



Operador Nacional do Sistema Elétrico

REQUISITOS TÉCNICOS COMPLEMENTARES AOS REQUISITOS FUNCIONAIS PARA TRANSFORMADORES E REATORES DO SIN

Operador Nacional do Sistema Elétrico
Rua Júlio do Carmo, 251 – Cidade Nova
20091-005 Rio de Janeiro RJ

© 2016/ONS

Todos os direitos reservados.

Qualquer alteração é proibida sem autorização.

ONS NT 097/2016 – Revisão 1

REQUISITOS TÉCNICOS COMPLEMENTARES AOS REQUISITOS FUNCIONAIS PARA TRANSFORMADORES E REATORES DO SIN

15 de dezembro de 2016

Sumário

1	Introdução	6
2	Objetivos	7
2.1	Objetivo da implementação de requisitos técnicos complementares	7
2.2	Teor dos requisitos técnicos complementares	7
2.3	Uso do presente documento	7
3	Normas técnicas	8
4	Aspectos gerais	9
4.1	Definições	9
4.2	Escopo de fornecimento	9
4.3	Finalidade do equipamento	9
4.4	Informações sobre o local de operação do transformador ou reator	9
5	Condições operacionais do sistema	9
5.1	Descrição geral do sistema	9
5.2	Tensão base da designação do sistema em pu e tensão base utilizada para dimensionamento do transformador e reator	10
5.3	Coordenação de isolamento	11
5.3.1	Sobretensões	11
5.4	Suportabilidade a curtos-circuitos	11
5.5	Sobre-excitação	12
5.5.1	Sobre-excitação com carga nominal	12
5.6	Carregamento	13
6	Características elétricas	13
6.1	Potência nominal e condições de carregamento	13
6.2	Níveis de isolamento	13
6.2.1	Resposta do transformador ou reator a sobretensões transitórias rápidas	14
6.2.2	Medição de resposta em frequência	14
6.3	Impedância	14
6.4	Limites de elevação de temperatura	15

6.5	Auditoria técnica de projeto (<i>design review</i>)	16
6.6	Curva de saturação	16
6.7	Perdas	16
7	Características construtivas	16
7.1	Arranjo geral	16
7.2	Núcleo	16
7.3	Enrolamentos	17
7.4	Materiais	17
7.5	Materiais isolantes	17
7.5.1	Isolação sólida	17
7.5.2	Isolação líquida	18
7.6	Tanque e tampa	18
7.7	Sistema de preservação de óleo	19
7.8	Juntas e anéis de vedação	19
7.8.1	Juntas planas	19
7.8.2	Juntas tipo anel O	19
7.9	Acessórios	19
7.10	Válvulas	20
7.11	Soldas	20
7.12	Dispositivo de alívio de pressão súbita	20
7.13	Buchas	20
7.14	Comutador de derivações	20
7.14.1	Comutador de derivações em carga (CDC)	20
7.14.2	Comutador de derivações sem tensão (CDST), quando aplicável	21
7.15	Equipamento de circulação forçada/dirigida de óleo	21
7.16	Umidade Relativa da Superfície da Isolação (URSI) ou Ponto de Orvalho	21
8	Sistema de monitoramento e diagnóstico on-line	21
9	Ensaio de aceitação na fábrica e ensaios finais	21
9.1	Ensaio de rotina	22
9.2	Ensaio de tipo	22

10	Referências	22
11	Créditos	22

1 Introdução

Um dos pilares do modelo regulatório brasileiro, além do livre acesso, é o princípio da modicidade tarifária – a garantia de que a expansão do sistema possa ser feita com base em custo mínimo. Para tanto, é fundamental que qualquer novo elemento a ser inserido no sistema tenha qualidade, confiabilidade e desempenho mínimos compatíveis com os pressupostos do planejamento da expansão.

Os requisitos funcionais estabelecidos nos documentos técnicos de outorga (anexos técnicos geral e específico dos editais de leilão e resoluções autorizativas) e nos procedimentos de rede consolidam o atendimento à função prevista no planejamento da expansão. A conformidade do empreendimento a tais requisitos funcionais é comprovada pela transmissora na fase de apresentação do projeto básico e consolidada com a aprovação das características do empreendimento como efetivamente implantado, (“como construído”, sistema SAGIT), como estabelecido no Submódulo 2.1 dos Procedimentos de Rede.

Desde que atendidos os requisitos funcionais, a especificação para dimensionamento e fabricação de equipamento a ser adquirido pela transmissora é prerrogativa desta, que deve garantir o que foi acordado com o ONS no que se refere às condições operativas à que a unidade poderá ser submetida ao longo de sua vida útil. Entende-se por requisito funcional o conjunto de informações que permite à concessionária do serviço de transmissão (proponente ao edital de leilão ou transmissora à qual será feita a autorização de instalação) avaliar o modo ou modos de operação sob os quais o equipamento em questão será solicitado a operar ao longo de sua vida útil. A concessionária deve garantir que, nas situações pactuadas entre ela e o ONS, o equipamento esteja apto a operar como previamente acordado.

Enquanto que o compromisso entre a transmissora e o ONS quanto ao desempenho em conformidade com os requisitos funcionais perdura ao longo de toda a vida útil do equipamento, o relacionamento entre a transmissora e o fabricante se extingue formal e contratualmente ao final do período de garantia. Por conseguinte, é interesse de todos os envolvidos no processo – ONS, transmissora e fabricante – que não haja dúvidas quanto às condições a que o equipamento poderá vir a ser submetida ao longo de sua vida útil. É também conveniente que a experiência acumulada no setor seja aproveitada e compartilhada, o que pode ser obtido com a incorporação de requisitos técnicos complementares aos requisitos funcionais.

A decisão por níveis superiores de qualidade e confiabilidade é prerrogativa da concessionária do serviço, com base em estudos econômicos que levem em conta o custo de investimento e da PV – parcela variável – e em função de seu nível de aversão a risco. Entretanto, a inclusão de requisitos técnicos complementares pondera o risco possível de ser assumido por uma transmissora em particular, na medida que esse risco pode afetar também os usuários finais e, em última análise, a sociedade como um todo.

Da mesma forma, aspectos relacionados estritamente ao negócio da transmissora – rotinas de manutenção, monitoração etc. – encontram-se dentro da esfera de decisão da empresa. Com isso, pode haver, e há, diferentes especificações para dimensionamento e fabricação de equipamentos, elaboradas até mesmo por uma mesma empresa e dependendo de diferentes estratégias de negócio.

Se, por um lado, essa diversidade pode ter, por parte da empresa, o objetivo de redução de custo, e, por parte do sistema, a motivação da modicidade tarifária, representa também um grau adicional de risco, dado que conviverão dentro do mesmo sistema equipamentos de diferentes níveis de confiabilidade, sem que o aumento de confiabilidade, resultado de diferentes estratégias de negócio das empresas envolvidas, possa ser pelo menos parcialmente capturado e apropriado pelo sistema.

Ao longo dos últimos anos, tem-se observado que as transmissoras têm repassado aos fabricantes os requisitos funcionais mínimos constantes dos anexos técnicos dos editais de leilão e dos procedimentos de rede como especificação para dimensionamento e fabricação, sem agregar sua experiência. Esse fato pode ser atribuído a um ambiente altamente competitivo e de alto deságio, além do curto prazo para a elaboração de especificação para fabricação.

Em resposta a essa realidade, tem-se observado o paulatino enriquecimento dos requisitos funcionais constantes no documento de outorga (que regulam o relacionamento contratual entre a transmissora e o ONS), no sentido de incluir requisitos complementares mais afinados com o tom de uma especificação formal para fabricação (que regulam o relacionamento contratual entre a transmissora e o fabricante). Nesse sentido, é oportuna a implementação de requisitos técnicos complementares aos requisitos funcionais de transformadores e reatores.

2 Objetivos

2.1 Objetivo da implementação de requisitos técnicos complementares

A implementação de requisitos técnicos a serem atendidos por transformadores e reatores do SIN, complementares aos requisitos funcionais constantes nos anexos técnicos de editais de novos empreendimentos e nos procedimentos de rede, tem os seguintes objetivos:

- Estimular a isonomia entre diferentes fornecedores nacionais e internacionais, dentro de padrões de confiabilidade equivalentes, de forma a manter equilibrado o mercado;
- Estabelecer condições mínimas de competitividade no ambiente de modicidade tarifária, sem causar desequilíbrios na busca pelo menor custo das instalações do SIN;
- Aumentar a disponibilidade e confiabilidade das instalações, levando em conta as especificidades das aplicações no Brasil; e
- Garantir a qualidade e maior vida útil das instalações elétricas.

2.2 Teor dos requisitos técnicos complementares

Tais objetivos serão alcançados por meio de um conjunto de requisitos técnicos complementares aos requisitos funcionais mínimos constantes dos anexos técnicos dos editais de leilão e dos procedimentos de rede, dentre os quais vale mencionar os seguintes:

- procedimentos e práticas que tenham o objetivo de aumentar a confiabilidade de transformadores e reatores, bem como simplificar e racionalizar intervenções;
- procedimentos e práticas de fabricação e controle de qualidade e rastreabilidade de insumos;
- procedimentos e práticas de fabricação para atendimento de confiabilidade mecânica;
- procedimentos e práticas que tenham o objetivo de assegurar a qualidade; e
- procedimentos e práticas que tenham o objetivo de simplificar, reduzir ou eliminar intervenções para manutenção dos equipamentos e instalações do SIN.

2.3 Uso do presente documento

Como estabelecido no Submódulo 2.1 dos Procedimentos de Rede, os requisitos funcionais mínimos estabelecidos nos documentos técnicos de outorga e nos procedimentos de rede têm a finalidade de propiciar as condições necessárias à obtenção da continuidade, qualidade e confiabilidade do suprimento de energia elétrica; assegurar que as instalações de transmissão atendam aos indicadores de desempenho estabelecidos no Módulo 25 dos Procedimentos de Rede; e garantir que novos equipamentos e instalações não comprometam o desempenho sistêmico da rede básica, limitem a operação das instalações existentes, tampouco imponham restrições às instalações da rede básica e demais instalações a elas conectadas. Nesse sentido, a comprovação de que o empreendimento está em conformidade com os requisitos

funcionais é suficiente para assegurar que o mesmo foi implantado no sentido de atender à função prevista no planejamento da expansão. Com isso, o presente documento, que apresenta requisitos técnicos complementares aos requisitos funcionais, tem utilização prevista a princípio em duas circunstâncias, detalhadas a seguir.

Empresas interessadas em participar do leilão de um determinado empreendimento fazem estudos sucintos do desempenho de um transformador ou reator típico inserido no sistema, de forma a subsidiar a especificação para fabricação com parâmetros mais próximos dos finais. Tais parâmetros são repassados para possíveis fabricantes, de forma a subsidiar a composição da proposta econômica da empresa. Entretanto, em algumas situações, tais estudos não são realizados a tempo e os possíveis fabricantes não dispõem de informações completas para a cotação de preço. O presente documento indica valores de referência para dimensionamento para possíveis fabricantes, caso nenhuma outra informação tenha sido fornecida pela empresa interessada em participar do leilão, sem prejuízo da responsabilidade a ser assumida pela empresa, caso venha a ser a ganhadora do leilão e tornar-se a transmissora detentora da concessão do empreendimento em questão, de garantir o atendimento a todos os requisitos, funcionais e complementares.

Uma vez já definida a transmissora ganhadora do leilão e detentora da concessão do empreendimento, o presente documento tem a finalidade de garantir que a especificação para dimensionamento e fabricação do transformador ou reator a ser elaborada pela transmissora inclua os requisitos técnicos complementares aos requisitos funcionais aqui incluídos.

Em resumo, a conformidade do empreendimento aos requisitos funcionais estabelecidos nos documentos de outorga e nos procedimentos de rede deve ser comprovada no projeto básico e no SAGIT, enquanto que a conformidade aos requisitos complementares aos funcionais deve ser comprovada pelo fabricante à transmissora e estar disponível para apresentação ao ONS durante toda a vida útil do transformador, caso o ONS assim o solicite. Apenas em situações excepcionais, a conformidade do empreendimento aos requisitos complementares aos funcionais deve ser comprovada pela transmissora na fase de apresentação do projeto básico e consolidada com a aprovação das características do empreendimento como efetivamente implantado. Tais situações serão explicitadas claramente nos documentos de outorga.

3 Normas técnicas

Deve ser atendido o estabelecido nas referências normativas listadas a seguir.

- ABNT NBR 5034 – Buchas para tensões alternadas superiores a 1 kV;
- ABNT NBR 5356 (todas as partes) – Transformadores de potência;
- ABNT NBR 5458, Transformadores de potência – Terminologia;
- ABNT NBR IEC 60085 – Isolação elétrica – Avaliação térmica e designação;
- ABNT NBR 15422 – Óleo vegetal isolante;
- ABNT NBR 16126 – Projeto mecânico de transformadores e reatores para sistemas de potência;
- ABNT NBR 16367 (todas as partes) – Acessórios para transformadores e reatores de sistemas de potência imersos em líquido isolante;
- ABNT NBR 16431 – Equipamento elétrico – Determinação da compatibilidade de materiais empregados com óleo vegetal isolante;
- IEC 60137 – Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V;
- IEC 60815 – *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions*;
- IEC 62770 – *Fluids for electrotechnical applications – Unused natural esters for transformers and similar electrical equipment*;
- IEEE Std C57.100 – *IEEE Standard Test Procedure for Thermal Evaluation of Liquid-Immersed Distribution and Power Transformers*.

4 Aspectos gerais

4.1 Definições

Na presente Nota Técnica, são utilizadas as definições constantes nas normas ABNT NBR 5356-1 e NBR 5458.

Quando mencionado, o termo óleo se refere tanto ao óleo mineral isolante quanto ao óleo vegetal, salvo distinção expressa.

4.2 Escopo de fornecimento

O fornecimento de um transformador ou reator compreende no mínimo projeto, desenvolvimento, aquisição de componentes e materiais, fabricação, controle de qualidade e ensaios de aceitação nas instalações do fabricante e garantia.

Além dos itens principais, o escopo de fornecimento inclui manuais de instrução e desenhos, bem como documentação técnica dos ensaios de tipo, rotina e especiais realizados.

4.3 Finalidade do equipamento

A finalidade do transformador ou reator está descrita nos documentos técnicos de outorga e nos relatórios R de planejamento, parte integrante daqueles.

4.4 Informações sobre o local de operação do transformador ou reator

Os documentos técnicos de outorga e os relatórios do planejamento contêm informações relevantes sobre o local onde o transformador ou reator irá operar.

A menos que explicitamente indicado, o transformador ou reator deve ser capaz de operar ao tempo, em condições ambientais de mesmo teor de agressividade ou mais agressivas do que as listadas na Tabela 1, a serem indicadas pelo comprador.

Tabela 1: Condições ambientais do local de operação do transformador

Parâmetro	Valor limite
Altitude acima do nível do mar	≤ 1000 m
Temperatura máxima anual	$\geq 40^{\circ}\text{C}$
Temperatura média anual	$\geq 30^{\circ}\text{C}$

5 Condições operacionais do sistema

5.1 Descrição geral do sistema

A descrição geral do sistema, incluindo o diagrama unifilar da instalação, consta dos documentos técnicos de outorga e dos relatórios R de planejamento, parte integrante daqueles.

Constam do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede e dos documentos técnicos de outorga requisitos funcionais a serem atendidos pelo transformador e reator em sua interação com o sistema. O Submódulo 23.3 detalha os estudos elétricos que são realizados para a avaliação das solicitações de acesso à rede básica, a elaboração de proposta de ampliações e reforços, a elaboração de estudos de planejamento e programação da operação elétrica, de estudos pré-operacionais e de proteção, bem como para operação e análise da operação elétrica.

5.2 Tensão base da designação do sistema em pu e tensão base utilizada para dimensionamento do transformador e reator

Independentemente da tensão operativa do sistema e de sua faixa de tensão operativa normal (faixa de tensão em que o transformador ou reator operando em regime contínuo em potência nominal não está sujeito a sobrecarga), é usual que o transformador ou reator e todos os demais equipamentos sejam designados pela tensão máxima operativa (tensão máxima da faixa de tensão operativa normal). Embora designado em kV pela tensão máxima operativa (grandeza U_m conforme definição da ABNT NBR 5356-3), alguns aspectos do dimensionamento do transformador e reator levam em conta valores em pu calculados com referência a uma base previamente escolhida (grandeza U_n conforme definição da ABNT NBR 5356-1).

Em estudos de fluxo de potência e de estabilidade eletromecânica do Sistema Interligado Nacional (SIN), parte dos equipamentos de tensão máxima operativa 550 kV é representada em pu na base 525 kV (região sul) e parte na base 500 kV (demais regiões) [03]. A razão desse fato é histórica: até 1970, as normas ANSI (americana) e IEC (europeia) estabeleciam para os equipamentos tensões máximas operativas de 525 e 550 kV, respectivamente. A faixa de condição operativa normal era 475 a 525 kV pela ANSI e 500 a 550 kV pela IEC. A partir de 1970, a norma ANSI adotou 550 kV como tensão máxima operativa, igualando-se à norma IEC nesse quesito.

Embora equipamentos com tensão máxima operativa de 525 kV não tenham chegado a ser instalados no Brasil, os estudos para a implementação desse nível de tensão iniciaram-se em 1969 tendo como referência a antiga norma ANSI, tendo sido adotado como tensão base o valor de 500 kV. Daí o costume de esses sistemas serem designados como sistemas 500 kV, apesar de a tensão máxima operativa dos equipamentos instalados a partir de 1976 ser de 550 kV. Esse fato originou uma faixa operativa normal variando de 1,0 a 1,10 pu, em virtude de a base 500 kV continuar a ser utilizada nos estudos. Mais tarde, com a instalação desses equipamentos na região sul, que ainda não estava interligada à região sudeste por esse nível de tensão, a base adotada nos estudos foi 525 kV, com a faixa operativa normal variando de 0,95 a 1,05 pu. No SIN, entre a rede designada como sistema 500 kV (faixa operativa entre 500 e 550 kV, correspondendo a 1,0 a 1,10 pu da base de 500 kV) e a rede designada como sistema 525 kV (faixa operativa também entre 500 e 550 kV, porém correspondendo a 0,95 a 1,05 pu da base de 525 kV), há a necessidade de um transformador ideal para compatibilizar as bases adotadas.

Em resumo, embora haja no Brasil sistemas designados como de tensão nominal 525 kV (região sul) e 500 kV (demais regiões), o sistema opera em regime normal entre 500 e 550 kV, correspondendo a 0,95 a 1,05 pu no sistema designado como de tensão nominal 525 kV e a 1,00 a 1,10 pu no sistema designado como de tensão nominal 500 kV. Em ambos os sistemas, a tensão máxima operativa do transformador ou reator é de 550 kV.

A Tabela 2 apresenta, para cada tensão nominal do sistema, a faixa operativa normal em quilovolts e em pu, bem como a tensão máxima operativa, para a qual o transformador ou reator deve ser dimensionado. Os aspectos do dimensionamento do transformador ou reator que dependam da tensão nominal devem considerar para tanto a mediana da faixa operativa ou, em casos excepcionais, serem feitos de forma similar a transformadores existentes em paralelo. A tabela apresenta também as grandezas U_m , definida na ABNT NBR 5356-3 como tensão máxima para efeito de dimensionamento do transformador, e U_n , definida na ABNT NBR 5356-1 como tensão nominal para efeito de dimensionamento do transformador.

Tabela 2: Faixa de tensão operativa normal em função da tensão nominal do sistema

Tensão nominal de operação ⁽¹⁾ (kV)	Faixa de tensão operativa normal (kV) (pu) ⁽²⁾		Tensão máxima operativa (kV)	Tensão para dimensionamento do transformador	
				$U_n^{(3)}$ (kV)	$U_m^{(4)}$ (kV)
< 230	—	0,95 a 1,05	—	—	—
230	218 a 242	0,95 a 1,05	242	230	242
345	328 a 362	0,95 a 1,05	362	345	362
440	418 a 460	0,95 a 1,046	460	440	460
500	500 a 550	1,00 a 1,10	550	525	550
525	500 a 550	0,95 a 1,05	550	525	550
765	690 a 800	0,95 a 1,046	800	765	800

(1) Valor eficaz de tensão pelo qual o sistema é designado.

(2) Valor em pu tendo como base a tensão nominal de operação.

(3) Tensão nominal conforme definição da ABNT NBR 5356-1

(4) Tensão máxima conforme definição da ABNT NBR 5356-3

5.3 Coordenação de isolamento

O transformador, reator e demais instalações de transmissão devem atender ao estabelecido no item 6.5 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede. Os procedimentos para análise de coordenação de isolamento estão descritos em pormenor na ABNT NBR 6939.

Uma empresa interessada em participar do leilão de um empreendimento faz normalmente estudos sucintos do desempenho de um transformador típico inseridos no sistema. Tais parâmetros são repassados para possíveis fabricantes, de forma a subsidiar a composição da proposta econômica da empresa interessada em participar do leilão. Caso a empresa não tenha feito estudos para determinação dos níveis de isolamento a serem considerados pelos possíveis fabricantes, estes podem utilizar os valores de referência constantes do item 6.2, sem prejuízo da responsabilidade a ser assumida pela empresa, caso venha a ser a ganhadora do leilão e tornar-se a transmissora detentora da concessão do empreendimento em questão, de garantir o atendimento a todos os requisitos, funcionais e complementares.

5.3.1 Sobretensões

O transformador e reator devem suportar as tensões em vazio e em carga em regime permanente e em condições de sobreexcitação e subexcitação em qualquer derivação, em conformidade com a ABNT NBR 5356-1.

O transformador e reator devidamente protegidos por para-raios e dentro das margens de proteção oferecidas por estes, conforme ABNT NBR 6939, devem suportar as sobretensões transitórias de manobra e atmosféricas e as devidas às faltas no sistema.

5.4 Suportabilidade a curtos-circuitos

O transformador, reator e as demais instalações de transmissão devem atender ao estabelecido no item 6.4 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede e nos documentos técnicos de outorga. Devem ainda seguir as recomendações da Nota Técnica ONS 048/2014 [04] e do Relatório Técnico ONS RE 2.1/090 [01].

De acordo com o estabelecido nas normas ABNT NBR 5356-1 e NBR 5356-5, o transformador, juntamente com todos os equipamentos e acessórios, deve ser projetado e fabricado para resistir estática e dinamicamente, sem danos, aos efeitos térmicos e mecânicos das correntes

simétricas e assimétricas de curtos-circuitos trifásicos, fase-fase, fase-fase-terra e fase-terra nos terminais externos.

O enrolamento terciário, caso presente, deve ser dimensionado para suportar a circulação de harmônicos, correntes de sequência zero e tensões transitórias quando da ocorrência de faltas externas no primário ou secundário.

Para efeito de avaliação inicial de custo, na falta de informação mais precisa, os fabricantes podem considerar prospectivamente que o transformador e seus componentes e acessórios sejam projetados e fabricados considerando que a potência de curto-circuito no terminal do transformador seja igual à sugerida na tabela 2 da norma ABNT NBR 5356-5:2007. Entretanto, isso não exime a transmissora da responsabilidade de comprovar por meio de estudos na fase de projeto básico que o transformador tem desempenho em conformidade com os requisitos funcionais estabelecidos, o que equivale a dizer que foi projetado e fabricado de forma a atender a esses requisitos.

5.5 Sobre-excitação

O transformador e reator devem ser dimensionados para, em qualquer derivação de operação, não sejam excedidos os limites de temperatura para partes metálicas e de suportabilidade dielétrica gerados pelo perfil de sobre-excitação em vazio a 60 Hz apresentado na Tabela 3, baseado nos Submódulos 2.3 e 23.3 dos Procedimentos de Rede.

O perfil deve ser entendido como pontos de uma curva tensão (valor eficaz na derivação de indução máxima) versus tempo. Valores de tensão associados a tempos baixos representam solicitação dielétrica, enquanto que os associados a tempos maiores a solicitação térmica.

Tabela 3: Valores indicativos de sobretensões admissíveis a 60 Hz para transformadores e autotransformadores em vazio e reatores⁽³⁾

Tensão eficaz (pu) ⁽¹⁾	Tempo (s)
2,0	0,1667
1,82	0,3333
1,50	1,667
1,40	3,6
1,35	10
1,25	20
1,20	60
1,15	480
1,10 ⁽²⁾	regime

(1) Valores em pu tendo por base a tensão da derivação (valor eficaz de tensão pelo qual o tape é designado na tabela de derivação do transformador).

(2) Não se aplica a reatores em derivação

(3) Reatores em entrada de linha devem atender a requisitos específicos constantes dos documentos de outorga e dos procedimentos de rede

5.5.1 Sobre-excitação com carga nominal

O transformador deve ser dimensionado para ser capaz de operar em regime permanente com carga nominal, independentemente da derivação de operação sem danos com tensões ou frequências diferentes das nominais nas condições estabelecidas no item 5.4 da norma ABNT NBR 5356-1:2008, considerando-se para efeito de dimensionamento do transformador para a derivação de indução máxima.

5.6 Carregamento

O transformador deve ser dimensionado segundo normas ABNT NBR 5356-2 e 5356-7 e de forma a atender às solicitações constantes nos documentos de outorga e nos procedimentos de rede, incluindo a Nota Técnica ONS NT 038 [02].

Os acessórios tais como buchas, comutadores de derivação em vazio e em carga, TCs de bucha e outros, devem estar dimensionados para suportar as condições de carregamento previstas.

6 Características elétricas

6.1 Potência nominal e condições de carregamento

O equipamento deve atender aos valores de potência nominal nos diferentes estágios de resfriamento definidos nos documentos de outorga, respeitando os limites de elevação de temperatura.

O equipamento deve atender às condições de carregamento em sobrecarga definidas na norma ABNT NBR 5356-7, inclusive relativamente ao ensaio definido em seu anexo H e na Nota Técnica ONS NT 038 [02].

6.2 Níveis de isolamento

Caso o fabricante não tenha recebido a tempo os estudos de coordenação de isolamento que serão apresentados pela transmissora na fase do projeto básico para comprovar o atendimento aos requisitos funcionais, devem ser utilizados, prospectivamente, os níveis de isolamento constantes da Tabela 4 e da Tabela 5, extraídos da ABNT NBR 5356-3 e da ABNT NBR 5034.

Tabela 4: Tensões suportáveis para dimensionamento do transformador ou reator

Tensão máxima do equipamento (kV eficaz)	Tensão suportável do enrolamento a impulso de manobra (kV crista)	Tensão suportável do enrolamento a impulso atmosférico (kV crista)
72,5	Não aplicável	350
145	Não aplicável	650
245	750	950
362	850	1050
460	1050	1300
550	1175	1550
800	1550	1950

Tabela 5: Tensões suportáveis para dimensionamento das buchas

Tensão máxima do terminal (kV eficaz)	Tensão suportável do terminal a impulso atmosférico para as buchas (kV crista)
15	110
36,2	200
72,5	350
145	650
245	1050
362	1175
460	1425
550	1675
800	2100

6.2.1 Resposta do transformador ou reator a sobretensões transitórias rápidas

Um transformador ou reator de tensão nominal igual ou superior a 230 kV deve ser dimensionado para suportar sobretensões transitórias de alta frequência oriundas de ressonância parcial nos enrolamentos decorrentes de sobretensões inerentes ao sistema elétrico, como surtos atmosféricos, surtos de manobra, surtos rápidos, faltas, surto transferido, VFT etc. A transmissora deve analisar a interação do transformador ou reator com o sistema e fornecer ao fabricante as formas de onda a serem utilizadas no dimensionamento.

No momento, o assunto é estudado no âmbito do Cigré pelo JWG A2/C4-52, cujos resultados trarão subsídios para o detalhamento dos modelos de transformador ou reator necessários e consequente conjunto de ondas não padronizadas, de forma que possa ser feita uma simulação do desempenho do equipamento em interação com o sistema para efeito de transitórios de alta frequência.

6.2.2 Medição de resposta em frequência

Juntamente com os ensaios de rotina, o transformador ou reator de tensão nominal igual ou superior a 230 kV deve ser submetido a ensaio de medição de resposta em frequência, que deve ser realizado na faixa de até 2 MHz, em todos os terminais do equipamento e nas derivações de maior tensão.

A metodologia utilizada nos ensaios, os instrumentos utilizados, os resultados obtidos etc., devem constar do relatório de ensaios do equipamento.

Os ensaios devem ser realizados na fábrica na condição de transporte e repetidos no campo no momento do recebimento, ainda na configuração de transporte, no local de instalação dos equipamentos, utilizando a mesma metodologia e instrumentação de ensaio. Deve ser repetido nas condições de operação, com o transformador ou reator montado, para se ter o registro inicial e dados para futuras comparações de manutenção, casos de curto-circuito, por exemplo.

6.3 Impedância

O valor da impedância entre o enrolamento primário e secundário deve ser compatível com o sugerido nos estudos de sistema disponibilizados nos Relatórios R de planejamento, parte integrante dos documentos de outorga. Deve ser, no máximo igual ao valor estabelecido no Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede e nos documentos de outorga. Impedâncias

superiores só são aceitáveis em situações especiais, como, por exemplo, em caso de necessidade de limitação das correntes de curto-circuito.

Cabe à transmissora complementar na fase de projeto básico os estudos de sistema disponibilizados nos relatórios R de planejamento, de forma a comprovar o atendimento a todos os requisitos estabelecidos.

Os valores máximo e mínimo da impedância de novos transformadores em subestações existentes devem ser compatíveis com as condições de paralelismo.

6.4 Limites de elevação de temperatura

A Tabela 6 apresenta os limites de elevação de temperatura aceitáveis para as condições ambientais do item 4.4. Quando as características ambientais do local de instalação forem mais restritivas do que as do item 4.4, os limites de elevação de temperatura devem ser corrigidos conforme a metodologia abaixo.

Tabela 6: Limites de elevação de temperatura

Condições e local de referência	Limites de elevação de temperatura (°C) em função do líquido isolante	
	Óleo mineral ⁽¹⁾	Óleo vegetal ⁽²⁾
Classe térmica mínima da isolação dos enrolamentos ⁽³⁾	120	140
Média dos enrolamentos (θ_w)	65	85
Ponto mais quente dos enrolamentos ($\theta_{w \text{ MÁX}}$)	80	100
Óleo isolante (topo do óleo) ($\theta_o \text{ MÁX}$)	65	85
Temperatura de referência para perdas totais e impedância (T_{ref})	85	105

(1) O óleo mineral considerado deve atender aos requisitos do item 7.5.2.a

(2) O óleo vegetal deve atender aos requisitos do item 7.5.2.b

(3) Conforme a IEC 60076-14/2013 anexo A item A.3, os materiais a base de celulose em chapas (tipo “pressboard”), que têm classe térmica 105°C quando ensaiados em ar, podem ser classificados como termoestabilizados quando imersos em líquido isolante, atendendo assim à classe térmica 120°C em óleo mineral isolante e 140°C em óleo vegetal isolante.

Quando a temperatura ambiente média e/ou máxima forem superiores aos valores indicados na Tabela 1 aplicam-se os seguintes fatores de redução em relação aos limites da Tabela 6:

$$K_{med.} = (T_{med} - 30^{\circ}\text{C})$$

$$K_{max.} = (T_{max} - 40^{\circ}\text{C})$$

Onde,

T_{med} é a temperatura média anual do meio de resfriamento (ambiente de instalação do equipamento)

T_{max} é a temperatura ambiente máxima do meio de resfriamento (ambiente de instalação do equipamento) a ser definida conforme critério da transmissora

O fator de correção K_{max} , se maior que zero, deve ser subtraído para definição do novo limite de elevação de temperatura do topo do óleo ($\theta_o \text{ MÁX}$), enquanto que o fator K_{med} , se maior que zero, deve ser subtraído para os limites de elevação de temperatura do enrolamento médio (θ_w) e do ponto mais quente ($\theta_{w \text{ MÁX}}$).

Se a única informação disponível for a diferença de temperatura ambiente máxima, pode-se assumir que $K_{med.}$ seja igual $K_{max.}$

6.5 Auditoria técnica de projeto (*design review*)

Deve ser realizada auditoria técnica (*design review*) dos projetos mecânico e elétrico do transformador ou reator nas situações listadas a seguir.

- Transformador de conversoras;
- Reator de tensão nominal igual ou superior a 500 kV;
- Transformador defasador;
- Transformador e autotransformador de potência igual ou superior a 150 MVA por fase;
- Transformador de compensador estático.

Tal auditoria técnica poderá ter sido realizada nas instalações da transmissora, do fabricante ou por videoconferência.

6.6 Curva de saturação

Deve ser apresentada a curva teórica da curva de saturação, indicando seu joelho (*knee-point*) e reta representativa da reatância de núcleo em ar.

6.7 Perdas

Os limites de perdas constantes do Submódulo 2.3 dos procedimentos de rede devem ser atendidos em todos os casos.

7 Características construtivas

O transformador, reator e demais componentes devem atender integralmente ao estabelecido nas normas ABNT NBR 5356-1 – Transformadores de potência; Parte 1: Generalidades – e ABNT NBR 16126 – Projeto mecânico de transformadores e reatores para sistemas de potência.

7.1 Arranjo geral

O fabricante do equipamento deve fornecer um desenho do arranjo geral externo com dimensões principais e tolerâncias, respeitando eventuais necessidades de intercambiabilidade.

7.2 Núcleo

Todos os elementos de fixação do núcleo devem ser projetados de maneira a minimizar as correntes parasitas. O núcleo deve ser fixado de forma a suportar sem deformação permanente os esforços causados por curtos-circuitos, manuseio ou transporte.

Os elementos metálicos passantes através do núcleo, caso existam, devem ter isolamento, no mínimo, para 500 V e classe térmica 120°C (classe E conforme NBR IEC 60085), resistente a óleo isolante. Os parafusos e porcas devem ser travados de modo a não se afrouxarem pela vibração devido ao transporte e a operação.

O núcleo deve ser aterrado externamente em um único ponto através de uma bucha, com conexão removível. A conexão removível deve ser facilmente acessível externamente através de caixa de passagem seca fechada por uma tampa removível onde a conexão de aterramento é executada para o tanque, com meios para facilitar a medição da resistência de isolamento. Quando a conexão for removida, a resistência de isolamento entre o núcleo e terra deve ser maior que 500 MΩ. O principal objetivo desse aterramento removível é confirmar que há somente um ponto de aterramento efetivo no núcleo, sem a necessidade de baixar o nível do óleo do equipamento.

Todos os parafusos e outros elementos de fixação (porcas e braçadeiras) do núcleo devem ser providos de dispositivos de travamento que previnam possível afrouxamento causado por vibrações e pela operação do transformador ou reator.

7.3 Enrolamentos

Os enrolamentos devem ser construídos com condutores de alta pureza, capazes de suportar sem avarias os esforços eletrodinâmicos de curto-circuito, aplicados diretamente aos terminais dos enrolamentos.

Os terminais de todos os enrolamentos devem ser soldados ou crimpados e aparafusados. Não são aceitas conexões feitas por meio de brasagem.

7.4 Materiais

Todos os materiais construtivos em contato com o líquido isolante devem ser compatíveis com o mesmo, conforme ensaio descrito na ABNT NBR 14274 e ABNT NBR 16431.

7.5 Materiais isolantes

7.5.1 Isolação sólida

Os materiais isolantes sólidos utilizados no transformador ou reator devem ser de classe térmica mínima 105 (denominada anteriormente classe A, conforme a ABNT NBR IEC 60085).

O papel isolante utilizado para isolação dos condutores dos enrolamentos deve ser termoestabilizado ou material de classe térmica superior, obtido pela adição de dicianodiamida ou outro composto nitrogenado equivalente. Deve ser verificado o teor de nitrogênio no papel termoestabilizado usando o método ASTM D982-5 (2009). Deve ainda atender ao critério de expectativa de vida útil mínima de 150.000 h a 110°C conforme IEEE C57.100, quando imerso em óleo mineral.

As propriedades mínimas exigidas para o papel utilizado para isolação dos condutores dos enrolamentos estão listadas na Tabela 7. Para controle do grau de polimerização, amostras do mesmo papel utilizado em cada enrolamento, em quantidade mínima de 6 amostras, devem acompanhar todas as etapas de processamento, sendo utilizadas como testemunho. O resultado do ensaio do grau de polimerização, conforme NBR IEC 60450, deve também ser fornecido juntamente com o relatório de ensaios do transformador ou reator.

Tabela 7: Propriedades mínimas dos papéis isolantes dos condutores dos enrolamentos

Propriedade	Valor mínimo
Grau de polimerização inicial (antes da secagem)	1200
Teor mínimo de nitrogênio no papel termoestabilizado	1,8% ⁽¹⁾
Grau de polimerização final (após secagem em fábrica)	950 ⁽²⁾

- (1) A comprovação do teor de nitrogênio no papel pode ser por ensaio de rotina realizado pelo fabricante do transformador ou reator ou por certificado do fabricante do papel comprovadamente referente ao lote de papel utilizado no transformador ou reator. Eventuais valores inferiores podem ser aceitos desde que haja a comprovação do atendimento ao critério de expectativa de vida útil mínima de 150.000h a 110°C conforme IEEE C57.100, quando imerso em óleo mineral.
- (2) Após a conclusão de todos os ensaios do transformador ou reator e antes do seu embarque, o fabricante deve realizar a medição do grau de polimerização do papel isolante, de forma a comprovar o atendimento ao limite mínimo de 950. Na eventualidade de não atendimento a esse valor pelo fato de ter havido múltiplas secagens, podem ser adotadas, mediante acordo entre fabricante e cliente final, reduções nos limites de elevação de temperatura do ponto mais quente, de maneira a garantir a expectativa de vida útil do equipamento, desde que o valor após todo o processamento do transformador ou reator seja superior a 800.

7.5.2 Isolação líquida

Salvo indicação contrária, o fornecimento do transformador ou reator inclui o do líquido isolante. O líquido isolante novo deve se enquadrar em uma das alternativas abaixo.

a) óleo mineral do tipo A (base naftênica), de acordo com as resoluções vigentes da ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (referência resolução ANP nº 36, de 05/12/2008), aditivado apenas com aditivo antioxidante DBPC/DBP, isento de enxofre corrosivo, conforme ABNT NBR 10576. Não será aceito óleo isolante com passivador derivado de tolutriazol e nem qualquer outro aditivo antioxidante tal como o DBDS;

b) óleo vegetal, de classe K, biodegradável (conforme OECD 301) e não tóxico (OECD 201 – *Fish acute* ou ABNT NBR 15088), de acordo com a ABNT NBR 15422 e os requisitos do item 4.5.1 da IEC 62770:2013 no que se refere a estabilidade a oxidação.

7.6 Tanque e tampa

Devem ser observados os requisitos da ABNT NBR 16126.

Em todos os casos os tanques devem ser dimensionados para suportar vácuo pleno (pressão residual inferior a 1 mmHg ou 133 Pa) sem deformações permanentes (em regime elástico) e tensões máximas nas condições de trabalho não superiores a 50% dos limites de escoamento dos materiais utilizados.

Todos os materiais utilizados devem possuir rastreabilidade até a matéria-prima.

Verificações dimensionais e de controle de qualidade podem ser solicitadas pelo cliente final, a seu critério e, se não acordado previamente, sob suas expensas.

A tampa principal deve ser projetada com inclinação de forma a impossibilitar o acúmulo de água sobre a mesma. Todas as partes do equipamento que possibilitem o acúmulo de água devem ser providas de dreno de dimensões adequadas.

Deve ser prevista a instalação de proteção contra quedas, constituída de anteparos rígidos, removíveis, em sistema de guarda-corpo, que deve atender aos seguintes requisitos:

a) ser construída com altura de 1,20m (um metro e vinte centímetros) para o travessão superior e 0,70m (setenta centímetros) para o travessão intermediário.

A referida proteção contra quedas (guarda corpos) deve ser instalada no topo do equipamento através de bases soldadas para montagem de corrimão extraível, também incluído no fornecimento

7.7 Sistema de preservação de óleo

Todo transformador ou reator deve ser dotado de sistema de preservação de óleo que impeça o contato contínuo do líquido isolante com o ar ambiente. Estão excluídas as soluções do tipo respiração livre.

7.8 Juntas e anéis de vedação

Os flanges e juntas de vedação devem atender aos critérios de dimensionamento e requisitos mínimos da norma ABNT NBR 16126.

Nas tabelas 1 e 2 da ABNT NBR 16126:2012 são indicados materiais a serem utilizados para as juntas de vedação, sendo que na tabela 2 da mesma são apresentadas especificações mínimas a serem exigidas quando da aplicação de elastômeros com o uso de óleo mineral. A tabela 2 da ABNT NBR 16126:2012 também é válida para uso de óleo vegetal, com exceção da determinação da compatibilidade de materiais com as características do óleo vegetal isolante, que deve ser comprovada segundo a ABNT NBR 16431.

Podem ser utilizados sistemas de vedação com juntas planas ou juntas alojadas em canais de vedação. Independentemente da alternativa utilizada, os transformadores e reatores não devem apresentar vazamentos nos ensaios de estanqueidade em fábrica, nem durante sua vida útil.

Caso uma junção flangeada seja aberta, deve ser substituída, não sendo permitido o reuso da junta. No manual de manutenção, devem ser informados os cuidados para descarte de juntas substituídas.

7.8.1 Juntas planas

Em juntas planas, os flanges devem ser dimensionados para garantir a correta compressão da junta.

O material usual é um polímero PTFE laminado com microesferas de vidro, pela sua resistência ao envelhecimento e vida útil.

A montagem deve ser realizada conforme norma ASME PCC-1.

7.8.2 Juntas tipo anel O

As juntas tipo anel O, mais frequentemente utilizadas como gaxetas em vedações dinâmicas, também possuem larga aplicação em vedações estáticas. Devem ser aplicadas dentro de um alojamento, que tem função de limitador de torque. São fornecidas usualmente em borrachas fluoradas, tais como o flúor-silicone (FMQ, FPMQ) ou o VITON (FKM), visando garantir a disponibilidade do equipamento durante toda sua vida útil.

7.9 Acessórios

Os acessórios devem atender integralmente à norma ABNT NBR 16367, em todas as suas partes.

O transformador e o reator devem possuir todos os acessórios indicados na ABNT NBR 5356-1, além de outros acessórios não explicitamente citados nessa norma, mas necessários para transporte, armazenagem, montagem, operação e manutenção do transformador ou reator.

7.10 Válvulas

As válvulas devem atender aos requisitos da norma ABNT NBR 16367-6.

Todas as válvulas de diâmetro nominal superior a DN20 (3/4") devem ser flangeadas. Os flanges devem ser redondos, com furações radiais para uniformização dos esforços devidos aos torques de aperto indicados, excetuando-se os flanges dos radiadores.

O arranjo físico deve permitir fácil acesso a todas as válvulas.

7.11 Soldas

Todas as soldas do transformador ou reator, excluindo-se o elemento ativo, devem ser executadas de acordo com as recomendações da AWS-D1.1-80 ou ISO 15614-7 e da ABNT NBR 16126.

7.12 Dispositivo de alívio de pressão súbita

Mediante acordo entre fabricante e cliente, o transformador ou reator pode ser fornecido com um dispositivo de alívio de pressão súbita conforme item 9.18 da ABNT NBR 16126.

7.13 Buchas

As buchas devem atender aos requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR 5034 e na Nota Técnica ONS NT 038 [02] no que diz respeito a projeto, fabricação, ensaio e condições de sobrecarga. E devem ser do tipo capacitivo ou não capacitivo para aplicação Óleo-Ar, Óleo-SF6 e Óleo-Óleo.

Buchas de tensão nominal superior a 52 kV devem ser capacitivas, com tecnologia de isolamento principal do tipo papel impregnado com óleo (OIP), tecnologia de isolamento principal do tipo papel impregnado com resina epóxica (RIP) ou de tecnologia de isolamento principal do tipo fibra sintética impregnada com resina epóxica (RIS).

Buchas de tensão nominal igual ou inferior a 52 kV podem ser do tipo não capacitivo conforme norma IEC 60137:2008, item 10, com tecnologia de isolamento de porcelana ou polimérica combinada com isolamento de resina epóxica.

Devem ser apresentados os ensaios de tipo e rotina da bucha, conforme ABNT NBR 5034 ou IEC 60137.

As buchas capacitivas devem ser providas de derivação de ensaio para medição do fator de perdas dielétrica tangente delta, capacitâncias e valor de descargas parciais.

Buchas capacitivas de tecnologia OIP devem ser equipadas com visores de nível ou indicador magnético de óleo.

7.14 Comutador de derivações

7.14.1 Comutador de derivações em carga (CDC)

O comutador deve ser projetado, fabricado e ensaiado de acordo com as normas ABNT NBR 8667-1, 8667-2 e 5356-1 e IEC 60214-1 e deve suportar esforços impostos por curto-circuito externo, sob as condições mais desfavoráveis. Deve ser confirmado também o atendimento à Nota Técnica ONS NT 038 [02].

O CDC deve ser escolhido de tal forma que a sua corrente nominal seja maior ou igual à corrente nominal do transformador ou reator na derivação de máxima corrente.

O CDC deve ser preferencialmente do tipo "vácuo", sendo requerido o uso de sistema de filtro de óleo nos casos de comutador convencional.

7.14.2 Comutador de derivações sem tensão (CDST), quando aplicável

O comutador deve ser projetado, fabricado e ensaiado de acordo com as normas ABNT NBR 8667-1, 8667-2 e 5356-1 e IEC 60214-1 e deve suportar esforços impostos por curto-circuito externo, sob as condições mais desfavoráveis.

Devem ser observadas os critérios de instalação do acionamento conforme a norma ABNT NBR 16126.

7.15 Equipamento de circulação forçada/dirigida de óleo

Quando o transformador possuir regime de resfriamento tipo OF ou OD ou ainda KF ou KD (no caso de fluido classe K), os equipamentos utilizados devem atender aos seguintes requisitos:

- a) As bombas de óleo devem ser instaladas de maneira que possam ser retiradas com o transformador energizado e sem perda de óleo, prevendo-se inclusive dispositivos para sangria do ar da seção que tenha sido drenada.
- b) A entrada em funcionamento dos ventiladores e bombas deve ser comandada automaticamente por meio de monitor digital de temperatura. Devem ser instaladas chaves ou botões de controle em paralelo com os contatos desses termômetros, para operação manual local. Deve ainda ser prevista a possibilidade de comando manual remoto da refrigeração forçada.
- c) Um transformador com circulação forçada do líquido isolante deve ser provido de aparelho indicador de fluxo do óleo indicando a presença ou ausência do fluxo correto de óleo.
- d) Os dispositivos de proteção e controle do equipamento de resfriamento forçado devem estar contidos em caixa com grau de proteção IP54 conforme ABNT NBR IEC 60529.
- e) Quando especificado o resfriamento forçado do tipo ODAF, o fabricante deve garantir que o seu projeto não provoque operação incorreta do relé de gás por fluxo de óleo dirigido ou a formação de cargas eletrostáticas nos enrolamentos. Além disso, a velocidade máxima do óleo nos canais de resfriamento não deve provocar o turbilhonamento do óleo, formação de bolhas ou o fenômeno de cargas eletrostáticas (eletrização estática).
- f) Os ventiladores devem ser providos com meios físicos contra contato acidental, atendendo, no mínimo, a IP20.

7.16 Umidade Relativa da Superfície da Isolação (URSI) ou Ponto de Orvalho

Os valores limites para a URSI são detalhados a seguir.

- a) Para classe de tensão acima de 69 kV e inferior a 345 kV, o valor de URSI deve ser igual ou menor do que 0,7%;
- b) Para classe de tensão igual ou superior a 345 kV, o valor de URSI deve ser igual ou menor do que 0,5%.

Se os valores obtidos forem maiores que os especificados, deve haver um entendimento entre o comprador e o fabricante sobre a necessidade de medidas adicionais.

8 Sistema de monitoramento e diagnóstico on-line

É prerrogativa da transmissora a decisão quanto ao sistema de gestão da manutenção a ser eventualmente instalado, desde que assegure o desempenho adequado do transformador ou reator durante toda sua vida útil.

9 Ensaios de aceitação na fábrica e ensaios finais

O transformador ou reator deve ser submetido aos ensaios conforme relação abaixo, seguindo os procedimentos da NBR 5356.

9.1 Ensaios de rotina

- Ensaios de rotina relacionados na ABNT NBR 5356-1 e 5356-6;
- Ensaios de rotina descritos na ABNT NBR 16126;
- Ensaio de grau de polimerização descritos na ABNT NBR IEC 60450;
- Antes da expedição do transformador ou reator, deve ser medida a umidade relativa da superfície isolante (URSI) ou ponto de orvalho. (ver item 9.16).
- Ensaio de impulso atmosférico (ondas plenas e cortadas);
- Medição do fator de dissipação ($\tan \delta$) da isolação (medição do fator de potência do isolamento);
- Medição da resposta em frequência e impedância terminal conforme ABNT NBR 5356-1:2007, item 11.21.

9.2 Ensaios de tipo

- Ensaios de tipo relacionados na ABNT NBR 5356-1 e 5356-6;
- Ensaio de elevação de temperatura em sobrecarga descrito na Nota Técnica NT ONS 038 [02]);
- Análise cromatográfica dos gases dissolvidos no óleo isolante descrita na ABNT NBR 5356-1:2007, item 11.13.
- Determinação do nível de ruído audível conforme ABNT NBR 5356-1:2007, item 11.18.

10 Referências

- [01] ONS. Critério para especificação de disjuntores de alta tensão quando submetido a correntes de curto-circuito com constante de tempo elevada. Relatório Técnico ONS RE 2.1/090;
- [02] ONS. Ensaio de elevação de temperatura de transformadores em sobrecarga. Nota Técnica ONS NT 038;
- [03] ONS. Representação de transformadores em pu considerando-se o choque de bases. Nota Técnica ONS NT 3/096;
- [04] ONS. Critérios para análise de superação de equipamentos e instalações de alta tensão. Nota Técnica ONS NT 048.

11 Créditos

O presente documento foi elaborado no âmbito da CE 14.01 do COBEI por um grupo de trabalho formado pelos membros representantes listados na Tabela 8.

Tabela 8: Profissionais que participaram da elaboração do presente documento

Profissional	Entidade	Profissional	Entidade
Ademir Alves de Melo	TREETECH	José Carlos Mendes	ABB
Adinã Martins Pena	CEMIG GT	José Eurico Daniel Junior	TREETECH
Adriano Minotti Briotto	MR - Brasil	José Henrique Madureira	TEADIT
Alan Sbravati	CARGILL	José Rubens P. da Costa	QUANTIQ
Alberto J. Fossa	ICA PROCOBRE	José Vicente O. Junior	SIEMENS
Alberto Moriyama	IMOM TECNOLOGIA	Julian Luiz Reis	ELETROSUL
Alexandre Rodrigues	TDM	Júlio Cesar A. de Aguiar	ELETROBRAS
Angélica Rocha	CONSULTORA	Leonardo Galhardo	DUPONT
Antônio Carlos Jacomini	ISOLETRI	Leonardo Torres dos Santos	CEPEL
Antônio Paulo K. de Barros	TEADIT	Lucas Baliza	3M
Carlos Ossamu Kajikawa	ELETROPAULO	Lucas Pavan Fritoli	TREETECH
Claudio A. Galdeano	MGM CONSULTORIA	Luciano Primo	ESCELSA
Claudio Max A. Moreira	EDP - ESCELSA	Luiz do Nascimento P. Junior	METRO SP
Claudio Sergio Rancoleta	UKRAFT	Luiz Otávio R. da Silva	CEMIG
Cleber A. Amorim Junior	TOSHIBA	Luiz Otavio R. da Silva	CEMIG GT
Daniel Henrique Lisboa	CEMIG	Manoel José Silva Neto	CONSULTOR
Dayana E. P. Teixeira	ELETROBRAS	Marcelo Neves Martins	CARGILL
Debora Microni Soares	LIGHT	Marcio da Costa	TREETECH
Delmo de Macedo Correia	ONS	Marcos Czernorucki	ABB
Denis de Oliveira Neto	ELETRONORTE	Matheus Henrique R. Duarte	CEMIG GT
Diogo Scolfaro F. de Souza	ABB	Paulo César de Souza	LIGHT
Edie de Paula	ABB	Pedro Peroni	ELETROSUL
Edilson Luiz Guaratto	CHEMAX	Rafael A. M. da Costa	FURNAS
Felipe de A. Sgarbi	ICA PROCOBRE	Rafael Monteiro da C. Silva	ELETROBRAS
Flavio Augusto M. Pioto	CTEEP	Renato Tanasovici	MR - Brasil
Francisco Zacarias	ELETROSUL	Ricardo Salengue	ELETROSUL
Fredy Takao Aoyagui	COMTRAFO	Roberto Asano Junior	CONSULTOR
Gilberto Amorim Moura	TREETECH	Roberto Drummond	COMTRAFO
Gustavo Alves Antonelli	CTEEP	Roberto H. G. Araujo	TEADIT
Hanna Barros Vieira	LIGHT	Rodrigo Cardoso Gatti	GE - BRASIL
Henrique Carlos Campiche	CTEEP	Rogério Peres Bersi	WEG
Hideo Takitani	ERGON	Sandro Peixoto	ELETROSUL
Icaro Igor C. M. Barros	ESCELSA	Sergio Costa	GE - CANADA
Iran Prado Arantes	ELETRONORTE	Thiago Ribeiro M. Alves	LIGHT
Ito Carlos Capinos	ALSTOM	Tiago Bertran	SIEMENS
Janaina Gomes da Costa	CEMIG GT	William Diego Fernandes	ISOLETRI
Jefferson O. Mendonça	FURNAS	Wilson de Andrade	ISOLETRI
João Henrique V. Goulart	TEADIT	Yoshio Nomi	ABB
Jorge Inhaz	ABB		