



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GTM/06
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - GTM

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES-
GTM**

**AValiação DO DESEMPENHO DOS TRANSFORMADORES FORNECIDOS À CHESF EM ENSAIOS DE
FÁBRICA**

**MONTENEGRO, S.G.(*) FRAGA, F.N. XAVIER, C.S.D.S. SANTOS, W.A.A. COSTA, L.R.D.V.J.D. CORREIA
JR, J.V.S**

CHESF

RESUMO

O presente trabalho reúne os dados de falhas e não-conformidades encontradas em transformadores adquiridos pela Chesf, quando estes foram submetidos a ensaios de fábrica e organizá-los de modo a verificar qual a taxa de falha encontrada nos ensaios. O escopo está limitado a transformadores e auto-transformadores de potência, com ou sem comutador, destinados a acessar a rede básica dos sistemas elétricos interligados, ou seja, a alta tensão dos mesmos encontra-se entre 138 e 550 kV. Os dados levantados são pertencentes às unidades ensaiadas no período de maio de 2011 a janeiro de 2015, com acompanhamento de inspetores próprios da Chesf.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores, Ensaios finais de rotina, Ensaios de tipo, Inspeção técnica

1.0 - INTRODUÇÃO

No presente trabalho foram reunidos dados de não-conformidades encontradas em ensaios finais em transformadores adquiridos pela Chesf, quando estes foram submetidos a ensaios de tipo, rotina ou especiais em instalações de seus fabricantes. O escopo está limitado a transformadores e auto-transformadores de potência, com ou sem comutador, destinados a acessar a rede básica dos sistemas elétricos interligados, ou seja, a alta tensão dos mesmos encontra-se entre 138 e 550 kV, incluindo transformadores para SVC. Os relatórios de ensaios finais de fábrica em 64 transformadores de potência e autotransformadores de potência comprados pela Chesf e ensaiados no período de janeiro de 2011 a janeiro de 2015, somando a amostra uma potência total de 8616,1 MVA. Através dos relatórios de ensaios dessas unidades, foram levantados quais os ensaios que apresentaram maior taxa de falhas.

1.1 Amostra

A amostra contém 64 equipamentos fornecidos por 6 fabricantes, 5 deles com fábricas no Brasil. Todos os equipamentos da amostra são do tipo imerso em óleo, para o sistema elétrico de transmissão de alta / extra alta tensão brasileiro (rede básica).

O levantamento de dados foi realizado com base nos relatórios de inspeção da Chesf, da Divisão de Garantia de Qualidade do Material (DEQM), que inspeciona a realização dos ensaios de rotina e da Divisão de Projetos de Subestações (DEPS), que inspeciona a realização dos ensaios de tipo e rotina nas unidades protótipos com vista à

(*) R. Delmiro Gouveia, n° 333 – sala D 218 - Bloco D – CEP 50.761-901 Recife, PE, – Brasil
Tel: (+55 81) 3229-2928 – Fax: (+55 81) 3229-3269 – Email: santhiag@chesf.gov.br

aprovação dos projetos dos equipamentos. Os equipamentos foram escolhidos aleatoriamente, de acordo com os arquivos da qualidade e engenharia de subestações da Chesf.

Os relatórios de ensaios dos transformadores ou autotransformadores foram estudados para extrair informações relativas à não conformidade nos ensaios finais de fábrica.

A distribuição da amostra não foi igualitária entre os 6 fabricantes, uma vez que não houve uma distribuição homogênea na população (todos os equipamentos comprados pela Chesf) no período estudado, tendo alguns fabricantes mais representatividade na população que outros. A figura 1 mostra como ficou a distribuição da amostra por fabricante.

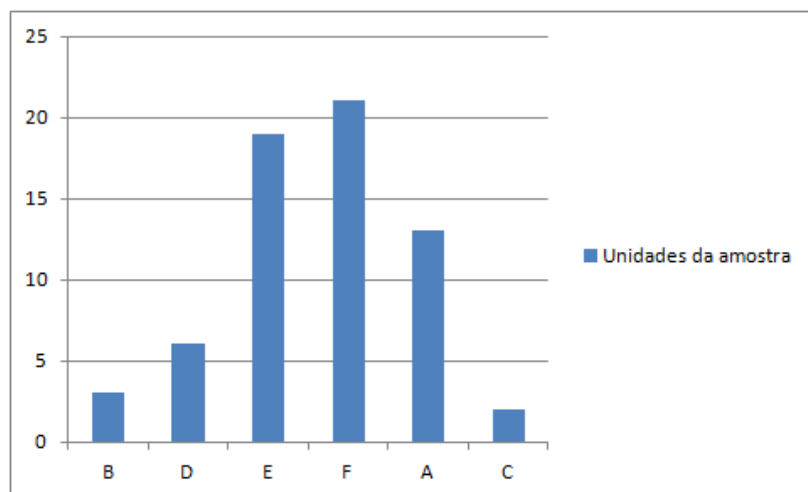


FIGURA 1 - Distribuição da amostra por fabricante

Das 64 amostras coletadas, 17 unidades foram protótipos de fornecimento. 58 unidades tem comutação sob carga, tendo 06 unidades relação de tensões fixas (transformadores para SVC).

1.2 Metodologia

De posse dos relatórios de ensaios dos equipamentos componentes da amostra, foram computadas os desvios encontrados nas inspeções que lhes deram origem. As não conformidades foram classificadas em 13 categorias, listadas na tabela 1.

Foi montada uma matriz contendo cada unidade da amostra (64 linhas) e onde cada categoria de falhas deu origem a uma coluna (13 colunas). Não foram computados a quantidade de ocorrências de falhas em cada transformador e sim a ocorrência ou não de um desvio, sendo assim codificado em cada coluna da matriz 1, em caso de anomalia detectada e 0 caso contrário (*score*). Por exemplo, caso tenha ocorrido falha em todos os TCs de bucha de um transformador, na matriz computa-se a ocorrência do evento na coluna TCs de bucha, ou seja, 1 *score* e não a quantidade de TCs com falha.

Alguns ensaios que compõem costumeiramente o plano de inspeção e controle de qualidade (PICQ) dos equipamentos não foram computados por não terem sido citados nos relatórios de inspeção consultados, portanto, por não terem sido registrados problemas com esses ensaios na amostra levantada.

Após todas as unidades terem suas ocorrências computadas na matriz, a relação de falhas encontradas foi obtida através da soma de ocorrência dividido pela quantidade de unidades submetidas aos ensaios. A multiplicação por 100 permite obter a taxa de falha percentual.

2.0 - RESULTADO ENCONTRADOS

A tabela 1 sumariza os resultados encontrados após aplicação da metodologia explicada acima. Poucas categorias obtiveram taxa de falha abaixo de 10%, Perdas / impedância terminal, proteção superficial, resistência ôhmica, dimensional e placas.

Tabela 1: Categorias de falhas

Categoria	Tipo de Não Conformidade	% de falhas
1	Ensaio dielétricos	21,88
2	Perdas / impedância terminal	03,13
3	Aquecimento	11,76
4	Proteção superficial	07,81
5	Estanqueidade	10,94
6	Acessórios	35,94
7	Resistência ôhmica	03,13
8	TCs de Bucha	25,00
9	Buchas	12,50
10	Comutador	03,13

A Figura 2 dá uma melhor ideia de como se comportaram as falhas distribuídas entre os ensaios.

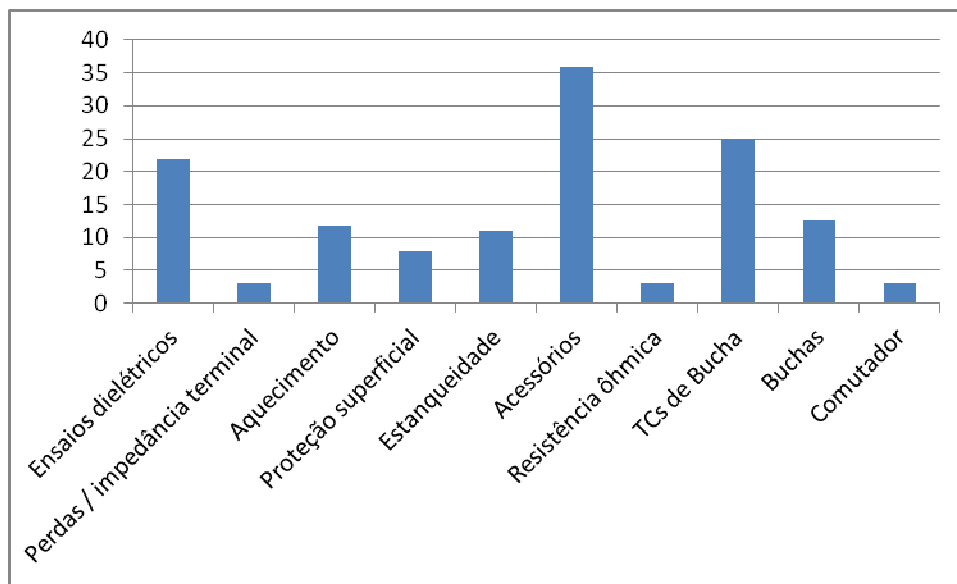


FIGURA 2 - Distribuição das falhas por categoria de ensaios

Na Figura 2 fica explícito quais são os 03 principais pontos de falhas nos testes em fábrica: Acessórios/auxiliares, TC de bucha e Ensaio dielétricos. Esses últimos ficaram com taxa de falha acima de 20%.

2.1 Ensaio dielétricos

Na NBR-5356-3 tabela 1, mostra alguns ensaios dielétricos como especiais e tipo a depender do nível de tensão do equipamento. No entanto, nas especificações técnicas de transformadores e autotransformadores da Chesf todos os ensaios dielétricos são requisitados como ensaios de rotina para todas as unidades do fornecimento. Para a categoria que engloba os ensaios dielétricos, foi obtida uma taxa de falha de 21,88% (14 ocorrências em 64 possíveis).

O ensaio dielétrico que apresentou o maior número de ocorrências foi o de impulso de manobra (8 ocorrências, taxa de falha de 12,50%) seguido do ensaio de tensão induzida (5 ocorrências taxa de falha de 7,81 %) e impulso atmosférico (2 ocorrências, taxa de falha de 3,03%). Uma unidade 230/69 kV 150 MVA fabricante F teve problemas no ensaio de impulso de manobra e impulso atmosférico em ocasiões diferentes.

Não foram encontradas falhas no ensaio de tensão aplicada. A explicação para isso pode ter relação com as seguintes hipóteses: 1- O isolamento da maioria dos transformadores Chesf é progressivo na alta tensão (enrolamento em Y na alta), e portanto, o ensaio de tensão aplicada na alta é limitado pela bucha de neutro H₀ (50 kV, na maioria dos casos). 2 - Esse ensaio é realizado por último após o equipamento ter passado por ensaios mais críticos como surto de manobra, impulso atmosférico e tensão induzida.

Quando fazemos uma extratificação por nível de tensão, temos 9 ocorrências para equipamentos de 230 kV e 5 ocorrências para equipamentos de 500 kV, com 48 amostras de 230 kV e 15 amostras de 500 kV. Assim, a taxa de falha nos ensaios dielétricos extratificada por nível de tensão foi de 18,75% para equipamentos de 230 kV e 33,33% para equipamentos de 500 kV.

A razão das taxas de falha, ou razão das chances, *Odds ratio*, é um conceito utilizado em estatística em variáveis respostas do tipo dicotômicas (variáveis cuja saída é 0 ou 1), que relaciona a alteração na probabilidade de ocorrência de um evento de interesse quando uma das variáveis do processo muda de valor. Quando a variável resposta, Y, é relacionada com variáveis dependentes, X, que tentam explicar o comportamento de Y. Assim, ao se modificar as entradas X modifica-se a probabilidade de ocorrência em Y.

No presente caso, ao extratificar as falhas em dielétricos pela tensão do equipamento, tivemos, admitindo Y= 0 como “não ocorreu não conformidade no ensaio dielétrico” e Y=1 “Ocorreu falha no ensaio dielétrico”, e X=0, o equipamento é classe de tensão 245 kV , X=1 “O equipamento é classe de tensão 550 kV”

Equipamentos de 550 kV – 5 falhas em 15 possibilidades:

$$\pi(1) = \frac{5}{15} = 0,3333$$

$$1 - \pi(1) = \frac{10}{15} = 0,6667$$

Nesse caso, a razão das chances é de 2,00, ou seja, para cada 2,00 unidades que são aprovadas sem não conformidades nos ensaios dielétricos de 550 kV, uma tem não conformidade.

Equipamentos 245 kV – 9 falhas em 48 possibilidades; $\pi(0) = 9/48 = 0,1875$; $1 - \pi(0) = 39/48 = 0,8125$;

A razão das chances é: $\psi = \frac{\pi(1) / (1 - \pi(1))}{\pi(0) / (1 - \pi(0))} = 2,1663$

A probabilidade de não conformidade em ensaio dielétricos de equipamentos é 2,1663 vezes maior em um equipamento de 550 kV que um equipamento de 230 kV.

2.2 Ensaio de Perdas

A categoria de perdas é composta pelos ensaios de perdas em vazio e corrente de excitação e perdas em carga e e tensão de impedância. Essa foi uma das categorias que obtiveram menor score, com apenas 2 ocorrências em 64 possibilidades, levando a uma taxa de falha de 3,03%.

Ambas ocorrências se deram no ensaio de perdas em carga e tensão de impedância, sendo uma ocorrência ocasionada pelo excesso de perdas em carga devido à resistência ôhmica fora do valor de projeto e outra devido à impedância encontrada no ensaio estar abaixo do valor de projeto. As ocorrências foram observadas em transformadores 230/69 kV 100 MVA do fabricante – F.

Na amostra coletada, não foram encontrados problemas com o ensaio de perdas em vazio, embora haja casos em que eles tenham ocorrido. A aleatoriedade na escolha da amostra fez com que esses casos não aparecessem.

2.3 Ensaio de aquecimento

Essa categoria apresentou um dos menores valores absolutos de *score* (2 ocorrências), porém com valor relativo alto (11,76%), já que em seu cálculo são consideradas apenas as unidades protótipos de fornecimento (17 unidades na amostra).

As ocorrências foram observadas em fabricantes distintos, uma delas em relação ao procedimento de ensaios e

outra em relação a apresentação de uma região com alta temperatura no tanque.

2.4 Proteção superficial

Para essa categoria foram englobados os ensaios relativos à proteção superficial das partes metálicas dos equipamentos, sejam pintura, galvanização, zincagem.

Cinco ocorrências foram encontradas nas 64 unidades da amostra. As ocorrências foram: Falhas na pintura (3 ocorrências), baixa espessura da camada (1 ocorrência), e divergência do plano de pintura (1 ocorrência). Não foram registrados problemas com aderência da pintura.

2.5 Estanqueidade

Para essa categoria, obteve-se score 7 (10,94% das unidades). Seis dessas unidades foram protótipos, com estanqueidade a quente. Se forem consideradas apenas as unidades protótipos, 41,17% das 17 unidades testadas falharam no ensaio. Todos os equipamentos foram transformadores trifásicos, dos fabricantes A, E e F.

2.6 Acessórios

Os acessórios obtiveram score 23, ou seja, 35,94% de falhas. O alto valor de falhas encontradas deve-se:

1 - Há muitos itens acessórios num transformador, cada um com sua taxa de falha associada. A soma de todos eles produzem uma alta probabilidade de ocorrência. Além disso, esses auxiliares e acessórios precisam ser montados/cabeados no transformador, que também está sujeito a falhas.

2 – Alguns acessórios e auxiliares tem sua montagem no final do processo de fabricação do equipamento. Assim, por uma questão de prazo contratual ou pressão em faturamento do equipamento, a convocação de inspeção é feita antes mesmo de haver algum tipo de pré-testes do fabricante. É muito comum haver o teste do fabricante na mesma ocasião do ensaio com inspetor, sendo detectado todos os erros da montagem.

2.7 Resistência ôhmica dos enrolamentos

Esse ensaio obteve score 2, ou seja, 3,13% de taxa de falha. Uma ocorrência foi causada pelo valor de resistência ôhmica superior ou desvio permitido e outra devido à montagem do enrolamento de regulação.

2.8 Transformadores de corrente de bucha (TC)

Os Transformadores de corrente de bucha obtiveram um score de 15, cerca de 23,44% de defeitos. Dos 15 equipamentos com desvios, 11 são do fabricante F. Em termos relativos, obteve-se as seguintes taxas:

TABELA 2 – Falhas em TCs de bucha por fabricante

Fabricante	Score	% de falhas
A	1	07,70
B	1	33,33
C	1	50,00
D	0	00,00
E	1	05,26
F	11	52,38

Ao analisar os dados na tabela 2, percebemos que os fabricantes C e F possuem falhas percentuais altas. Entretanto, não se pode concluir que o fabricante C tenha algum tipo de problema com esse item, uma vez que em termos absolutos, o score dele foi de 1. Já o fabricante F apresentou score 11 em 21 possibilidades. Ao analisar os relatos das falhas, observa-se que ocorreram falhas de montagem e falhas dos TC.

No fabricante F foram encontrados em 5 ocasiões problemas em TC de diversos tipos, como fator de segurança, erros de relação, e em 7 ocasiões foram encontrados problemas de montagem, como fiação com polaridade invertida.

No âmbito geral, entre todos os fabricantes foi encontrado mais problemas relacionados com a montagem dos TC que com os TC em si. Corrobora com isso o fato de a Chesf inspecionar os TC ainda fora do transformador, em bancada.

2.9 Buchas

Oito entre as sessenta e quatro unidades tiveram problemas relatados nas buchas, sendo os problemas mais comuns os de pino da bucha fora do padrão especificado (04 unidades), vazamentos pelo bujão de sangria (03 unidades) e fator de potência alto (01 unidade).

2.10 Comutador

Os problemas mais frequentes encontrados no comutador se deram no painel do mesmo, mais precisamente relativos à indicação de Tap (04 unidades), problemas relativos aos contatos com a bobina de regulação (02 unidades), aterramento do painel (01 unidade) e funcional do filtro de óleo (01 unidade).

2.11 Distribuição de não conformidades por fabricante

Não- conformidade (NC) – de acordo com a NBR-ISO-9000/2005, não conformidade é o não atendimento a um requisito, sendo requisito definido como necessidade ou expectativa que é expressa, geralmente de forma implícita ou obrigatória. Os requisitos aos quais devem atender os equipamentos fornecidos à Chesf são os expressos em normas e em especificações técnicas, dentre as quais se destacam a NBR-5356 (transformadores de potência) Especificações – ET/DSE 700 (óleo isolante), ET/DSE 610 (condições gerais para fornecimento) e especificações com características e requisitos do equipamento, ET/695 e suas variantes.

As não conformidades foram classificadas em quatro categorias, de acordo com procedimento interno da DEQM para o preenchimento dos relatórios de inspeção:

Sem não conformidades – quando não foi encontrado nenhum desvio dos requisitos no equipamento, seus acessórios, ensaios e procedimento de ensaio, laboratório.

Não conformidade leve – Ocorrência identificada pelo inspetor, em relação a documentação contratual, ao processo e/ou produto do fornecedor, cuja implicação não afete o desempenho do produto, nem o prazo contratual, ou em nova visita. Esta situação, normalmente, terá a disposição de 'usar como está'.

Não conformidade moderada – Ocorrência em relação a documentação contratual, ao processo e/ou produto do fornecedor detectada pelo inspetor, com possibilidade de correção, sem implicação em prazo, ou em nova inspeção.

Não conformidade grave – Ocorrência em relação a documentação contratual, ao processo e/ou produto do fornecedor detectada pelo inspetor, com ou sem condições de correção, com implicação em prazo, em nova visita, mesmo que haja a aceitação pelo cliente.

Com essas definições acima, encontrou-se em linhas gerais:

Tabela 2: Distribuição das não conformidades encontradas

Grau mais alto de Não Conformidade	% de falhas encontradas
Grave	50,77
Moderada	32,31
Leve	4,62
Sem NC	12,31

Para esse levantamento apenas se considerou a não conformidade de grau mais alto, ou seja, se numa inspeção foram encontradas não conformidades de grau grave e moderada, apenas se considerou como resultado o grau grave. Isso se deve ao fato que nesse caso há ordem entre as categorias de interesse.

Tabela 3: Distribuição de não conformidades por fabricante

Grau mais alto de Não Conformidade	A	B	C	D	E	F
Grave	23,09	66,67	100,00	50,00	47,37	61,90
Moderada	46,15	33,33	00,00	50,00	31,58	23,81
Leve	15,38	00,00	00,00	00,00	00,00	04,76
Sem	15,38	00,00	00,00	00,00	21,05	09,52

A Tabela 2 permite melhores conclusões se simplificarmos a tabela, pela aglutinação das categorias “Grave” e “Moderada” em uma só e “Leve” e “Sem” em outra categoria.

Tabela 4: Distribuição de não conformidades binarizada

Grau mais alto de Não Conformidade	A	E	F
Não conformidade	69,24	78,95	85,71
As built ou sem	30,76	21,05	14,29

As colunas contendo os fabricantes B, C e D foram excluídas porque com o tamanho da amostra contendo suas unidades se torna estatisticamente inconclusiva qualquer análise.

3.0 - CONCLUSÃO

Os dados refletem a importância da inspeção técnica de equipamentos tão valiosos para a transmissão de energia. Das 64 unidades escolhidas aleatoriamente, apenas 8 passaram pelo processo de inspeção técnica sem não conformidades registradas, ou 12,50 %. Outras 03 unidades tiveram no máximo não conformidades leves, ou seja, divergências que puderam ser aceitas como construído, ou as built, 4,69%. 21 unidades tiveram no máximo não conformidades que exigiam algum tipo de reparo, conserto, mas que não demandaram uma nova visita à fábrica, classificadas como não conformidades moderadas. Por fim, 32 unidades ou 50,00% tiveram não conformidades graves, que são aquelas cuja correção demanda tempo e atrasa cronogramas de execução, exigindo uma re-inspeção.

As taxas de falhas encontradas nos ensaios foram consideradas alarmantes para um equipamento de função tão importante na transmissão de energia elétrica. Os principais pontos de falhas são os acessórios/auxiliares do equipamento, TC de bucha e ensaios dielétricos, respectivamente, com taxa de falha superior a 20 %.

Nos ensaios dielétricos, há a influência da classe de tensão do equipamento na probabilidade de falha do mesmo, havendo uma probabilidade 2,16 vezes maior de um equipamento de 550 kV ter alguma não conformidade em ensaios dielétricos que um equipamento de classe 245 kV.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Transformadores de potência – parte 1 – generalidades NBR 5356-1.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Transformadores de potência – parte 3 – Níveis de isolamento, ensaios dielétricos e espaçamentos externos no ar NBR 5356-3.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Sistemas de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulário - NBR-ISO 9000/2005.
- (4) AGRESTI, Alan – Categorical data analysis – New Jersey, 2 ed. 2002. Editora John Wiley and Sons.