

Ensaio em cabos de Média Tensão

1. Introdução

O objetivo deste artigo é fomentar a discussão técnica.

Não pretende prescrever um método e muito menos apropriar-se indevidamente de conceitos ou marcas ou fabricantes ou métodos ou normas citados neste documento. Também não tem capacidade técnica e nem know-how suficiente para desmerecer ou enaltecer quaisquer dos métodos aqui citados.

Repetindo: apenas pretende fomentar a discussão no sentido de “validar” o que foi realizado com aparente sucesso.

O ambiente em que os ensaios foram realizados era uma obra, com todas as suas características inerentes.

O autor reconhece que somente um tipo de cabo (EPR 105 30/35kV 1x70mm² Wirex Fabricação 2021) e terminação instalada (KIT TPK 351-E 20/35kV) foi testado, que não tem condições de “envelhecê-lo” no momento para novos testes e nem mesmo ainda foram energizados (o que ocorrerá posteriormente).

Reconhece também que não possui parâmetros para – individualmente – determinar se os valores encontrados são suficientes para validação da energização.

NBR 7286 Cabos de potência com isolamento extrudado de borracha etilenopropileno (EPR) para tensões de 1 kV a 35 kV e IEEE Std 400™-2012 IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above, são as duas grandes referências deste artigo.

O autor e executor dos ensaios utilizou parte de vários procedimentos em consonância com o equipamento de teste disponível e com as particularidades da instalação sob ensaio.

2. O porquê de testar cabos de média tensão

Para todos que trabalham com ensaios elétricos ou mesmo com instalações elétricas de Média Tensão, esta pergunta é totalmente desnecessária.

Cabos falham!

Seja por:

- Preparação inadequada do cabo
- Técnicas de montagem ruins
- Não seguir as instruções
- Falta de treinamento e experiência
- Instalação inadequada de cabos

Enfim, falhas acontecem. E quando acontecem, principalmente numa primeira energização, os efeitos podem ser catastróficos.

Se estivermos falando de instalações em funcionamento então, temos reparos caros e complicados (comprar cabos de MT, instalá-los e testá-los novamente é demorado), perda de produção e por aí vai. E todos sabemos que mesmo uma instalação criteriosamente instalada e posteriormente bem cuidada, também envelhece.

3. Que ensaios práticos temos disponíveis?

3.1. Meghômetro

No mundo real, ninguém substitui um cabo de MT por este ter atingido “20 anos de vida útil” ou porque no ano anterior fez uma leitura de resistência de isolação com um megohmetro e encontrou 300000MΩ e neste ano encontrou “só” 10000MΩ.

Na verdade, não vai substituí-lo nem que encontre 100MΩ.

Primeiro porque não confia no ensaio de isolação cc do megohmetro para cabos MT e segundo pelo óbvio motivo de que não dispõe do cabo no momento da preventiva.

Se estiver num comissionamento então, a variação entre os valores encontrados de um cabo para outro (do mesmo circuito e com mesmo comprimento) é maior que 300% e... fazer o que!?!? Nada, entende-se que são valores bastante elevados e que isso é inerente a um ensaio amplamente executado, que tem inúmeras aplicabilidades e vantagens, mas também suas limitações.

Ver figura abaixo com os valores encontrados para os cabos de nosso ensaio que será posteriormente descrito:

NÚMERO DO CIRCUITO	COMPRIMENTO	ORIGEM	DESTINO	TERMINAIS	RESULTADO (MΩ) ANTES TENSÃO APLICADA
03	9 METROS	TRANSFORMADOR T1	TRAFO ATERRAMENTO TA 1	X1 → H1	120000
				X2 → H2	210000
				X3 → H3	235000
04	9 METROS	TRANSFORMADOR T2	TRAFO ATERRAMENTO TA 2	X1 → H1	360000
				X2 → H2	300000
				X3 → H3	200000
05	12 METROS	CUBÍCULO MT 05	TSA	L1 → H1	220000
				L2 → H2	45000
				L3 → H3	160000

As constatações acima invalidam este ensaio com única referência, sendo citado nas normas e normalmente utilizado no cotidiano como “complementar”.

3.2. Hy-pot CC

Amplamente utilizado e com uma base de dados de mais de 40 anos, tem suas vantagens num comissionamento, mas não é válido numa preventiva. Isso porque se lê na NBR 7286 que:

“Após o cabo e seus acessórios terem sido colocados em operação, em qualquer ocasião, dentro do período de garantia, pode ser aplicada uma tensão elétrica contínua de valor igual a 65% do valor dado na tabela B.2 do anexo B, durante 5 min consecutivos.”

Período de Garantia? Como assim? 1 ano? Depois não testa mais ou diminui esse valor? Em que proporção?

Mas ainda piora:

*“Os ensaios em corrente contínua, aplicados a cabos com isolamento extrudado, para tensões de isolamento superiores a 6/10 kV, **principalmente de instalações antigas**, podem causar o seu envelhecimento precoce ou **danos permanentes**. Recomenda-se que a instalação, nestes casos, seja ensaiada conforme uma das seguintes alternativas: a) aplicação, por 5 min, da tensão equivalente entre fases do sistema entre o condutor e a blindagem metálica; ou b) aplicação, por 24 h, da tensão entre fase e terra do sistema entre o condutor e a blindagem.”*

Agora complicou mesmo!

- Ninguém tem 24 horas disponível para testar um cabo MT numa preventiva;
- OK, vamos aos 5min, que valor aplicar? E sabendo-se que valor aplicar, que esperar de retorno? Passa ou não passa? E se não passar, a próxima pergunta vai ser: O cabo estava com defeito ou causei este defeito agora no ensaio?
- Já entendemos o resultado prático disso: **não se utiliza Hy-pot CC em preventivas**.
- Voltando ao comissionamento, tem uma pergunta que o autor adora:
 - O indivíduo testa o cabo com 80% do valor da **“Tabela B.2 - Valores de tensão contínua”** (nosso caso de cabos 35kV, seriam 96kVcc aplicados por 15 minutos) e ocorre um defeito, digamos que a mufla estava cortada e tem de ser refeita. Refaz-se, analisa-se novamente a instalação e... teste de novo!
 - E agora? Aplica 65% - 5min do valor da tabela por que é como se o cabo já tivesse sido energizado? Ou valor equivalente por que já está envelhecido?
 - *Ao autor, ninguém respondeu satisfatoriamente a esta pergunta nos últimos 20 anos.*

Vale aqui descrever alguns comentários da IEEE 400 para os ensaios com CC:

- Os critérios de aprovação ou reprovação não são estabelecidos.
- Altas tensões DC podem criar acúmulo de carga espacial em materiais extrudados se a eletricidade local as tensões excedem 10 kV / mm. A aplicação de alta tensão DC em cabos XLPE antigos pode causar o cabo falhar prematuramente após retornar ao serviço.
- Antes e depois de cada teste, o cabo deve ser completamente descarregado. O tempo necessário para uma completa descarga pode ser quatro vezes maior que a duração do teste ou mais.
- A duração da aplicação de tensão não está bem estabelecida.

3.3. VLF

Na tentativa de resolver essas óbvias contradições, temos os ensaios em CA.

Há alguns anos nós Brasileiros estamos também utilizando o VLF (do acrônimo em inglês: **Very low frequency**).

Principalmente em nossos parques eólicos, com seus cabos de quilômetros de extensão.

As vantagens são muitas:

- Melhor retorno sobre o investimento em cabo;
- Pode testar após fazer eventuais reparos;
- Identificar o status dos cabos existentes ou problemas de qualidade de instalação;
- Linhas de base para testes de cabos futuros. *Essa é fantástica, pois vai anotar e coletar dados que poderão ser utilizados por décadas, fornecendo à manutenção uma base para tomada de decisão.*
- Os dados, devidamente relatados e arquivados, permitem não só repetir o ensaio adequadamente como realizar análises aprofundadas, verificar tendências e comparar com comprimentos de cabos adjacentes e / ou reinterpretar dados à luz de novos conhecimentos;
- Análise e soluções para problemas complexos de cabos, esse Pacote da série IEEE 400 inclusive indica diretrizes para testar cabos novos e antigos e fornece métodos, parâmetros e alguns critérios de avaliação, entre eles:
 - Um aumento no tan delta com o aumento da voltagem pode ter diferentes origens físicas. Pode indicar a presença de alta intensidade ou descarga parcial grave em Sistemas de cabos PILC, presença de “árvore de água” em sistemas de cabos dielétricos extrudados ou outros defeitos.
 - A variação de tan delta com o tempo em voltagem constante também pode indicar “árvore de água”;
 - Enquanto isso, uma diminuição do tan delta pode indicar problemas de umidade nos acessórios. (Essa variação no tan delta pode ser da ordem de menos de 0,1%).
 - Os métodos são geralmente sensíveis a defeitos de baixa impedância / condutores, como sujeira nas terminações, alguns acessórios instalados incorretamente e superaquecimento extremo.
 - O teste periódico tem o potencial de fornecer dados históricos, o que pode aprimorar testes futuros; avaliando por meio de tendências. As medições ao longo do tempo podem mostrar alguns defeitos do cabo, permitindo a substituição (ou a tomada de decisão) antes da falha.
 - **Nota IEEE: É importante reconhecer que os valores tan delta obtidos usando diferentes tensões de teste em diferentes frequências, não podem ser comparados. Os resultados para os**

cabos testados mostraram que os valores de tan delta mudam com a frequência. Isto é para ser esperado, pois os componentes de degradação no isolamento que contribuem para a polarização se comportam de maneira diferente em frequências diferentes.

- O estabelecimento dos valores aceitáveis de tan delta para um sistema de cabo é complicado pelo fato de que os valores dependem não apenas da qualidade do sistema de cabo, mas também das tecnologias de cabo e acessórios empregadas.
 - O tan delta deve variar apenas ligeiramente entre os diferentes níveis de voltagem.
- Poder medir a corrente de fuga (até pode ser medida com o Hy-pot CC, o problema é correlacioná-la à alguma coisa) e a tangente delta.

- A comparação pode ser feita para fases adjacentes com a mesma configuração.
- E a comparação dos resultados permite avaliar praticamente qualquer circuito, partindo-se da ideia de que os valores (das 3 fases) devem ser extremamente semelhantes. E que devem ter correlação entre comprimentos diferentes.

 - **Esta é a BASE do ensaio que será descrito posteriormente e, PORTANTO, NOSSA PRIMEIRA GRANDE JUSTIFICATIVA TÉCNICA. Vamos comparar abaixo os valores de capacitância, perdas e corrente encontrados nos cabos de diferentes e iguais comprimentos:**

CIRCUITO	COMPRIMENTO	TERMINAIS	FREQUENCIA (Hz)	TENSAO (VOLTS)	CAPACITÂNCIA (nF)	TANGENTE DELTA (Tδ) x 1000	PERDAS (W) @10kV	I MEDIDA (mA) @10KV
02 T2 x C10	40 METROS	X1 → L1	1	318	7,17	39,03	0,18	0,45
			10	3007	6,78	4,34	0,18	4,26
			60	9997	6,75	3,84	0,98	25,45
		X2 → L2	1	262	7,05	52,15	0,23	0,44
			10	3007	6,78	4,77	0,20	4,26
			60	9999	6,75	4,14	1,05	25,45
		X3 → L3	1	260	7,05	27,69	0,12	0,44
			10	2991	6,79	4,53	0,19	4,27
			60	9999	6,76	3,97	1,01	25,49
03 T1 x TA1	9 METROS	X1 → H1	1	353	1,71	-75,05	-0,08	0,11
			10	3006	1,61	5,00	0,05	1,01
			60	10006	1,60	4,10	0,25	6,02
		X2 → H2	1	284	1,63	-38,99	-0,04	0,10
			10	3006	1,58	5,71	0,06	0,99
			60	10005	1,57	4,42	0,26	5,93
		X3 → H3	1	285	1,65	46,96	0,05	0,10
			10	3006	1,60	5,37	0,05	1,00
			60	10006	1,59	4,35	0,26	5,99
04 T2 x TA2	9 METROS	X1 → H1	1	303	1,55	-37,19	-0,04	0,10
			10	3000	1,50	4,72	0,04	0,94
			60	10010	1,49	3,92	0,22	5,61
		X2 → H2	1	259	1,51	12,21	0,01	0,10
			10	3001	1,47	4,58	0,04	0,92
			60	10013	1,46	3,91	0,21	5,50
		X3 → H3	1	243	1,58	41,33	0,04	0,10
			10	3000	1,54	5,24	0,05	0,95
			60	10010	1,53	4,54	0,22	5,56

Nota: Avaliar que estas 3 grandezas Capacitância, perdas e corrente aumentam na mesma proporção do comprimento do cabo e permanecem extremamente semelhantes na comparação entre as fases e entre circuitos com o mesmo comprimento.

Desvantagens:

- É um ensaio bastante caro. Equipamentos ainda são raros, com diárias – mesmo para aluguel – muito elevadas;
- Ninguém energiza um cabo com frequência de 0,1Hz (OK, essa é só para ser chato).
- Resultados difíceis de interpretar para circuitos híbridos (fases adjacentes semelhantes podem ajudar).

3.4. Notas sobre a IEEE 400, que descreve três categorias diferentes:

- Testes de instalação (antes do comissionamento)
- Testes de aceitação (antes do serviço, no comissionamento)
- Testes de manutenção

Não vamos entrar em detalhes, mas vale muito a leitura.

Descreve também vários métodos que podem ser utilizados, com suas vantagens e desvantagens.

Nota 1: Neste artigo estão descritas apenas ínfimas partes destes procedimentos, na tentativa de construir uma justificativa técnica para o ensaio que foi “inventado” em campo.

Nota 2: Não está excluída a possibilidade de ter certos parâmetros técnicos tenham sido retirados do contexto em parte ou no todo.

No geral, foram utilizados mais comentários do método “AC offline Senoidal Contínuo 20 Hz a 300 Hz” e da “Espectroscopia dielétrica”, que basicamente descreve a execução de ensaios variando a frequência e calculando a tangente delta.

O processo de medir em frequências diferentes fornece informações adicionais sobre a condição do isolamento.

Em geral, o tan delta varia inversamente com a frequência e, portanto, será maior em frequências mais baixas.

Esses critérios de avaliação não foram amplamente aceitos, porém, verificando os dados de leituras obtidos nos ensaios realizados (ver foto abaixo) temos a **SEGUNDA GRANDE JUSTIFICATIVA TÉCNICA** para validação do ensaio que descreveremos em breve:

CIRCUITO	COMPRIMENTO	TERMINAIS	FREQUENCIA (Hz)	TANGENTE DELTA (T δ) x 1000
01 T1 x C02	55 METROS	X1 \rightarrow L1	1	-74,29
			10	4,71
			60	4,07
		X2 \rightarrow L2	1	25,63
			10	5,82
			60	5,12
		X3 \rightarrow L3	1	53,75
			10	4,96
			60	4,32
02 T2 x C10	40 METROS	X1 \rightarrow L1	1	39,03
			10	4,34
			60	3,84
		X2 \rightarrow L2	1	52,15
			10	4,77
			60	4,14
		X3 \rightarrow L3	1	27,69
			10	4,53
			60	3,97
03 T1 x TA1	9 METROS	X1 \rightarrow H1	1	-75,05
			10	5,00
			60	4,10
		X2 \rightarrow H2	1	-38,99
		10	5,71	

Nota: Perceber que indiferente ao comprimento dos cabos, a tangente delta diminui em relação ao aumento da frequência do ensaio. Vale notar também que esta constante não se altera em nenhum cabo, o que elimina a possibilidade de coincidência.

Por último, antes da descrição do teste em si, foi retirado do capítulo "7.0 Aplicabilidade dos métodos de teste" da IEEE 400, alguns comentários que visam ser a **TERCEIRA GRANDE JUSTIFICATIVA TÉCNICA** técnica para o ensaio:

- Esta cláusula tem como objetivo ajudar o leitor a selecionar **um ou uma combinação de métodos** de teste para uma determinada situação de interesse. **Uma combinação de métodos de teste ajudará a reduzir a incerteza diagnóstica quando esses métodos têm vantagens complementares.**
- A experiência de outros usuários com sistemas e problemas de cabos semelhantes e aconselhamento especializado pode ser muito benéfica.
 - **Nota: Motivo pelo qual estou expondo estes ensaios.**
- O teste de cabo é realizado para monitorar a condição de um sistema de cabo de alimentação com a possibilidade de identificação de falhas potenciais e pontos

fracos de isolamento para que ações possam ser tomadas para melhorar a confiabilidade, enquanto minimiza o custo geral de propriedade.

- O usuário deve reconhecer que existe uma evolução constante no desenvolvimento técnico de equipamentos de teste e conhecimento científico da relação entre propriedades diagnósticas. Nem todas as etapas evolutivas provaram-se ser robustas ou úteis. Assim, o usuário é recomendado para estabelecer a geração da tecnologia sendo avaliou e reviu o desempenho da geração em um **estudo piloto apropriado**.
- Os níveis recomendados em documentos "pontuais" são baseados em pesquisas de laboratório e experiências de utilitários e dados. Portanto, os usuários não devem se desviar desses valores, **a menos que gerenciem um programa de teste para demonstrar os benefícios do uso de valores alternativos**.

Nota sobre o que foi lido e entendido pelo autor dos parágrafos acima:

- **Não dispondo de um equipamento VLF - mas não querendo utilizar um Hy-pot CC - e sabendo-se que o comprimento dos cabos é curto, é possível mesclar os métodos disponíveis (adaptando-os à realidade da obra) e obter valores confiáveis, tanto para a energização, quanto para as futuras manutenções.**

4. Sobre o teste realizado

4.1. “Justificativa”

Realizar o teste de cabos MT em novas ou antigas instalações, por um valor financeiro aceitável e obtendo resultados confiáveis. Resultados estes passíveis de repetição e comparação ao longo dos anos, auxiliando assim nas tomadas de decisão tanto para energização quanto para eventual retirada de operação.

4.2. Vantagens (teóricas ou dependentes da situação específica)

- ✓ Execução com equipamento já disponível em campo. A utilização de equipamentos multifuncionais (caso da STS 5000 da ISA) é cada vez mais comum em comissionamentos elétricos. Cabos MT, normalmente em pequeno número nas subestações de alta tensão, requerem a utilização de equipamento específico para seu comissionamento (hy-pot ou VLF), o que encarece a logística.
- ✓ Por utilizar tensões abaixo da nominal, não degrada o cabo;
- ✓ Os valores podem ser comparados entre as fases de um mesmo circuito e de circuitos com diferentes comprimentos, o que facilita em muito a interpretação dos dados e a possível verificação de uma anomalia;
- ✓ No caso de uma possível correção (substituição da terminação, por exemplo) podem ser repetidos inúmeras vezes sem preocupação com a degradação do cabo;
- ✓ Tem a execução mais rápida quando comparado com o Hy-pot CC (15 min) e muito mais rápida quando comparada ao VLF (1 hora).
- ✓ Em manutenções preventivas futuras (onde o tempo é escasso) poderá ser repetido, obtendo-se valores confiáveis para comparação.
- ✓ Utiliza, também, a frequência (60Hz) de serviço do cabo, além de possibilitar as leituras de diversas grandezas.

4.3. Desvantagens

- ✓ Não é conhecido (ainda) o comprimento de cabos que teoricamente poderia ser testado com esse método: O autor só garante até 55m.
 - O aumento da magnitude da corrente capacitiva é o grande motivo pelo qual a Tan delta é mais difícil de medir em 50/60 Hz do que em frequências mais baixas.
- ✓ Não tem dados (ainda) para comparação de diversos cabos e de diversas classes de tensão, nem para garantir a energização e nem para garantir que será possível verificar a degradação deles.

TENSÃO APLICADA CA SELETORA: GST			DATA: 06/04/2021	TEMP. AMB.: 26 °C	UMIDADE RELATIVA: 62%			
			INSTRUMENTO: STS 5000	TIPO: TD 5000				
			Nº DE SÉRIE: 20/0289101	AFERIÇÃO:	28/05/2020			
CIRCUITO	COMPRIMENTO	TERMINAIS	FREQUENCIA (Hz)	TENSAO (VOLTS)	CAPACITÂNCIA (nF)	TANGENTE DELTA (Tδ) x 1000	PERDAS (W) @10kV	I MEDIDA (mA) @10kV
01 T1 x C02	55 METROS	X1 → L1	1	346	11,23	-74,29	-0,52	0,71
			10	3006	10,59	4,71	0,31	6,65
			60	9994	10,54	4,07	1,61	39,72
		X2 → L2	1	330	11,06	25,63	0,18	0,70
			10	3008	10,48	5,82	0,38	6,58
			60	10003	10,42	5,12	2,01	39,26
		X3 → L3	1	278	11,04	53,75	0,37	0,69
			10	2992	10,50	4,96	0,33	6,60
			60	10006	10,45	4,32	1,70	39,39
02 T2 x C10	40 METROS	X1 → L1	1	318	7,17	39,03	0,18	0,45
			10	3007	6,78	4,34	0,18	4,26
			60	9997	6,75	3,84	0,98	25,45
		X2 → L2	1	262	7,05	52,15	0,23	0,44
			10	3007	6,78	4,77	0,20	4,26
			60	9999	6,75	4,14	1,05	25,45
		X3 → L3	1	260	7,05	27,69	0,12	0,44
			10	2991	6,79	4,53	0,19	4,27
			60	9999	6,76	3,97	1,01	25,49
03 T1 x TA1	9 METROS	X1 → H1	1	353	1,71	-75,05	-0,08	0,11
			10	3006	1,61	5,00	0,05	1,01
			60	10006	1,60	4,10	0,25	6,02
		X2 → H2	1	284	1,63	-38,99	-0,04	0,10
			10	3006	1,58	5,71	0,06	0,99
			60	10005	1,57	4,42	0,26	5,93
		X3 → H3	1	285	1,65	46,96	0,05	0,10
			10	3006	1,60	5,37	0,05	1,00
			60	10006	1,59	4,35	0,26	5,99
04 T2 x TA2	9 METROS	X1 → H1	1	303	1,55	-37,19	-0,04	0,10
			10	3000	1,50	4,72	0,04	0,94
			60	10010	1,49	3,92	0,22	5,61
		X2 → H2	1	259	1,51	12,21	0,01	0,10
			10	3001	1,47	4,58	0,04	0,92
			60	10013	1,46	3,91	0,21	5,50
		X3 → H3	1	243	1,58	41,33	0,04	0,10
			10	3006	1,51	5,21	0,05	0,95
			60	10011	1,50	4,10	0,23	5,66
05 C5 x TSA	12 METROS	L1 → H1	1	350	2,62	23,03	0,04	0,16
			10	2992	2,45	6,58	0,10	1,54
			60	10005	2,43	5,30	0,49	9,17
		L2 → H2	1	256	2,44	22,97	0,04	0,15
			10	2992	2,35	6,11	0,09	1,48
			60	10003	2,34	5,19	0,46	8,81
		L3 → H3	1	226	2,43	63,06	0,10	0,15
			10	2993	2,38	6,16	0,09	1,50
			60	9996	2,37	5,23	0,47	8,93

EXECUTANTE

ALEXANDRE SOARES
REALIZADO POR

Resultados dos ensaios

5. Nota Final (trecho copiado da IEEE 400):

Deve-se dar atenção especial às técnicas para descarregar cabos após o teste para eliminar riscos pessoais. Os cabos têm características de alta capacitância e absorção dielétrica. Os cabos submetidos a testes de alta tensão que não são aterrados por períodos suficientemente longos, após tais testes podem apresentar riscos de acúmulo de carga como consequência da constante de tempo muito longa associada às correntes de absorção dielétrica. Por esta razão, os procedimentos de aterramento recomendados nas regras de trabalho apropriadas devem ser seguidos.