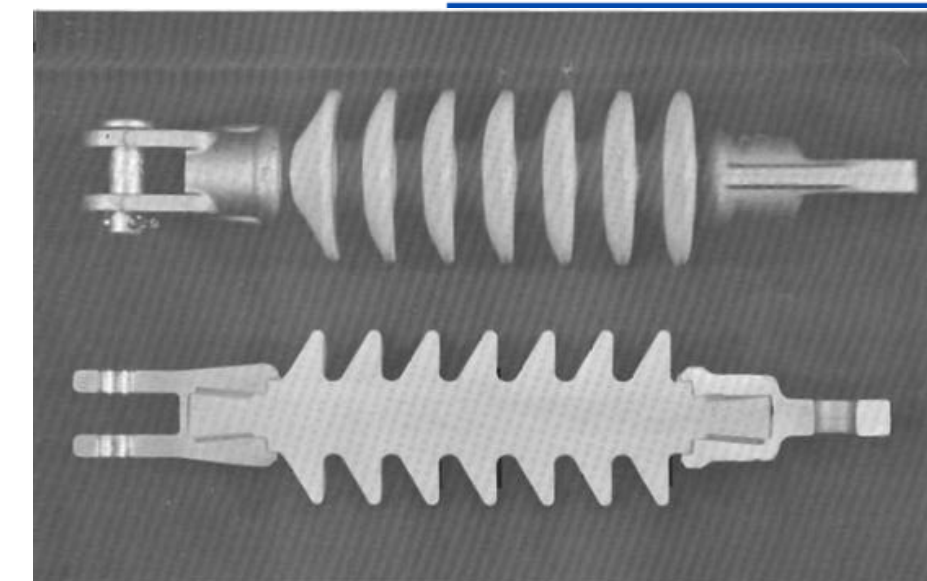
Boa resistência à contaminação (autolimpantes quando feitos com resina hidrofóbica). Boa resistência ao impacto e vandalismo. Mais resistentes à degradação por UV, ozônio e intempéries (dependendo do polímero usado).

2. Isoladores Poliméricos Compostos

São formados por múltiplos materiais:

- Núcleo : (EP/FRP – Epóxi Fiberglass Reinforced Plastic)
- Revestimento externo (housing/sheds): VMQ/HCR, VMQ/LSR, EVA, EPDM, EP/S-HCEP, EPDM ou outros polímeros.
- Estruturais: EP/HCEP
- Terminais metálicos nas extremidades (conexões ao sistema elétrico)

NÃO COMPOSTOS

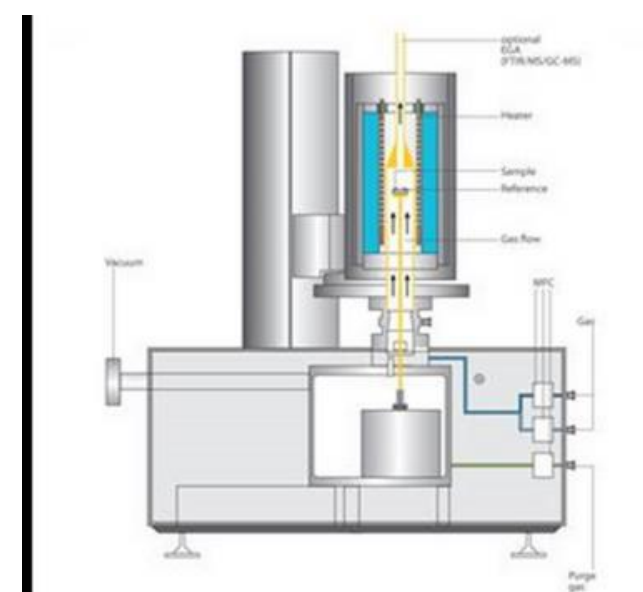


REALIZAÇÃO:

"Fingerprinting"

Materiais poliméricos aplicados em isolamento HV abrigados ou desabrigados, tais como isoladores compósitos ou de resina moldada.

Fingerprinting deve determinar a identidade do material, mas não necessariamente refletindo suas propriedades principais.



Métodos:

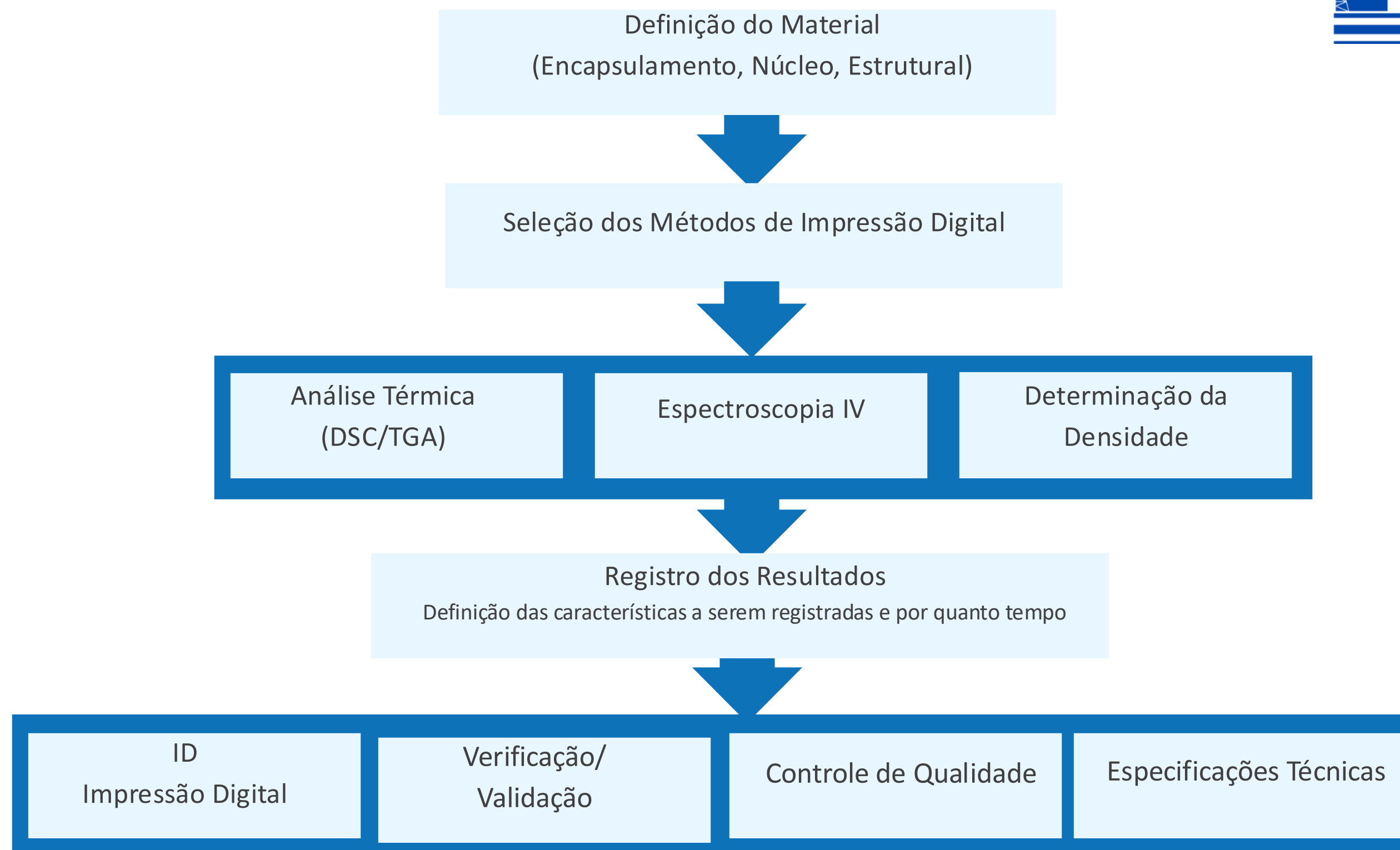
- DSC: Calorimetria Diferencial de Varredura
- TGA: Análise Termogravimétrica
- IR (IV): Espectroscopia de Infravermelho
- DM: Medições de Densidade

Objetivos do *Fingerprinting*:

- Controle de Qualidade
- Verificação/Validação
- Definição de características principais dos materiais funcionais
- Especificações Técnicas

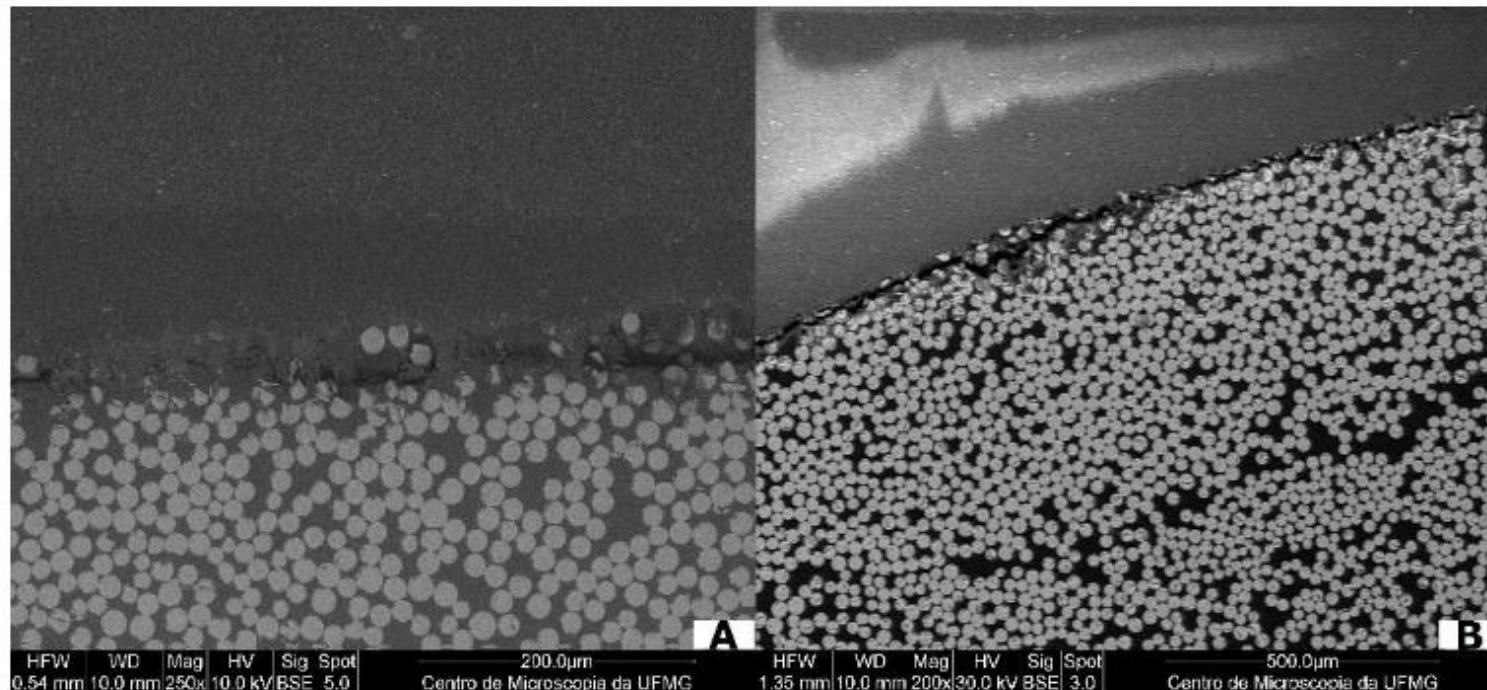
REALIZAÇÃO:

Procedimento e Objetivos do "Fingerprinting"

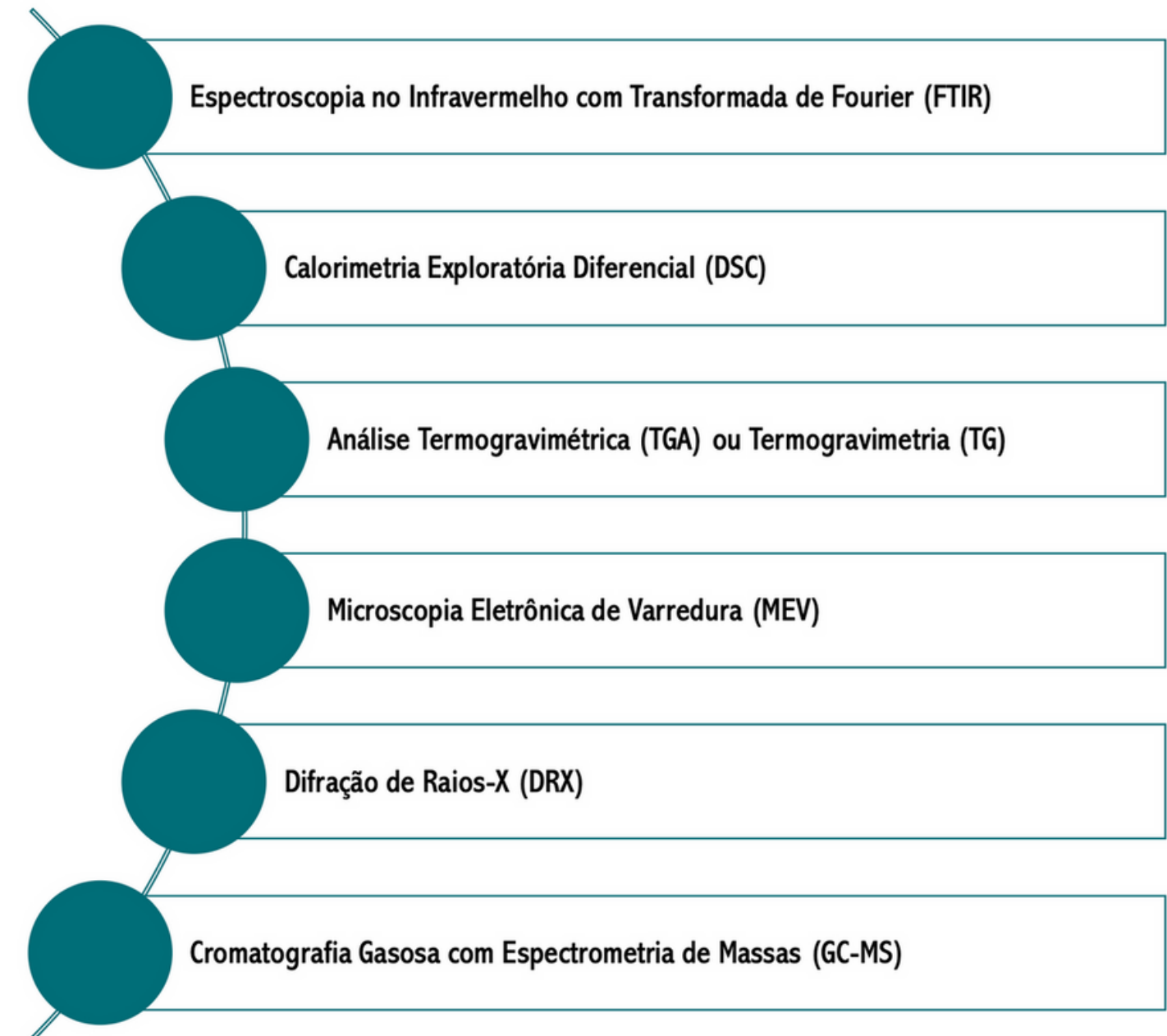


REALIZAÇÃO:

Metodologias

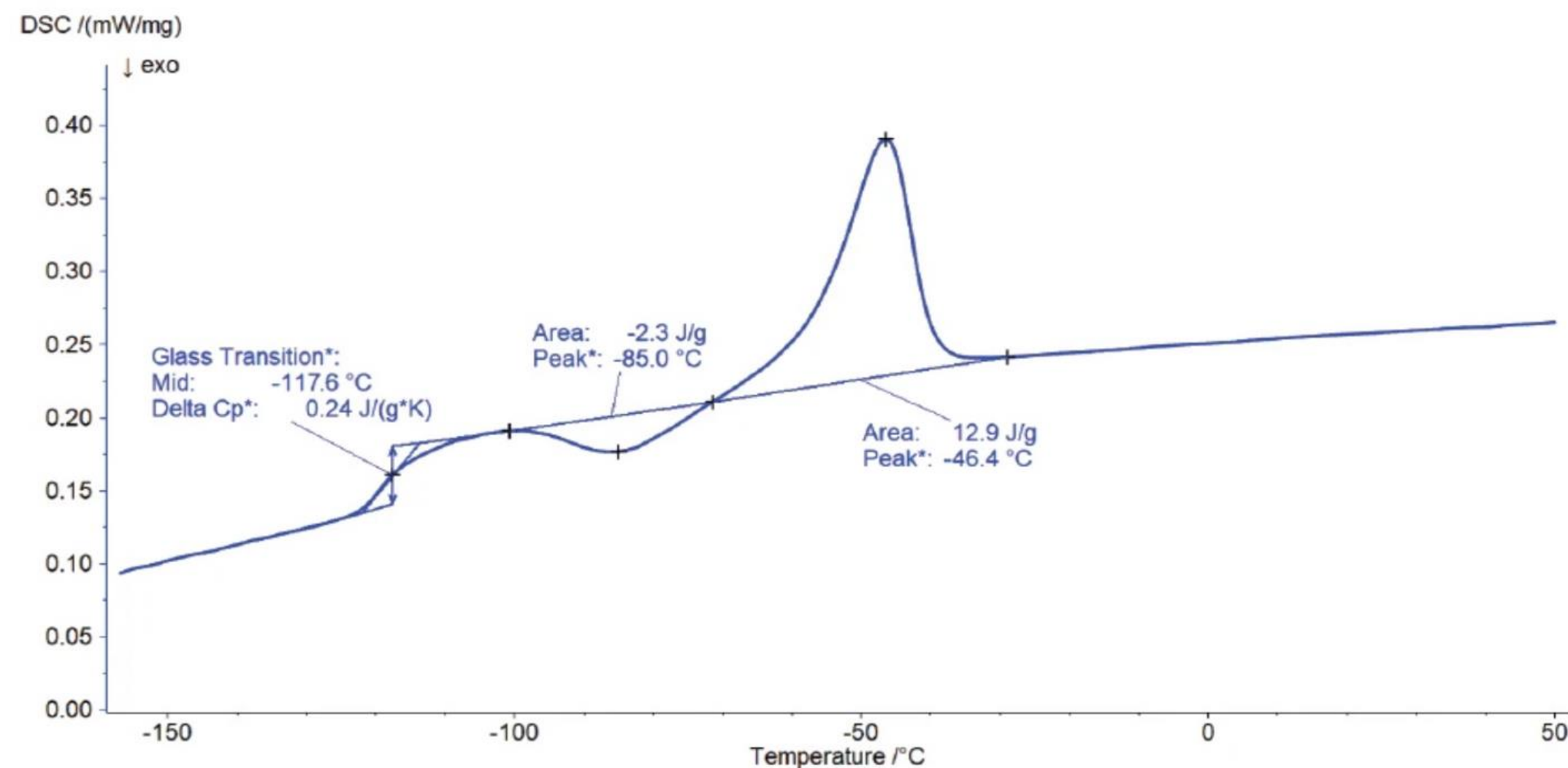


MEV de Seção transversal de núcleo de fibra de vidro de isolador polimérico



REALIZAÇÃO:

"Fingerprinting"



Interpretação da Curva DSC:
A Tg aparece como uma mudança na linha de base do sinal de fluxo de calor. Não é um pico como em fusão ou cristalização, mas sim um degrau suave indicando mudança na capacidade calorífica.

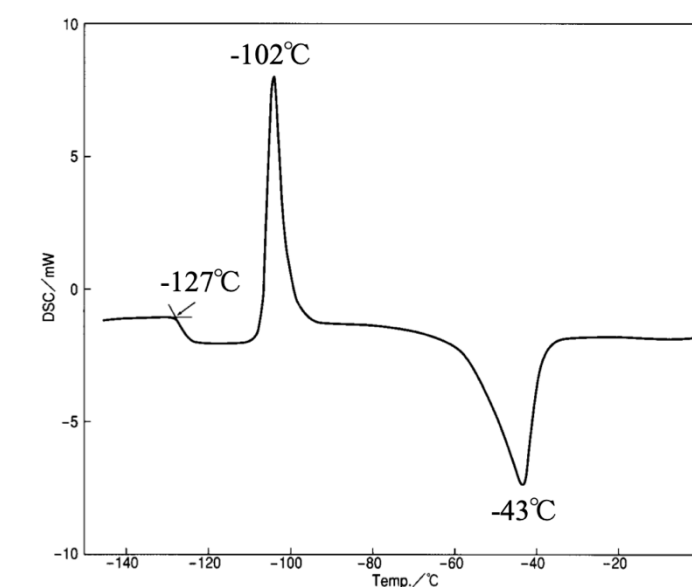
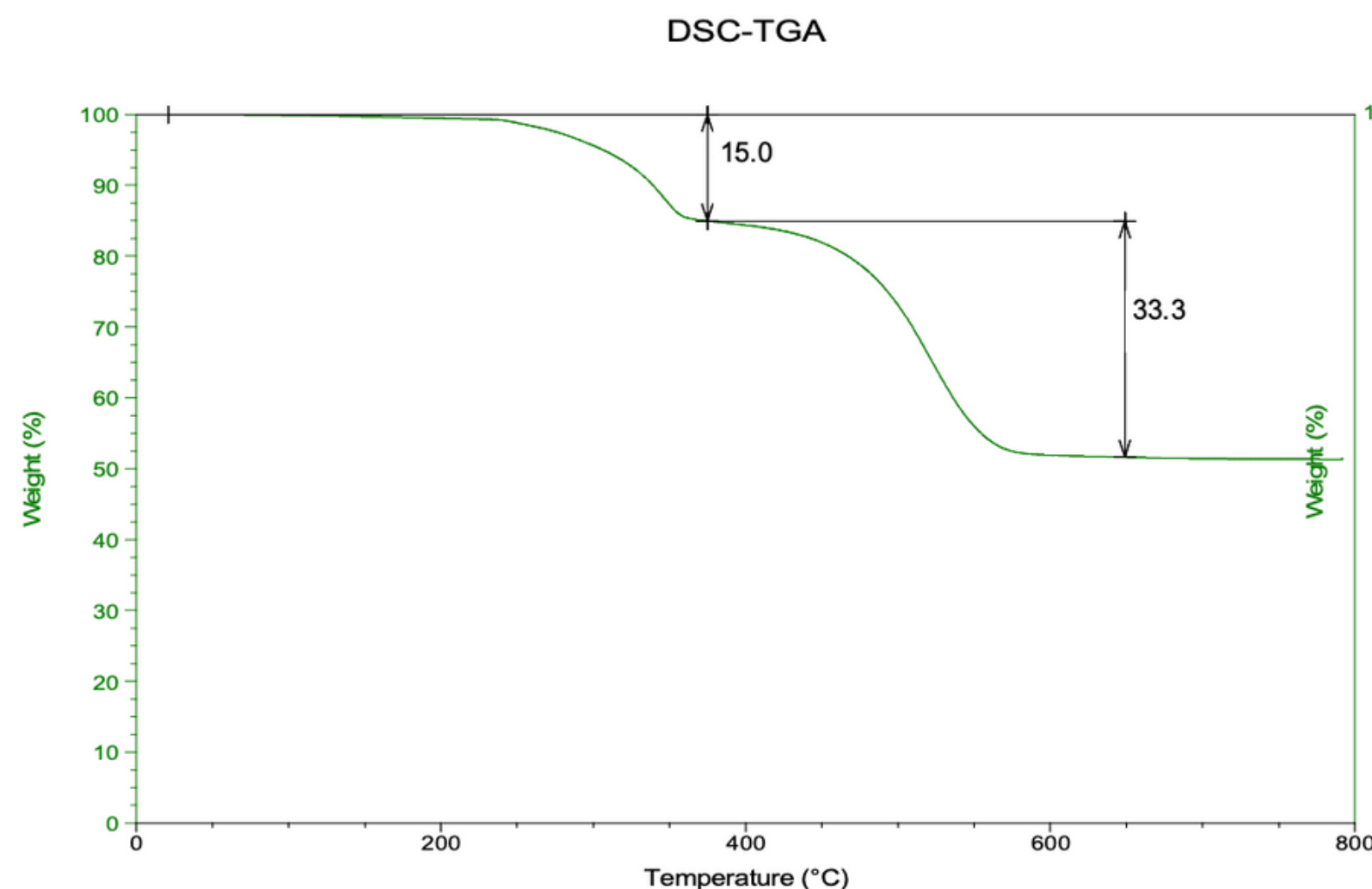


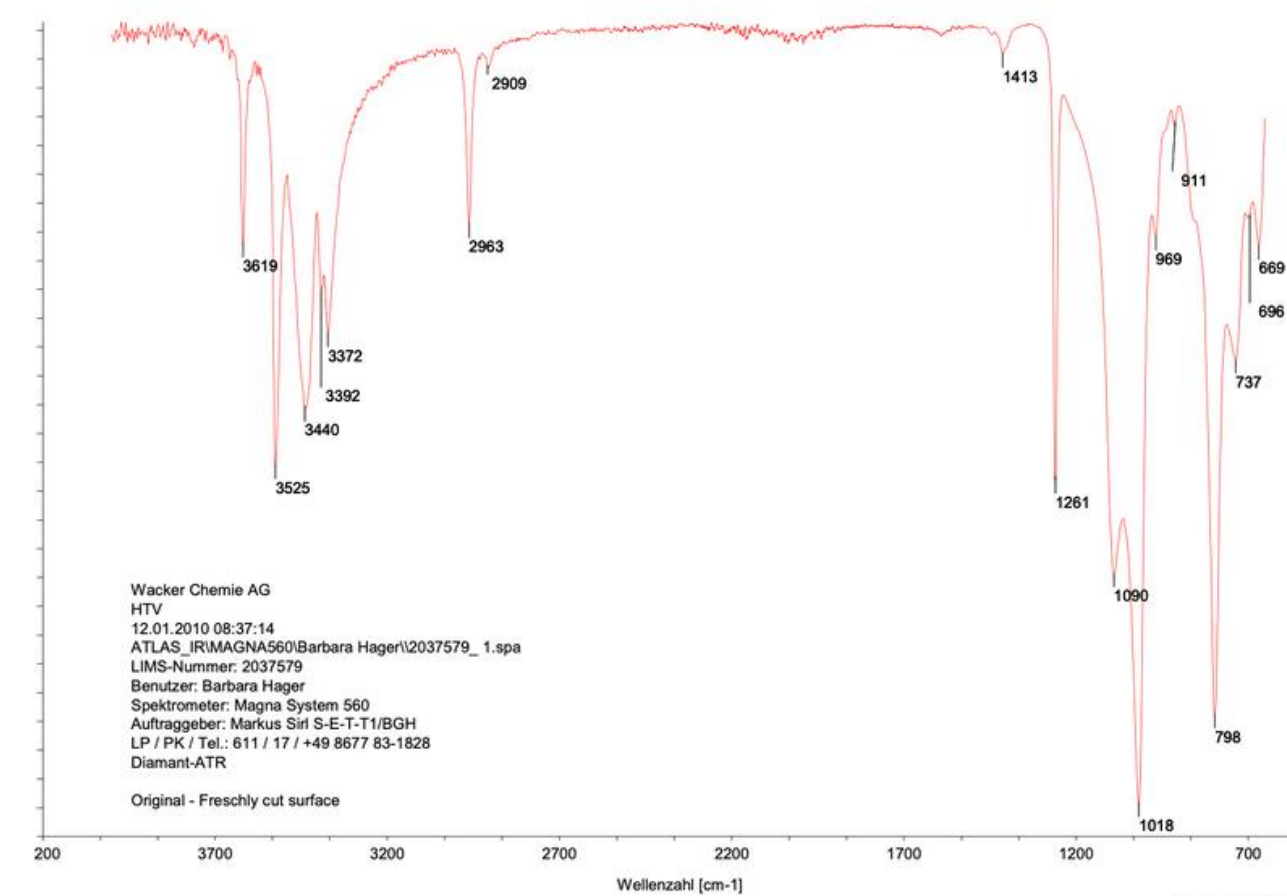
Figure 1 DSC curve for silicone rubber
Sample weight : 10mg
Heating rate : 10°C/min

REALIZAÇÃO:

Exemplos de Aplicação de Métodos de Ensaio



(a) Conventional TGA: heating rate 20 K/min; N₂
Al₂O₃.3H₂O - carga mineral em silicone



The IR curve below typically illustrates a silicone rubber filled with ATH:

ATH peaks:

3619 – 3372
cm⁻¹

CH₃ peak:

2963 cm⁻¹

Si-O peaks:

1090 cm⁻¹ &
1018 cm⁻¹

IR de elastômero de silicone VMQ/HCR

REALIZAÇÃO:

Modos de Falha

Descargas Disruptivas



Fonte: W.L.Vosloo et al. The practical guide to
Outdoor High Voltage Insulators. Crown
Publications, 2nd edition, 2006

Queda da Cadeia



REALIZAÇÃO:

Causas de Falha

- Sobretensões: surtos de manobra ou descargas;
- Poluição;
- Queimadas;
- Altitude, se não for prevista em projeto;
- Corrosão das ferragens;
- Fusão das ferragens;
- Excrementos de aves, ação de animais;
- Agentes biológicos
- Chuva Pesada, Seca Extrema, Neve, Gelo - Eventos Climáticos Extremos;
- Manuseio inadequado;
- Especificamente em isoladores poliméricos:
 - Degradação de isoladores poliméricos;
 - Atividades de descarga (corona ou sparking - centelhamento) pode expor o núcleo de fibra de vidro
 - Degradação acelerada da resina epóxi .



Corrosão por excremento de pássaros

REALIZAÇÃO:

Causas de Falha - Sobreensões

Podem atingir valores até mais que o dobro da tensão

nominal da linha;

Ultrapassar a capacidade isolante dos materiais;

Podem ter origem interna (surto de manobra) ou externa
(descargas atmosféricas).

Surto interno: curto circuito na linha, abertura da linha, religamento automático, religamento acidental, rejeição de carga.

Surto externo: descargas atmosféricas. Quedas diretas nos pára-raios, ou sobre os cabos condutores no meio do vão



REALIZAÇÃO:

Causas de Falha

Poluição

A poluição pode ter origem natural ou antrópica (causada pelo homem), e os principais tipos são:

- Poluição salina: comum em regiões litorâneas, causada por névoa salina.
 - Poluição industrial: vinda de processos industriais, como fuligem, partículas metálicas, gases corrosivos (SO_2 , NO_x , etc).
 - Poluição agrícola: partículas de fertilizantes e produtos químicos.
 - Poluição urbana: poeira, gases de escapamento de veículos, etc.
-
- Quando a poluição se deposita sobre a superfície do isolador, e há umidade (chuva leve, orvalho, névoa), os sais e contaminantes dissolvem-se e criam um caminho condutivo. Isso pode levar a:
 - Descarga Disruptiva (flashover): descarga elétrica através da superfície do isolador.
 - Perda de isolamento e interrupção do fornecimento.
 - Danos permanentes ao isolador (como trincas e degradação do material).
 - Riscos de segurança e aumento de custos operacionais.

Coleta de poluentes no campo



Coleta de poluentes em linha energizada



REALIZAÇÃO:

Causas de Falha

Monitoramento e classificação da poluição- IEC 60815

- Usando os índices:
 - DDSE (Densidade Superficial de Depósito de Sal Equivalente);
 - Densidade superficial de depósito não solúvel (DDNS):
 - Severidade da poluição local (SPL): valor máximo ou da relação DDSE/DDNS ou da SEL, registrado ao longo de um determinado período de tempo
 - Salinidade equivalente local (SEL): valor da salinidade de um ensaio de névoa salina, executado de acordo com a ABNT NBR 10621, que fornece valores de pico de corrente de fuga comparáveis com os valores obtidos com um isolador semelhante, poluído naturalmente, energizado com a mesma tensão. Geralmente expressa em kg/m³
- Classificação das áreas em níveis de poluição (leve, média, severa, muito severa) a partir do cálculo da Distância de Escoamento Específica Unificada (DEEU): distância de escoamento de um isolador dividida pelo valor eficaz da máxima tensão de operação ao longo do isolador.

- Escolha adequada do tipo de isolador:
 - Isoladores de vidro/porcelana para áreas menos críticas.
 - Isoladores poliméricos compostos para áreas com alta poluição (menos propensos a acúmulo e mais leves).
 - Limpeza periódica dos isoladores: manual (China), com água pressurizada, ou com robôs.
 - Técnica de jato de água com ou sem detergente. Em áreas críticas, pode ser feita com linha energizada (hot line).
- Aplicação de revestimentos hidrofóbicos:
 - Como silicone RTV (Room Temperature Vulcanizing) para manter a superfície repelente à água.
- Projeto adequado da linha:
 - Aumento distância de escoamento (caminho que a corrente teria que percorrer na superfície do isolador).
- Uso de "booster sheds".

REALIZAÇÃO:

Causas de Falha - Isoladores de Vidro



Quebra espontânea



Vandalismo



Corrosão no pino

REALIZAÇÃO:

Causas de Falha - Isoladores de Porcelana



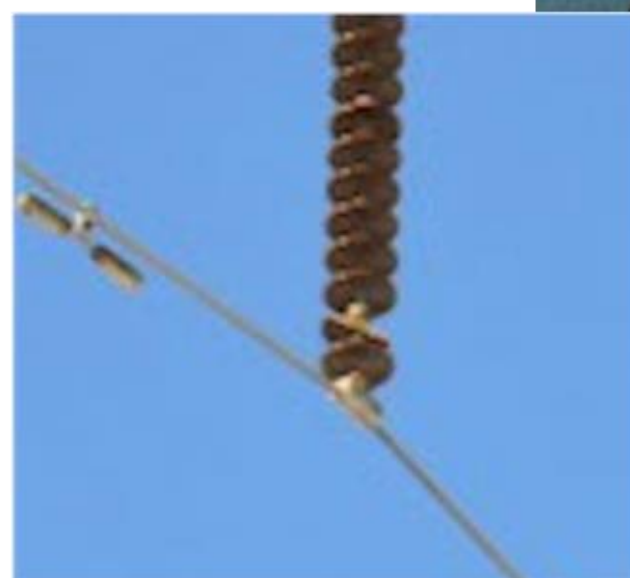
Fratura radial



Arco de
potência



Separação da campânula



Vandalismo



Corrosão do pino



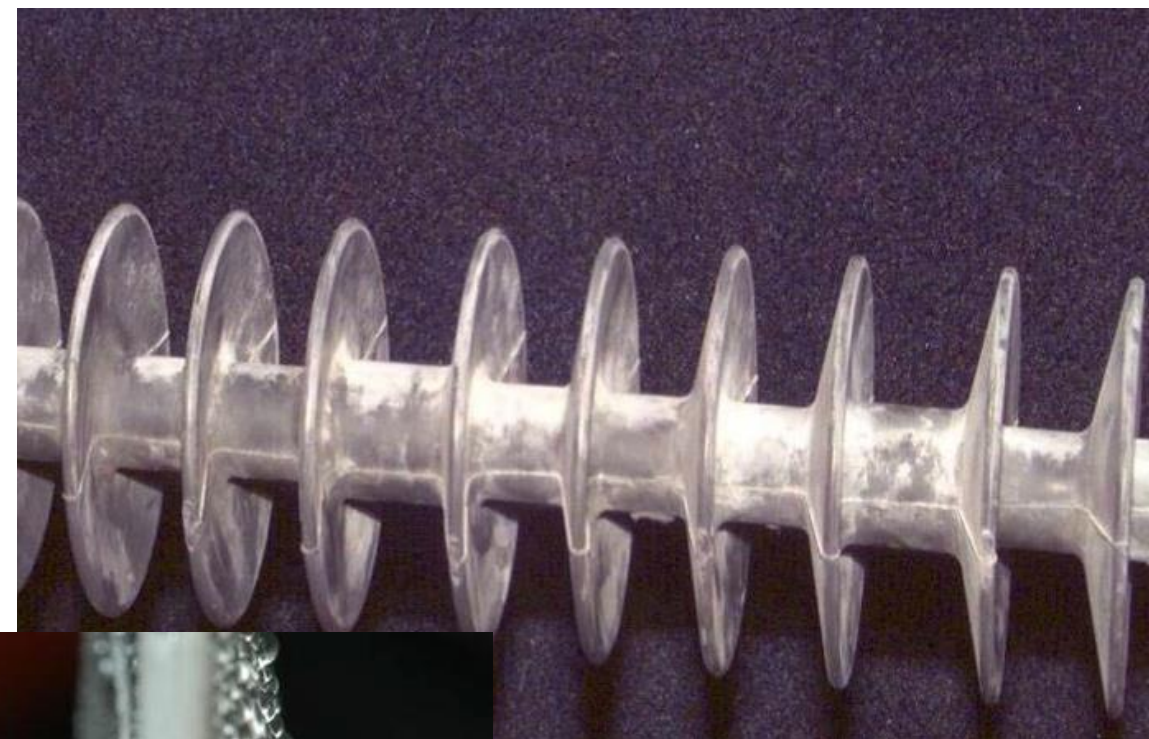
Perfuração

REALIZAÇÃO:

Causas de Falha – Isoladores Poliméricos



Pele de jacaré



Gizamento



Fungo



Perda de hidrofobicidade



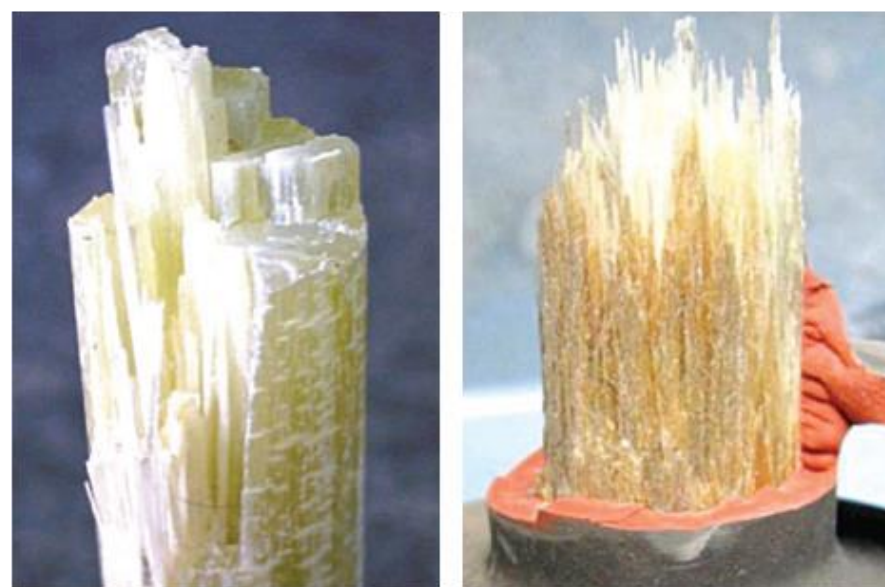
Erosão por corona na aleta



Erosão por corona no revestimento do núcleo

REALIZAÇÃO:

Causas de Falha – Isoladores Poliméricos



Fraturas frágeis e “Decay-like”



Trilhamento externo



Trilhamento interno



Fissura no revestimento



Erosão

REALIZAÇÃO:

Causas de Falha – Isoladores Poliméricos



Arco de
potência



Falha de aderência



*Ação de aves e outros
animais*



Descolamento do selo de vedação

REALIZAÇÃO:

Mitigação de Riscos - Inspeção e Manutenção



A inspeção de isoladores é da maior importância para identificação de potenciais riscos de falha causados por condições adversas do seu estado, tanto para a operação do sistema quanto para a segurança dos eletricitistas em trabalho com linha viva, e para avaliar a expectativa de sua vida útil. A escolha das técnicas mais apropriadas para inspeção e diagnóstico do estado do isolador requer conhecimento dos fatores de envelhecimento, dos diferentes tipos e formas de deterioração e danos e dos mecanismos e modos de falha.

O contínuo acompanhamento de novas técnicas de inspeção e do desenvolvimento de dispositivos de monitoramento é fundamental para as concessionárias incrementarem os benefícios e a qualidade de gerenciamento de seus ativos.

As inspeções se dividem basicamente dois grandes grupos: terrestre e aérea.

Rotineiramente as inspeções em isoladores são efetuadas juntamente com a inspeção nos demais componentes da linha de transmissão. Isoladores.

Como defeito entende-se toda alteração física ou química no estado de um componente ou instalação, não causando o término de sua habilidade em desempenhar sua função requerida, porém podendo, a curto ou longo prazo, acarretando indisponibilidade e falha.

O objetivo das inspeções é detectar defeitos (possíveis causas de falha)

REALIZAÇÃO:

Mitigação de Riscos - Inspeção e Manutenção

Inspeção visual

- Técnica mais comumente empregada.
- Exige conhecimento do inspetor;
- Permite a identificação dos principais processos de deterioração e dos danos que estão expostos;
- Feita a partir do solo, da torre, helicóptero, drone;
- Mais efetiva se realizada o mais próxima possível do isolador
- O uso de câmera digital de alta resolução permite a análise posterior;
- Necessidade de visualização a partir de diferentes pontos de observação.

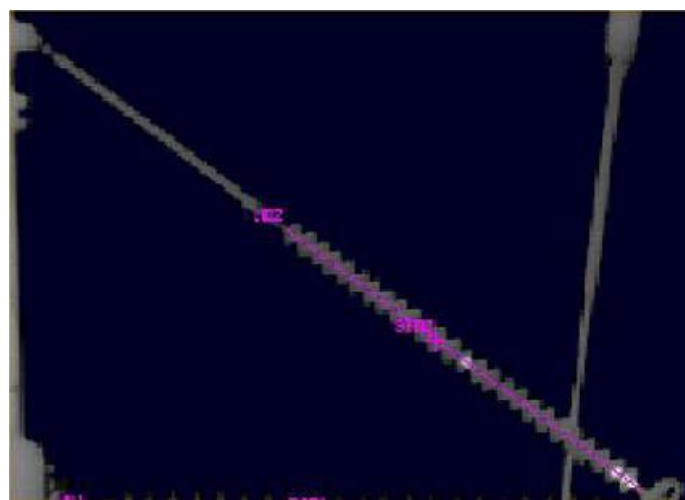


REALIZAÇÃO:

Mitigação de Riscos - Inspeção e Manutenção

Termografia com câmera de infravermelho (IR)

- Medição da distribuição da temperatura ao longo do eixo do isolador a partir de um ponto de referência no próprio isolador;
- Pontos quentes podem ser gerados pela passagem de corrente elétrica, indicando a presença de defeitos condutivos ou semicondutores;
- Boa sensibilidade para identificar danos por trilhamento na interface entre bastão e revestimento, especialmente quando houver condutividade elétrica ao longo do isolador;
- Pode ser feita aérea ou do solo



Medição de corona com câmera de ultravioleta (UV)

- Presença de atividade elétrica, causada por corona, na superfície externa do isolador
- Melhor identificação quando ocorre simultaneamente com a visualização do objeto
- Pode ser quantificada pela medição do número de fótons emitidos, mas varia de fabricante para fabricante
- Cuidado no ajuste do ganho
- Medições feitas de dia, preferencialmente, ou à noite
- Pode ser feita aérea ou do solo
- Exige diferentes pontos de observação.

Exemplos de medição de corona

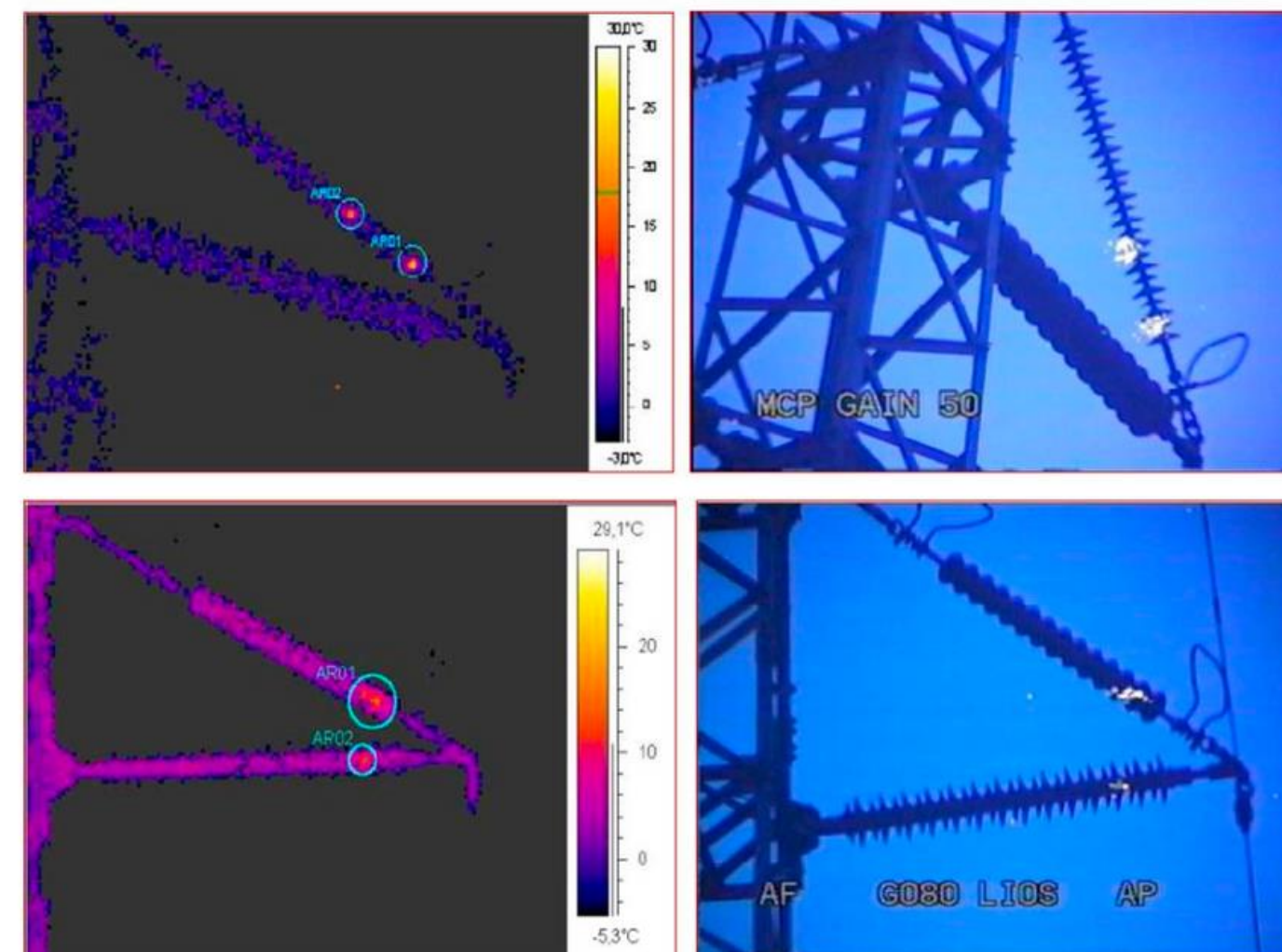


REALIZAÇÃO:

Mitigação de Riscos - Inspeção e Manutenção

Termografia + medição de corona (IR + UV)

- Combina a medição de ambos os efeitos
- Possibilita a interpretação dos resultados para melhor identificação da condição do isolador
- Dois equipamentos distintos simultaneamente ou o emprego de multi-câmera (+prática mas –sensível)
- Pode ser realizada aérea ou do solo;
- Empregada de dia ou à noite.



REALIZAÇÃO:

Mitigação de Riscos - Inspeção e Manutenção

Medição de emissão acústica

- Identifica a presença de ruído gerado por atividade elétrica;
- Preferencialmente realizada em condições de tempo seco;
- Devido a outras possíveis fontes de ruído, medições em isoladores podem ser mascaradas;
- Dispositivos com mira a laser podem ser mais eficazes.



Outras técnicas

- Equipamento de raio X portátil
- Medição de corrente de fuga
- Medição de resistência
- Aplicação de microondas



REALIZAÇÃO:

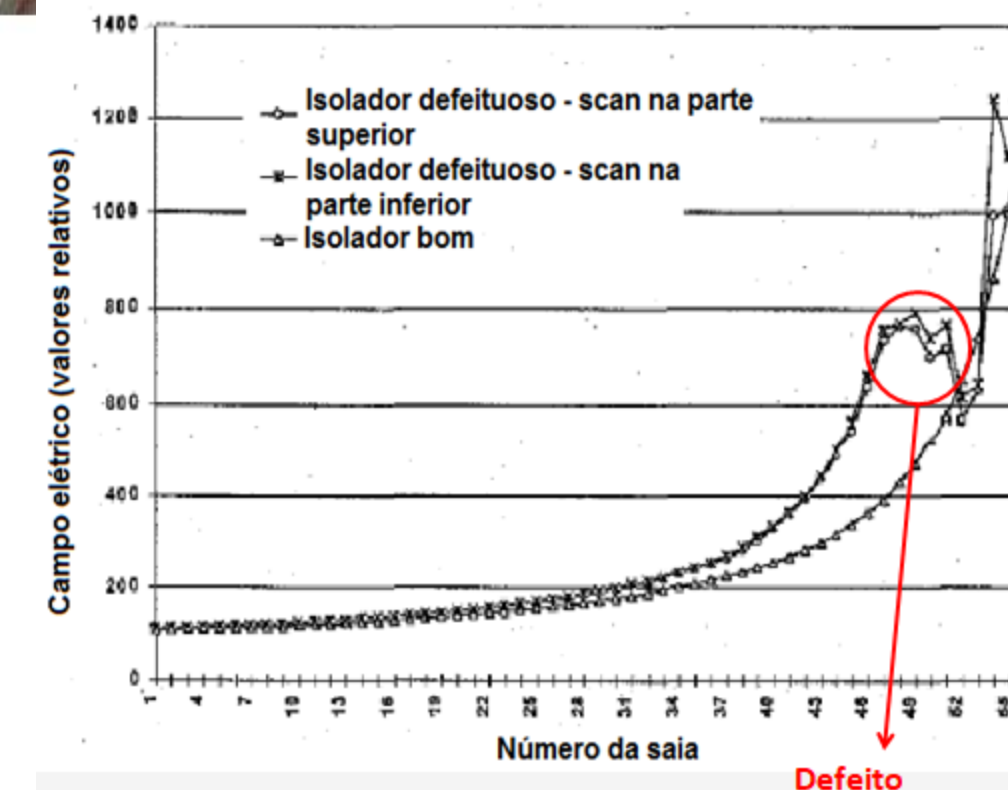
Mitigação de Riscos - Inspeção e Manutenção

Medição de Campo Elétrico

Identifica a presença de defeito que altera a distribuição de campo elétrico ao longo do isolador

- Calibração prévia em um isolador perfeito, idêntico ao instalado
- Técnica eficaz se defeito for interno e não gerar calor
- Pequenos defeitos próximos ao lado fase podem ser difíceis de verificar se houver anel corona
- Somente realizada a partir da estrutura
- Mais demorada

As medições de campo elétrico foram desenvolvidas para inspecionar isoladores de campânula e pino feitos de porcelana em função do modo de falha por perfuração. Este princípio de medição também se aplica a isoladores compostos, se um isolador composto está eletricamente defeituoso, o campo elétrico muito provavelmente muda na vizinhança da área defeituosa.



Mitigação de Riscos - Inspeção e Manutenção

Tipo	Meio	Tecnologias
Inspeção Terrestre	Eletricistas de T & D	Câmeras e Sensores manuais
	Eletricistas/Técnicos/Engenheiros de T & D	Câmeras e Sensores digitais (Imagens, Termovisor, UV e Ultrassom)
Inspeção com Aeronaves	Helicóptero, Avião	Câmeras e Sensores digitais manuais, semi-automáticas e automáticas (Imagens, Termovisor, UV, Ultrassom, Laser, etc.)
	Drones	Câmeras digitais manuais e automáticas de baixo peso (Imagens, Termovisor, UV, Ultrassom, Laser, etc.)
Inspeção com Robôs	Dispositivos Robóticos conectados às partes das LTs	Câmeras digitais automáticas de baixo peso (Imagens, Termovisor, UV, Ultrassom e Outros sensores, Ex. Corrosão Condutor)
Imagem de Satélites	Imagens	Câmeras e Sensores



Mitigação de Riscos - Inspeção e Manutenção



Método para minimizar descarga disruptiva: uso de revestimentos de borracha de silicone tipo RTV ou de outros materiais.



REALIZAÇÃO:

Fim de Vida Útil e Descarte



Descarte Indevido



Porcelana de isolador
moída para uso em
concreto e argamassa.

Os isoladores para descarte devem ter o material isolante separado da ferragem, para a devida alienação e reciclagem dos resíduos. Deve-se tomar cuidado para não alienar Isoladores completos, pois existe no Brasil um mercado que aproveita esses isoladores para venda em mercado de Segunda Categoria.

Destinação final do vidro dos isoladores: O vidro pode ser vendido ou doado a empresas que promovam sua reciclagem, as quais devem possuir a Licença de Operação do órgão ambiental competente, para o exercício dessa atividade.

Destinação final das ferragens integrantes: As ferragens devem ser devolvidas aos fabricantes, vendidas ou doadas a empresas para recuperação ou reciclagem, desde que essas empresas possuam as Licenças de Operação expedidas pelo órgão ambiental competente, necessárias ao exercício dessas atividades.

Ainda não existe um processo de reciclagem dos isoladores poliméricos.

REALIZAÇÃO:

CONTATOS

Adriana de Castro Passos Martins

adcastropm@icloud.com

+55-31-98525-4009

Darcy Ramalho de Mello

darcy.mello@gmail.com

+55-21-99617-1096

Ricardo Wesley Salles Garcia

rwesleysg@gmail.com

+55-21-99491-6124



Referências Bibliográficas



Ravi S. Gorur, Dave Shaffner, Wayne Clark "Utilities Share Their Insulator Field Experience"; T&D World Magazine, Apr 1, 2005

ReN Aneel 1020/2022 - Módulo IV

BS IAM PAS 55

S. Sanyal, F. Aslam, T. Kim, S. Jeon, Y.-J. Lee, J. Yi, I.-H. Choi, J.-A. Son, and J.-B. Koo, "Deterioration of porcelain insulators utilized in overhead transmission lines: A review," Transactions on Electrical and Electronic Materials, vol. 21, pp. 16–21, 2020.

Electrical Conductivity in Polymer-Based Composites: Experiments, Modelling, and Applications. A volume in Plastics Design Library Book • 2018 - Authors: Reza Taherian and Ayesha Kausar

TB 255 Material properties for non-ceramic outdoor Insulation State of the art

TB 595 - Fingerprinting of Polymeric Insulating Materials for Outdoor Use

IEC TS 62073:2003 Guidance on the measurement of wettability of insulator surface)

INFLUÊNCIA DO TIPO DE SÍLICA NA RESISTÊNCIA AO DESENVOLVIMENTO DE CORRENTE DE FUGA EM REVESTIMENTOS SUPER HIDROFÓBICOS PARA ISOLADORES ELÉTRICOS - Arthur de Castro Ribeiro - III CMDT

K.O. Papailiou (ed.), Overhead Lines, CIGRE Green Books, Capítulo 11: Insulators.

Luiz Ferreira Gomes, Marco Antonio de Carvalho Moreira Guimarães, Thiago Castanha de Azevedo. O uso de isoladores polimérico em linhas de energia elétrica: Uma Análise Comparativa Universidade Tecnológica Federal do Paraná. (UTFPR), junho de 2022

IEC 60815 – Seleção e Dimensionamento de Isoladores de Alta Tensão para Condições Poluídas

REALIZAÇÃO:





Obrigada.