

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
5356-11

Primeira edição
30.05.2016

Versão corrigida
14.09.2016

**Transformadores de potência
Parte 11: Transformadores do tipo seco —
Especificação**

*Power transformers
Part 11: Dry-type transformers — Specification*

ICS 29.180

ISBN 978-85-07-06277-6



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 5356-11:2016
47 páginas



© ABNT 2016

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT
Av.Treze de Maio, 13 - 28º andar
20031-901 - Rio de Janeiro - RJ
Tel.: + 55 21 3974-2300
Fax: + 55 21 3974-2346
abnt@abnt.org.br
www.abnt.org.br

Sumário

Página

Prefácio	vii
1 Escopo	1
2 Referências normativas.....	1
3 Termos e definições.....	2
4 Condições de serviço	2
4.1 Condições normais de serviço	2
4.1.1 Condições gerais	2
4.1.2 Altitude	3
4.1.3 Temperatura do ar de resfriamento	3
4.1.4 Forma de onda de tensão de alimentação	3
4.1.5 Simetria para tensão de alimentação de sistemas polifásicos.....	3
4.1.6 Umidade	3
4.2 Compatibilidade eletromagnética.....	3
4.3 Condições de serviços especiais	3
4.4 Condições de transporte e armazenagem	4
5 Derivações (<i>taps</i>)	4
6 Grupo de ligação e identificação dos terminais.....	5
7 Capacidade de suportar curto-circuito (ensaio especial)	5
8 Características nominais.....	5
8.1 Condições gerais	5
8.2 Potência nominal.....	5
8.3 Potências padronizadas	5
8.4 Operação com tensão superior a especificada	6
8.5 Operação com ventilação forçada	6
8.6 Operação em invólucro	6
9 Placa de identificação	6
9.1 Placa de identificação afixada no transformador	6
9.2 Placa de identificação no invólucro do transformador	7
10 Identificação do método de resfriamento	7
10.1 Identificação dos símbolos	7
10.2 Ordem dos símbolos.....	7
11 Limites de elevação de temperatura	8
11.1 Limites normais de elevação de temperatura	8
11.2 Redução de temperatura para transformadores projetados para temperatura do ar de refrigeração mais elevado ou condições especiais de refrigeração por ar	9
11.3 Correção de aquecimento esperado em altas altitudes	9
12 Níveis de isolamento.....	10
12.1 Condições gerais	10
12.2 Transformadores para uso em altitudes acima de 1 000 m	10
13 Classes climática, ambiental e de comportamento ao fogo	10
14 Requisitos gerais para ensaios	10

15	Medição da resistência dos enrolamentos (ensaio de rotina)	11
16	Medição da relação de transformação e deslocamento angular (ensaio de rotina) ..	11
17	Medição da impedância de curto-círcuito e perdas em carga (ensaio de rotina) ..	11
18	Medição de perdas a vazio e corrente de excitação (ensaio de rotina)	11
19	Ensaio de tensão suportável à frequência industrial, ou tensão aplicada (ensaio de rotina)	11
20	Ensaio de tensão induzida (ensaio de rotina)	12
21	Ensaio de impulso atmosférico (ensaio de tipo).....	12
22	Ensaio de descargas parciais (ensaio de rotina e especial).....	12
22.1	Condições gerais	12
22.2	Círculo básico de medição.....	12
22.3	Calibração do círculo de medição.....	13
22.4	Aplicação de tensão.....	13
22.4.1	Transformadores trifásicos	14
22.4.2	Transformadores monofásicos.....	14
22.5	Nível de aceitação de descargas parciais.....	15
23	Ensaio de elevação de temperatura (ensaio de tipo).....	15
23.1	Condições gerais	15
23.2	Métodos de carga para o ensaio de elevação de temperatura	15
23.2.1	Método de carga simulada	15
23.2.2	Método de oposição.....	16
23.2.3	Método de carregamento direto.....	17
23.3	Correção da temperatura dos enrolamentos ensaiados com corrente reduzida	18
23.4	Determinação das condições do equilíbrio térmico	18
24	Medições do nível de ruído (ensaio especial)	18
25	Ensaio de curto-círcuito (ensaio especial)	18
26	Classificação ambiental.....	18
27	Classificação climática	19
28	Classificação de comportamento ao fogo	19
29	Tolerâncias.....	19
30	Proteção contra contato direto	19
31	Grau de proteção provido pelo invólucro	19
32	Terminais de ligação a terra	19
33	Informações para consulta e encomenda.....	19
	Anexo A (informativo) Classes climática, ambiental e de comportamento ao fogo	20
A.1	Classes climáticas	20
A.1.1	Classe C1	20
A.1.2	Classe C2	20
A.2	Classes ambientais	20
A.2.1	Classe E0	20
A.2.2	Classe E1	20
A.2.3	Classe E2	20
A.3	Classes de comportamento ao fogo	21

A.3.1	Classe F0.....	21
A.3.2	Classe F1.....	21
A.4	Critério de ensaio para classes climática, ambiental e de comportamento ao fogo.	21
A.5	Ensaios ambientais (ensaio especial).....	22
A.5.1	Condições gerais	22
A.5.2	Validade do ensaio.....	22
A.5.3	Procedimento de ensaio.....	22
A.5.3.1	Transformadores classe E1.....	22
A.5.3.2	Transformadores classe E2.....	23
A.6	Ensaio climático (ensaio especial).....	23
A.6.1	Ensaio de choque térmico (ensaio especial).....	23
A.6.2	Validade do ensaio	23
A.6.3	Ensaio de choque térmico de transformadores da classe C1	24
A.6.3.1	Método de ensaio	24
A.6.3.2	Critérios de ensaio	25
A.6.4	Ensaio de choque térmico para transformadores da classe c2	25
A.6.4.1	Método de ensaio	25
A.6.4.2	Critérios de ensaio	25
A.7	Ensaio de comportamento ao fogo (ensaio especial)	26
A.7.1	Condições gerais	26
A.7.2	Verificação da emissão de gases corrosivos e tóxicos	26
A.7.3	Ensaio de comportamento ao fogo de transformadores da classe F1	26
A.7.3.1	Objetivo do ensaio	26
A.7.3.2	Validade do ensaio	26
A.7.3.3	Instalação de ensaio	27
A.7.4	Quantidades a serem medidas e dispositivos de medição	28
A.7.4.1	Temperaturas	28
A.7.4.2	Outras medições	28
A.7.5	Calibração da câmara de ensaio sem o objeto de ensaio.....	29
A.7.6	Método de ensaio	29
A.7.7	Relatório de ensaio	29
A.7.8	Critérios para a avaliação dos resultados dos ensaios	30
Anexo B	(normativo) Limites de nível de ruído.....	33
Anexo C	(normativo) Tolerância de valores de ensaio.....	34
Anexo D	(normativo) Sinalização de advertência de risco de choque elétrico	36
Anexo E	(informativo) Instalação e segurança de transformadores do tipo seco.....	38
E.1	Manuais	38
E.2	Instalação	38
E.2.1	Geral	38
E.2.2	Segurança intrínseca	38
E.2.3	Precauções na instalação	39
E.2.4	Pontos a serem previstos no projeto da instalação	39
Anexo F	(normativo) Perdas para transformadores do tipo seco.....	41
Bibliografia	47

Figuras

Figura 1 – Circuito básico de medição para ensaio de descargas parciais de um transformador monofásico	13
Figura 2 – Circuito básico de medição para ensaio de descargas parciais de um transformador trifásico	13
Figura 3 – Aplicação de tensão para o ensaio de rotina para medição de descargas parciais ..	14
Figura 4 – Aplicação de tensão para o ensaio especial de medição de descargas parciais ..	14
Figura 5 – Exemplo do método de oposição – Transformador monofásico.....	17
Figura 6 – Exemplo do método de oposição – Transformador trifásico.....	17
Figura A.1 – Câmara de ensaio	31
Figura A.2 – Detalhes da câmara de ensaio.....	32
Figura D.1 – Identificação mínima requerida.....	36
Figura D.2 – Risco de choque elétrico	37
Figura D.3 – Não toque na superfície da bobina	37
Figura D.4 – Ponto de aterramento.....	37

Tabelas

Tabela 1 – Símbolos literais.....	7
Tabela 2 – Ordem dos símbolos.....	8
Tabela 3 – Limites de elevação de temperatura dos enrolamentos	9
Tabela 4 – Níveis de isolamento.....	10
Tabela A.1 – Sequência de ensaios	21
Tabela A.2 – Dimensões da câmara de ensaio	27
Tabela B.1 – Limites de nível de ruído.....	33
Tabela C.1 – Tolerância de valores de ensaio.....	34
Tabela F.1 – Para transformadores com um enrolamento $U_m \leq 15 \text{ kV}$	42
Tabela F.2 – Para transformadores com um enrolamento $U_m \leq 24,2 \text{ kV}$	43
Tabela F.3 – Para transformadores com um enrolamento $U_m \leq 36,2 \text{ kV}$	44
Tabela F4 – Valores de referência de eficiência de pico (IEP).....	45

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Ressalta-se que Normas Brasileiras podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os Órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar outras datas para exigência dos requisitos desta Norma, independentemente de sua data de entrada em vigor.

A ABNT NBR 5356-11 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-003), pela Comissão de Estudo de Transformadores de Distribuição para Postes, Plataformas, Uso Subterrâneo e Industrial até Classe de Tensão 36,2 kV de Fabricação com Líquido Isolante ou à Seco (CE-003:014.014). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 01, de 11.01.2016 a 10.03.2016.

Esta Norma é baseada na IEC 60076-11:2004.

Esta Norma cancela e substitui a ABNT NBR 10295:2011.

Esta versão corrigida da ABNT NBR 5356-11:2016 incorpora a Errata 1, de 14.09.2016.

A ABNT NBR 5356, sob título geral “*Transformadores de potência*”, tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Generalidades;
- Parte 2: Aquecimento;
- Parte 3: Níveis de isolamento, ensaios dielétricos e espaçamentos externos no ar;
- Parte 4: Guia para ensaio de impulso atmosférico e de manobra para transformadores e reatores;
- Parte 5: Capacidade de resistir a curto-circuitos;
- Parte 6: Reatores;
- Parte 7: Carregamento de transformadores;
- Parte 8: Guia de aplicação;
- Parte 9: Recebimento, armazenagem, instalação e manutenção em transformadores e reatores de potência imersos em líquido isolante;
- Parte 10: Determinação do nível de ruído;
- Parte 11: Transformadores do tipo seco – Especificação.

O Escopo em inglês desta Norma Brasileira é o seguinte:

Scope

This Standard applies to dry-type power transformers (including auto-transformers) with operating voltage 36.2 kV or less.

This Standard applies to the construction, testing and technology of dry-type power transformers.

This Standard does not apply to:

- a) *gas-filled dry-type transformers where the gas is not air;*
- b) *single-phase transformers rated at less than 5 kVA;*
- c) *polyphase transformers rated at less than 15 kVA;*
- d) *instrument transformers (see IEC 60618);*
- e) *starting transformers;*
- f) *testing transformers;*
- g) *traction transformers mounted on rolling stock;*
- h) *flameproof and mining transformers;*
- i) *welding transformers and electric arc oven;*
- j) *voltage regulating transformers;*
- k) *small power transformers in which safety is a special consideration;*
- l) *converter transformers;*
- m) *earthing transformers.*

NOTE While Brazilian standards do not exist for the transformers mentioned above or for other special transformers, this Standard may be applicable as a whole or in parts.

Transformadores de potência

Parte 11: Transformadores do tipo seco — Especificação

1 Escopo

Esta Norma se aplica à construção, ensaio e tecnologia dos transformadores de potência do tipo seco (incluindo autotransformadores), com tensão de operação igual ou inferior a 36,2 kV.

Esta Norma não se aplica a:

- a) transformadores isolados a gás, cujo gás não seja o ar;
- b) transformadores monofásicos com potência inferior a 5 kVA;
- c) transformadores polifásicos com potência inferior a 15 kVA;
- d) transformadores para instrumentos (ver IEC 60618);
- e) transformadores de partida;
- f) transformadores de ensaio;
- g) transformadores de tração montados sobre componente rolante;
- h) transformadores para área classificada;
- i) transformadores de solda elétrica e forno a arco;
- j) transformadores reguladores de tensão;
- k) transformadores de pequenas potências onde a segurança é um requisito especial;
- l) transformadores para conversores;
- m) transformadores de aterramento.

NOTA Enquanto não vigorarem Normas Brasileiras aplicáveis especificamente aos transformadores listados ou a outros transformadores especiais, esta Norma pode ser aplicada no que couber.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 5356-1:2007, *Transformadores de potência – Parte 1: Generalidades*

ABNT NBR 5356-2:2007, *Transformadores de potência – Parte 2: Aquecimento*

ABNT NBR 5356-3:2007, *Transformadores de potência – Parte 3: Níveis de isolamento, ensaios dielétricos e espaçamentos externos em ar*

ABNT NBR 5356-5, *Transformadores de potência – Parte 5: Capacidade de resistir a curtos-circuitos*

ABNT NBR 5458, *Transformadores de potência – Terminologia*

ABNT NBR 7277, *Transformadores e reatores – Determinação do nível de ruído*

ABNT NBR IEC 60529, *Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (código IP)*

ABNT NBR IEC 61000-4-2, *Compatibilidade eletromagnética (EMC) – Parte 4-2: Ensaios e técnicas de medição – Ensaio de imunidade de descarga eletrostática*

IEC 60618, *Inductive voltage dividers*

IEC 60076-12:2008, *Power transformers – Part 12: Loading guide for dry-type power transformers*

IEC 60270, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

IEC 61378-1, *Converter transformers – Part 1: Transformers for industrial applications*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições das ABNT NBR 5356-1 e ABNT NBR 5458, e os seguintes.

3.1

transformador do tipo seco

transformador cuja parte ativa não é imersa em líquido isolante

3.2

transformador com invólucro totalmente fechado

transformador instalado em um invólucro protetor não pressurizado, refrigerado pela circulação do ar interno

3.3

transformador com invólucro

transformador construído de forma que o ar ambiente possa circular resfriando o núcleo e os enrolamentos diretamente. É prevista proteção contra toque acidental

3.4

transformador sem invólucro

transformador no qual o núcleo e os enrolamentos são resfriados pelo ar ambiente. Nenhuma proteção contra toque acidental é prevista

4 Condições de serviço

4.1 Condições normais de serviço

4.1.1 Condições gerais

As condições normais de serviço estão definidas em 4.1.2 a 4.1.6. Para condições de serviço especiais, ver 11.2 a 11.3.

4.1.2 Altitude

A altitude em relação ao nível do mar não pode exceder a 1 000 m.

4.1.3 Temperatura do ar de resfriamento

A temperatura de resfriamento do ar não pode exceder:

- 40 °C (máxima);
- 30 °C (média máxima em qualquer período de 24 h);
- 20 °C (média máxima anual).

Também não pode ser menor que:

- - 25 °C (para transformadores de uso externo);
- - 5 °C (para transformadores de uso interno).

4.1.4 Forma de onda de tensão de alimentação

Tensão de alimentação com forma de onda senoidal com distorção máxima de 5 % do conteúdo harmônico total, e com conteúdo de harmônicas pares inferior a 1 %, conforme a ABNT NBR IEC 61000-4-2.

Este requisito normalmente não é crítico em sistemas de potência, mas deve ser considerado em instalações com cargas especiais (por exemplo, conversores, compensadores estáticos etc). Correntes harmônicas aumentam as perdas em carga e a temperatura dos enrolamentos, conforme a IEC 61378-1.

4.1.5 Simetria para tensão de alimentação de sistemas polifásicos

A tensão que alimenta um transformador trifásico deve ser simétrica entre as fases.

4.1.6 Umidade

A umidade relativa do ar ambiente deve ser inferior a 93 %. Não pode ocorrer condensação de umidade na superfície das bobinas.

4.2 Compatibilidade eletromagnética

Transformadores são considerados elementos passivos no que diz respeito a emissões eletromagnéticas e imunes a distúrbios eletromagnéticos.

4.3 Condições de serviços especiais

Quaisquer condições especiais de funcionamento que conduzam a considerações especiais no projeto de um transformador devem ser mencionadas na especificação técnica e pedido de compra. Estas podem ser:

- a) temperatura do ar de resfriamento fora dos limites estabelecidos em 4.1.3;
- b) restrição de ventilação;

- c) altitude de operação acima do limite estabelecido em 4.1.2;
- d) fumaça ou gases nocivos;
- e) vapor;
- f) poluição excessiva e abrasiva;
- g) corrente de carga com elevado conteúdo harmônico;
- h) distorção na tensão de alimentação;
- i) transientes de sobretensão acima dos limites estabelecidos em 12.1 e na Seção 21;
- j) associação de correção de potência reativa e sistema de chaveamento de capacitores para limitar a corrente inicial de magnetização;
- k) sobreposição de componente de corrente contínua;
- l) qualificação sísmica;
- m) condições extremas de impacto mecânico e de vibração;
- n) condições de transporte e armazenagem não previstas nas condições estabelecidas em 4.4.

Transformadores especificados para operar em condições especiais devem ser objeto de acordo entre fabricante e comprador.

Em 11.2 e 11.3 são definidos requisitos adicionais para projeto e ensaio de transformadores que devem operar em ambiente com temperatura fora dos limites estabelecidos em 4.1.3 e para operação em altitudes acima de 1 000 m.

4.4 Condições de transporte e armazenagem

Os transformadores devem ser adequados para o transporte e armazenagem em temperatura ambiente até – 25 °C.

As condições de transporte devem ser verificadas sempre que necessário, levando em consideração os níveis de impacto, vibração e inclinação.

5 Derivações (taps)

As derivações devem ser duas vezes $\pm 2,5\%$, do valor da tensão nominal ou degraus de 600 V para classe 15 kV, 1 100 V para classe 24,2 kV e 1 500 V para classe 36,2 kV.

São permitidas derivações em adição e/ou substituição às descritas anteriormente. Recomenda-se o máximo de cinco derivações.

A derivação principal deve corresponder à de tensão mais elevada ou à declarada pelo comprador.

6 Grupo de ligação e identificação dos terminais

O grupo de ligação recomendado é Dyn1 conforme a ABNT NBR 5356-1.

A conexão do neutro deve ser dimensionada para suportar a corrente nominal de uma fase.

Outros grupos de ligação podem ser especificados pelo comprador.

A identificação dos terminais deve ser conforme a ABNT NBR 5356-1:2007, Seção 7.

A marcação dos terminais e do painel de derivações deve ser feita de forma indelével.

O terminal de neutro pode estar posicionado diferentemente do estabelecido na ABNT NBR 5356-1:2007, Seção 7.

7 Capacidade de suportar curto-círcuito (ensaio especial)

O transformador deve atender aos requisitos da ABNT NBR 5356-5.

8 Características nominais

8.1 Condições gerais

O fabricante deve garantir as características constantes da placa, assegurando que o transformador possa fornecer a corrente nominal sob condições de carga constante, sem exceder os limites de elevação de temperatura conforme a Seção 11, admitindo-se a tensão e frequência aplicada igual à nominal.

8.2 Potência nominal

O transformador deve ter uma potência nominal definida, que deve constar na placa de identificação.

Este será o valor de referência para garantir valores de perdas, limite de temperatura e impedância de curto-círcuito. O transformador deve ser adequadamente avaliado quando instalado em invólucro.

NOTA Transformadores de dois enrolamentos tem apenas um valor de potência, igual para os dois enrolamentos. Quando alimentado com tensão nominal, no enrolamento primário e, fluir a corrente nominal nos enrolamentos, a potência que está passando corresponde a nominal para os dois enrolamentos.

A potência nominal corresponde à potência em regime contínuo. Transformadores do tipo seco fabricados em conformidade com esta Norma podem operar em regime de sobrecarga, conforme a IEC 60076-12.

8.3 Potências padronizadas

As potências expressas em quilovolt ampère, devem ser preferencialmente de: 45 kVA; 75 kVA; 112,5 kVA; 150 kVA; 225 kVA; 300 kVA; 500 kVA; 750 kVA; 1 000 kVA; 1 250 kVA; 1 500 kVA; 2 000 kVA; 2 500 kVA; 3 000 kVA; 4 000 kVA; 5 000 kVA; 7 500 kVA; 10 000 kVA; 12 000 kVA; 15 000 kVA e 20 000 kVA.

8.4 Operação com tensão superior a especificada

O transformador deve ser capaz de operar sem danos sob uma condição de sobrefluxo onde a relação tensão/frequência não excede em 5 % a relação tensão/frequência especificada.

NOTA A condição de trabalho fora da tensão nominal não é recomendada. O consequente aumento de perdas no núcleo (ferro) pode ter efeitos adversos e esta condição de trabalho é reservada a condições atípicas e/ou emergenciais.

8.5 Operação com ventilação forçada

Quando uma ventilação adicional por meio de ventiladores for prevista, a potência nominal com e sem a ventilação forçada deve ser objeto de acordo entre fabricante e comprador.

A placa de características deve indicar as duas potências, com ventilação e sem ventilação adicional.

8.6 Operação em invólucro

Para operação em invólucro não fornecido pelo fabricante ou que será fornecido posteriormente pelo fabricante do transformador, a máxima temperatura em regime de trabalho deve ser avaliada conforme a IEC 60076-12.

9 Placa de identificação

9.1 Placa de identificação afixada no transformador

Cada transformador deve ser provido de uma placa de identificação fabricada em material de resistência adequado ao meio, afixada em local de fácil visibilidade, contendo as informações listadas a seguir, que devem ser gravadas na placa de forma indelével:

- a) transformador do tipo seco;
- b) número desta Norma;
- c) nome do fabricante ou fornecedor responsável;
- d) número de série do produto;
- e) ano de fabricação;
- f) classe de temperatura dos enrolamentos onde:
 - a primeira letra se refere ao enrolamento de alta-tensão;
 - a segunda letra se refere ao enrolamento de baixa tensão;
 - se houver mais enrolamentos, as letras devem ser ordenadas na sequência dos enrolamentos (da maior para a menor tensão);
- g) número de fases;
- h) potência nominal para cada tipo de refrigeração;

- i) frequência nominal;
- j) tensão nominal, incluindo tensão das derivações;
- k) corrente nominal para cada tipo de refrigeração;
- l) diagrama de ligação contendo todas as tensões nominais e de derivações, e respectivas correntes;
- m) impedância de curto-círcuito na corrente nominal na temperatura de referência;
- n) tipo de refrigeração;
- o) massa total;
- p) níveis de isolamento;
- q) grau de proteção.

Devem constar da placa de identificação a classe de isolamento, tensão suportável (tensão aplicada) e nível de impulso, para todos os enrolamentos conforme definido na Seção 12.

NOTA A classe de resistência ao fogo, classe climática e classe ambiental constarão da placa se o fabricante comprovar a realização dos ensaios conforme Tabela A.1.

9.2 Placa de identificação no invólucro do transformador

Cada invólucro de transformador deve ser provido de uma placa com as informações definidas em 9.1, devendo ser instalada em local visível.

10 Identificação do método de resfriamento

10.1 Identificação dos símbolos

Os transformadores devem ser identificados de acordo com o método de resfriamento empregado. Símbolos literais correspondentes a cada método de resfriamento são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Símbolos literais

Tipo do meio de resfriamento	Símbolo
Ar	A
Água	W
Natural	N
Forçado	F

10.2 Ordem dos símbolos

A ordem na qual os símbolos devem ser utilizados é indicada na Tabela 2. Os grupos de símbolos correspondentes a diferentes métodos de resfriamento devem ser separados por meio de traço inclinado.

Transformadores sem invólucros protetores ou dentro de invólucro, por meio do qual o ar de resfriamento pode circular, são designados por dois símbolos somente, para meio de resfriamento (ar) em contato com os enrolamentos ou com a superfície de revestimento do enrolamento (enrolamentos revestidos com material isolante, por exemplo, resina epóxi).

Todos os demais transformadores devem ser designados por quatro símbolos para cada método de resfriamento que corresponda a uma característica nominal do transformador.

Tabela 2 – Ordem dos símbolos

1 ^a letra	2 ^a letra	3 ^a letra	4 ^a letra
Indicativas do meio de resfriamento em contato com os enrolamentos		Indicativas do meio de resfriamento em contato com o sistema de resfriamento externo	
Tipo do meio de resfriamento	Tipo da circulação	Tipo do meio de resfriamento	Tipo da circulação

Por exemplo, o método de resfriamento de um transformador sem invólucro protetor ou com invólucro que possibilite a circulação do ar de resfriamento e com resfriamento natural a ar é designado AN. Se tiver sistema de ventilação forçada, a designação é ANAF.

Para um transformador com invólucro protetor por meio do qual o ar de resfriamento não possa circular e com resfriamento natural a ar, interna e externamente ao invólucro, a designação é ANAN.

11 Limites de elevação de temperatura

11.1 Limites normais de elevação de temperatura

A elevação da temperatura de cada enrolamento do transformador, projetado para operação em condições normais de serviço, não pode exceder o limite especificado na Tabela 3, quando ensaiado em conformidade com a Seção 23.

A temperatura máxima encontrada em qualquer parte do sistema de isolamento do enrolamento é chamada de temperatura do ponto quente (hot-spot). A temperatura do ponto quente (hot-spot) não pode exceder o valor nominal da Tabela 3. Esta temperatura pode ser medida, ou para fins práticos, um valor aproximado pode ser calculado usando os critérios de 5.6 e subsequentes da IEC 60076-12:2008.

Materiais isolantes podem ser utilizados separadamente ou em combinação, desde que, em qualquer aplicação, cada sistema isolante não venha a ser continuamente submetido a uma temperatura superior àquela para o qual é adequado, conforme temperatura máxima do sistema isolante da Tabela 3, quando em funcionamento sob condições normais.

A temperatura do circuito magnético (núcleo), das partes metálicas e dos materiais adjacentes não podem atingir um valor que possa causar danos a outras partes do transformador.

Tabela 3 – Limites de elevação de temperatura dos enrolamentos

Temperatura máxima do sistema isolante °C	Máxima temperatura do enrolamento °C	Elevação de temperatura média do enrolamento K °C	Temperatura de referência °C
105 (A)	95	60	80
120 (E)	110	75	95
130 (B)	120	80	100
155 (F)	145	100	120
180 (H)	170	125	145
200	190	135	155
220	210	150	175

NOTA 1 Recomenda-se que as medições sejam realizadas de acordo com a Seção 23.
 NOTA 2 Os valores da segunda coluna correspondem a Tabela 1 da IEC 60076-12:2008.
 NOTA 3 Os valores da terceira coluna correspondem a elevação da temperatura medida em °C.

11.2 Redução de temperatura para transformadores projetados para temperatura do ar de refrigeração mais elevado ou condições especiais de refrigeração por ar

Quando o transformador for projetado para operar com uma temperatura do ar de refrigeração superior a um dos valores máximos especificados em 4.1.3, os limites de elevação de temperatura devem ser reduzidos na mesma proporção. Os valores devem ser arredondados para o número inteiro mais próximo de K.

Todas as condições do local de instalação, as quais podem impor restrições à refrigeração por ar natural ou produzir altas temperaturas do ar do ambiente, devem ser especificadas pelo comprador.

11.3 Correção de aquecimento esperado em altas altitudes

Salvo acordado em contrário entre o fabricante e comprador, para transformadores concebidos para o funcionamento a uma altitude superior a 1 000 m, mas ensaiados em altitudes inferiores, os limites de elevação de temperatura apresentados na Tabela 3 devem ser reduzidos dos seguintes valores para cada 500 m que a altitude de serviço exceder os 1 000 m:

- a) transformadores com refrigeração de ar natural 2,5 %;
- b) transformadores com refrigeração a ar forçada 5 %.

Uma correção inversa correspondente pode ser aplicada nos casos em que a altitude da sala de ensaio for superior a 1 000 m, e a altitude da instalação for inferior a 1 000 m.

Qualquer correção de altitude deve ser arredondada para o número inteiro de K mais próximo.

12 Níveis de isolamento

12.1 Condições gerais

Conforme definido na Seção 1, os níveis de isolamento da Tabela 4 devem ser aplicados.

Tabela 4 – Níveis de isolamento

Tensão máxima para o equipamento U_m kV r.m.s	Tensão suportável nominal durante 1 min kV r.m.s	Tensão de impulso atmosférico kV (valor de crista)	
		Classe – 1	Classe – 2
≤ 1,1	3	—	—
3,6	10	20	40
7,2	20	40	60
12,0	28	60	75
15	34	95	110
24,2	50	125	150
36,2	70	150	170

NOTA 1 Valores da classe – 1 são valores padronizados recomendados.

NOTA 2 Valores da classe – 2 podem ser especificados quando houver exposição às sobretensões ou quando uma margem de segurança maior for requerida.

NOTA 3 Para classes de isolamento diferentes das contempladas nesta tabela, valores da ABNT NBR 5356-3:2007, Tabelas 2 e 3, podem ser especificados, mediante acordo entre fabricante e comprador.

NOTA 4 Sob condições especiais, enrolamentos com derivação podem ter especificadas derivações com tensão superior ao valor normalizado U_m , limitado a 5 %, se esta não for a derivação da tensão nominal, (a derivação principal é ≤ a U_m).

12.2 Transformadores para uso em altitudes acima de 1 000 m

Quando os transformadores forem especificados para operar em altitudes entre 1 000 m e 3 000 m acima do nível do mar, mas ensaiados em altitude normal (abaixo de 1 000 m), a tensão suportável nominal de curta duração na frequência industrial deve ser aumentada em 1 % para cada 100 m acima de 1 000 m. Acima de 3 000 m, o nível de isolamento deve ser acordado entre fabricante e comprador.

13 Classes climática, ambiental e de comportamento ao fogo

As classes climática, ambiental e de comportamento ao fogo são especificadas no Anexo A.

14 Requisitos gerais para ensaios

Transformadores novos devem ser ensaiados conforme a seguir:

- ensaios de rotina: Seções 15 a 20 e 22;
- ensaios de tipo: Seções 21 e 23;
- ensaios especiais: Seções 22, 24 e 25.

Transformadores que já estiveram em serviço podem ser ensaiados de acordo com esta Norma, porém é recomendado reduzir os níveis de ensaio dielétrico para 80 %, pois os níveis dielétricos de transformadores novos não são garantidos.

Os ensaios previstos nas Seções 19, 20 e 21 devem ser feitos com o transformador na temperatura ambiente do laboratório.

Os ensaios devem ser realizados com o transformador completamente montado, incluindo os acessórios fornecidos com o equipamento.

Enrolamentos com derivações devem ser conectados em sua derivação principal, salvo acordo prévio em contrário entre o fabricante e comprador.

A base dos ensaios para todas as características é a condição nominal, salvo se condições diferentes tenham sido acordadas.

15 Medição da resistência dos enrolamentos (ensaio de rotina)

O ensaio deve ser executado conforme descrito na ABNT NBR 5356-1:2007, 11.2; 11.2.1 e 11.2.2, no que for aplicável a transformadores do tipo seco.

16 Medição da relação de transformação e deslocamento angular (ensaio de rotina)

O ensaio deve ser executado conforme descrito na ABNT NBR 5356-1:2007, 11.3, no que for aplicável para transformadores do tipo seco.

17 Medição da impedância de curto-círcuito e perdas em carga (ensaio de rotina)

O ensaio deve ser executado conforme descrito na ABNT NBR 5356-1:2007, 11.4, no que for aplicável para transformadores do tipo seco.

A temperatura de referência da impedância de curto-círcuito e perdas em carga devem ser conforme a Tabela 3, coluna 4 correspondente à classe de temperatura dos enrolamentos.

Quando o transformador possuir enrolamentos com diferentes classes de temperatura, deve-se utilizar a maior classe de temperatura como referência.

18 Medição de perdas a vazio e corrente de excitação (ensaio de rotina)

O ensaio deve ser executado conforme descrito na ABNT NBR 5356-1:2007, 11.5, no que for aplicável para transformadores do tipo seco.

19 Ensaio de tensão suportável à frequência industrial, ou tensão aplicada (ensaio de rotina)

O ensaio deve ser executado conforme descrito na ABNT NBR 5356-3:2007, Seção 11.

O valor da tensão deve estar de acordo com o estabelecido na Tabela 4 para a classe de isolamento especificada.

20 Ensaio de tensão induzida (ensaio de rotina)

O ensaio deve ser executado conforme descrito na ABNT NBR 5356-3:2007, Seção 12 e 12.1; 12.2 e 12.3, no que for aplicável.

A tensão de ensaio deve ser igual ao dobro da tensão nominal.

A duração do ensaio com tensão plena deve ter duração de 60 s para qualquer frequência de ensaio até o dobro da frequência nominal. Quando a frequência de ensaio excede em duas vezes a frequência nominal, a duração do ensaio deve ser conforme a seguir:

$$120 \times \frac{\text{Frequência nominal}}{\text{Frequência de ensaio}} \text{ s, mas não menos de 15 s.}$$

21 Ensaio de impulso atmosférico (ensaio de tipo)

Os procedimentos de ensaio de impulso atmosférico devem ser conforme a ABNT NBR 5356-3:2007, Seção 13.

A tensão de ensaio deve estar de acordo com a Tabela 4, conforme o nível de isolamento especificado para o transformador, salvo acordo diferente entre fabricante e comprador.

A forma de onda de impulso de ensaio deve ser de $1,2 \mu\text{s} \pm 30\% / 50 \mu\text{s} \pm 20\%$.

A tensão de ensaio deve ser de polaridade negativa. A sequência de ensaio por terminal de linha deve ser um impulso de calibração com uma tensão entre 50 % e 75 % da tensão plena seguido de três impulsos de tensão plena.

NOTA Em transformadores do tipo seco, o ensaio de impulso atmosférico pode dar origem a descargas capacitivas no ar que não representam um perigo para o isolamento. Estas descargas causam alterações na forma de onda de corrente, neste caso, convém que os ensaios de tensão suportável e o de tensão induzida sejam repetidos. Levando em conta esta recomendação, pequenos desvios na forma de onda de corrente não são motivos para a rejeição.

22 Ensaio de descargas parciais (ensaio de rotina e especial)

22.1 Condições gerais

O ensaio de descargas parciais deve ser realizado em todos os transformadores do tipo seco.

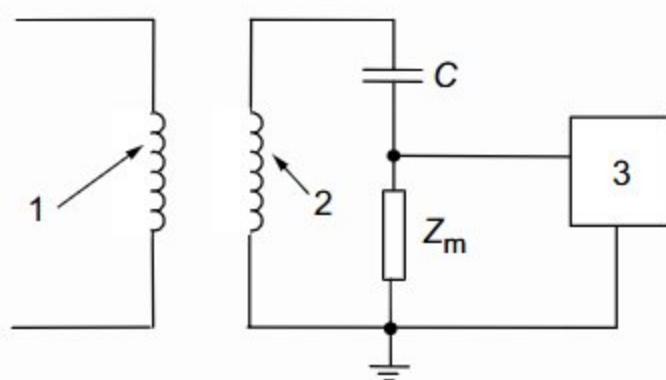
A medição deve ser feita de acordo com o descrito nas IEC 60270 e ABNT NBR 5356-3:2007, Anexo A, no que couber a transformadores do tipo seco.

O ensaio de descargas parciais deve ser realizado nos transformadores com enrolamentos de $U_m \geq 3,6 \text{ kV}$.

22.2 Circuito básico de medição

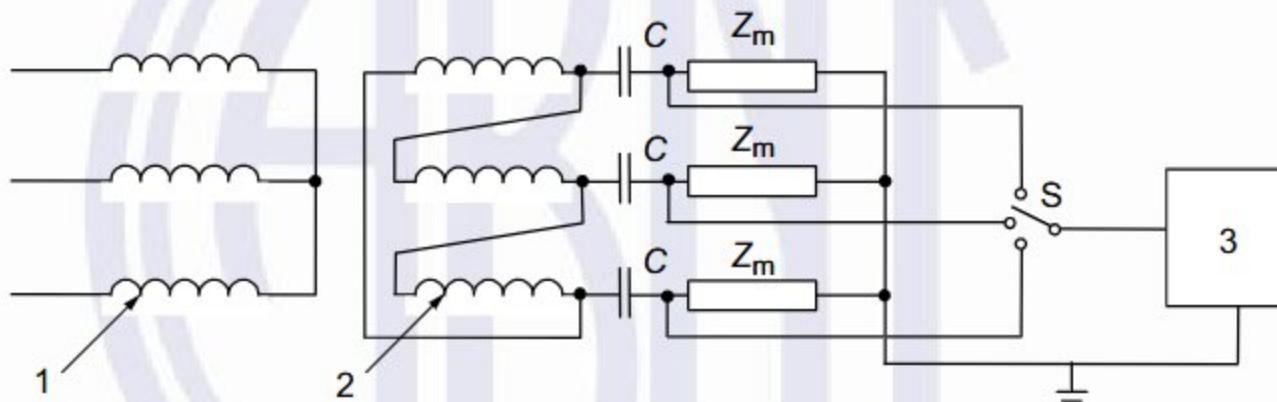
Um circuito básico de medição para o ensaio de descargas parciais é mostrado nas Figuras 1 e 2.

Nas Figuras 1 e 2, um capacitor de alta-tensão, livre de descargas parciais “c”, com uma tensão nominal adequada (tendo um valor de capacidade grande em comparação com a capacidade do gerador de calibração C_0) em série com uma impedância de detecção Z_m , está ligado a cada um dos terminais dos enrolamentos de alta-tensão.

**Legenda**

- 1 enrolamento de baixa tensão
- 2 enrolamento de alta-tensão
- 3 dispositivo de medição

Figura 1 – Circuito básico de medição para ensaio de descargas parciais de um transformador monofásico

**Legenda**

- 1 enrolamento de baixa tensão
- 2 enrolamento de alta-tensão, conexão em delta ou estrela
- 3 dispositivo de medição
- S interruptor

Figura 2 – Circuito básico de medição para ensaio de descargas parciais de um transformador trifásico

22.3 Calibração do circuito de medição

A atenuação dos impulsos de descargas ocorre tanto no interior dos enrolamentos como no circuito de medição. A calibração é realizada conforme descrito na ABNT NBR 5356-3:2007, Anexo A, injetando pulsos de descargas simulados nos terminais dos enrolamentos de alta-tensão do transformador a partir de um calibrador de descarga padrão. É conveniente que o gerador de calibração tenha uma frequência de repetição da ordem de um impulso por cada meio ciclo da frequência industrial usada para o ensaio no transformador.

22.4 Aplicação de tensão

O ensaio de descargas parciais deve ser realizado após a conclusão de todos os ensaios dielétricos. O enrolamento de baixa tensão deve ser alimentado por uma fonte trifásica ou monofásica, dependendo se o transformador for trifásico ou monofásico. A tensão deve ter uma forma de onda o

mais próximo possível de uma forma senoidal, e ter uma frequência convenientemente aumentada acima da nominal para evitar a corrente de excitação excessiva durante o ensaio. O procedimento deve ser como descrito em 22.4.1 ou 22.4.2.

22.4.1 Transformadores trifásicos

22.4.1.1 Ensaio de rotina

Este ensaio deve ser realizado em todos os transformadores do tipo seco.

a tensão de pré-estresse fase-fase de $1,8 U_r$ deve ser induzida por 30 s, em que U_r é a tensão nominal. Em seguida, sem interrupção, uma tensão fase-fase de $1,3 U_r$ deve ser mantida por 3 min e durante este tempo, as descargas parciais devem ser medidas (ver Figura 3).

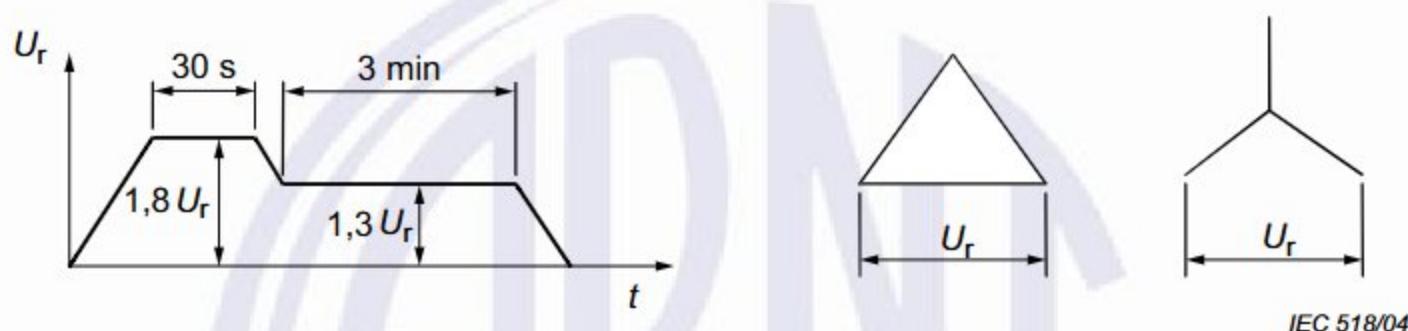


Figura 3 – Aplicação de tensão para o ensaio de rotina para medição de descargas parciais

22.4.1.2 Procedimento de ensaio adicional (ensaio especial)

Este ensaio aplica-se a transformadores conectados a sistemas isolados ou ligados à terra por meio de uma impedância de alto valor e que pode continuar a operar durante uma falha monofásica fase-terra. O ensaio deve ser realizado quando especificado pelo comprador.

Uma tensão fase-fase de $1,3 U_r$ deve ser induzida por 30 s, com um terminal de linha aterrado. Em seguida, sem interrupção, uma tensão fase-fase U_r deve ser induzida por 3 min e durante este tempo, as descargas parciais devem ser medidas (ver Figura 4).

Este ensaio deve ser repetido com outro terminal da linha aterrado.

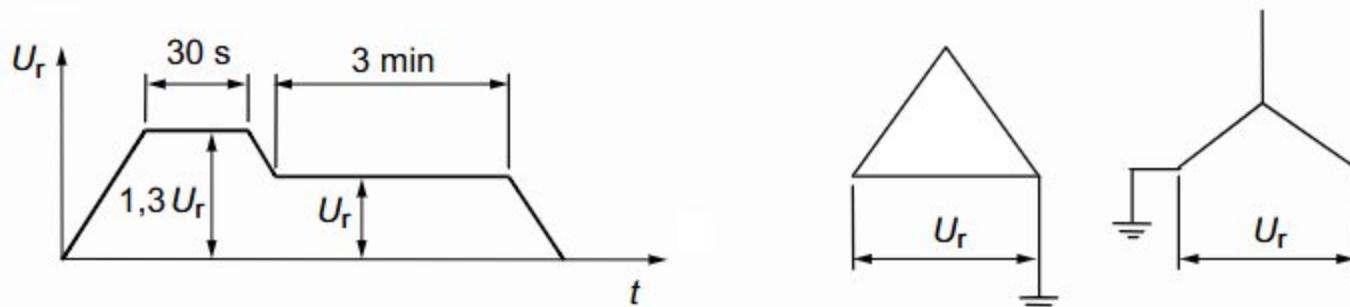


Figura 4 – Aplicação de tensão para o ensaio especial de medição de descargas parciais

22.4.2 Transformadores monofásicos

Para transformadores monofásicos, U_r deve ser a tensão fase-fase ou fase-neutro, conforme o caso. O procedimento de aplicação da tensão deve ser o do transformador trifásico.

Os transformadores trifásicos compostos por três transformadores monofásicos (banco de transformadores) devem ser ensaiados como transformadores trifásicos.

22.5 Nível de aceitação de descargas parciais

O nível máximo de descargas parciais deve ser de 10 pC.

NOTA Recomenda-se que considerações especiais sejam dadas aos transformadores equipados com acessórios, como por exemplo, para-raios ou outros equipamentos que possam apresentar valores de descargas acima de 10 pC. O procedimento de ensaio ou o nível máximo de descargas pode ser objeto de acordo prévio entre fabricante e comprador.

23 Ensaio de elevação de temperatura (ensaio de tipo)

23.1 Condições gerais

Aplicam-se na condução do ensaio de elevação de temperatura a ABNT NBR 5356-2:2007, em 5.1; 5.4 e 5.5. Para casos especiais, mediante acordo entre fabricante e comprador, outras partes desta Norma podem ser aplicadas aos transformadores do tipo seco.

23.2 Métodos de carga para o ensaio de elevação de temperatura

O fabricante pode escolher qualquer um dos métodos para o ensaio citados em 23.2.1, 23.2.2 ou 23.2.3.

23.2.1 Método de carga simulada

Este método é aplicável a uma unidade do tipo seco, com ou sem invólucro, ou com um invólucro totalmente fechado, com ventilação de ar natural ou ventilação de ar forçada.

A elevação da temperatura é obtida pela combinação de dois ensaios independentes. Um com a aplicação das perdas em carga e outro com a aplicação das perdas em vazio.

A temperatura do transformador deve ser estabilizada em relação à temperatura do ambiente do laboratório de ensaio (ver 23.4).

A resistência dos enrolamentos de alta-tensão e baixa tensão deve ser medida à temperatura ambiente. Estes valores são utilizados como valores de referência para o cálculo da elevação da temperatura. A temperatura ambiente do laboratório de ensaio também deve ser medida e registrada.

Para transformadores trifásicos, as medições das resistências devem ser realizadas entre os terminais da fase central e os terminais de uma fase externa.

A localização dos pontos de medição das temperaturas (os termômetros da temperatura do ambiente e os sensores no transformador) deve ser a mesma para as medições iniciais (valores de referência) e as medições finais do ensaio.

O ensaio em carga deve ser realizado com um dos enrolamentos curto-circuitados e com corrente nominal circulando nos enrolamentos. A manutenção da carga deve continuar até que a condição de estabilização da temperatura dos enrolamentos e do núcleo magnético sejam atingidas (ver 23.4).

A elevação de temperatura dos enrolamentos $\Delta\theta_C$ é estabelecida pelo método de variação da resistência ou por superposição.

O ensaio a vazio, na tensão e frequência nominal, deve continuar até que a condição de estabilização da temperatura do núcleo magnético seja atingida. A elevação de temperatura dos enrolamentos $\Delta\theta_E$ é estabelecida pelo método de variação da resistência.

O procedimento de ensaio deve ser:

- ensaio do enrolamento curto-circuitado (ensaio em carga) que é realizado até a estabilização da temperatura do núcleo e do enrolamento. Na sequência, o ensaio sem carga (a vazio) dever ser realizado até que a estabilização de temperatura do núcleo e do enrolamento seja alcançada; ou
- ensaio sem carga (a vazio) que é realizado até a estabilização da temperatura do núcleo e do enrolamento. Na sequência, o ensaio com o enrolamento curto-circuitado (ensaio em carga) deve ser realizado até que a estabilização da temperatura do núcleo e do enrolamento seja alcançada.

A elevação total da temperatura de cada um dos enrolamentos $\Delta\theta'_c$, com corrente nominal no enrolamento e excitação nominal do núcleo, é calculada pela equação:

$$\Delta\theta'_c = \Delta\theta_c \left[1 + \left(\frac{\Delta\theta_e}{\Delta\theta_c} \right)^{1/k_1} \right]^{k_1}$$

onde

$\Delta\theta'_c$ é a elevação total da temperatura do enrolamento;

$\Delta\theta_c$ é o aumento individual da temperatura do enrolamento curto-circuitado;

$\Delta\theta_e$ é o aumento individual da temperatura do enrolamento no ensaio a vazio;

$K_1 = 0,8$ para a ventilação com ar natural e $0,9$ para a ventilação com ar forçado.

23.2.2 Método de oposição

Este método pode ser utilizado quando houver dois transformadores similares e o equipamento de ensaio necessário estiver disponível. É aplicável a transformadores do tipo seco com ou sem invólucro com ventilação de ar natural ou ventilação com ar forçada.

A temperatura do transformador deve ser estabilizada em relação à temperatura ambiente do laboratório de ensaio. As resistências dos enrolamentos de alta-tensão e de baixa tensão devem ser medidas antes do ensaio, pois são utilizadas como valores de referência para o cálculo do aumento de temperatura dos dois enrolamentos. A temperatura ambiente do laboratório de ensaio também deve ser medida e registrada.

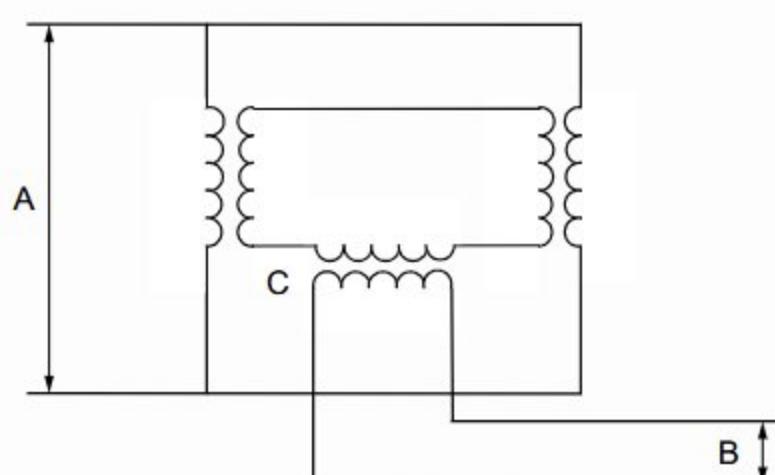
A localização dos pontos de medição deve ser a mesma para as medições de referência inicial e final.

Para transformadores trifásicos, as medições da resistência devem ser feitas entre os terminais da fase central e os terminais da fase externa.

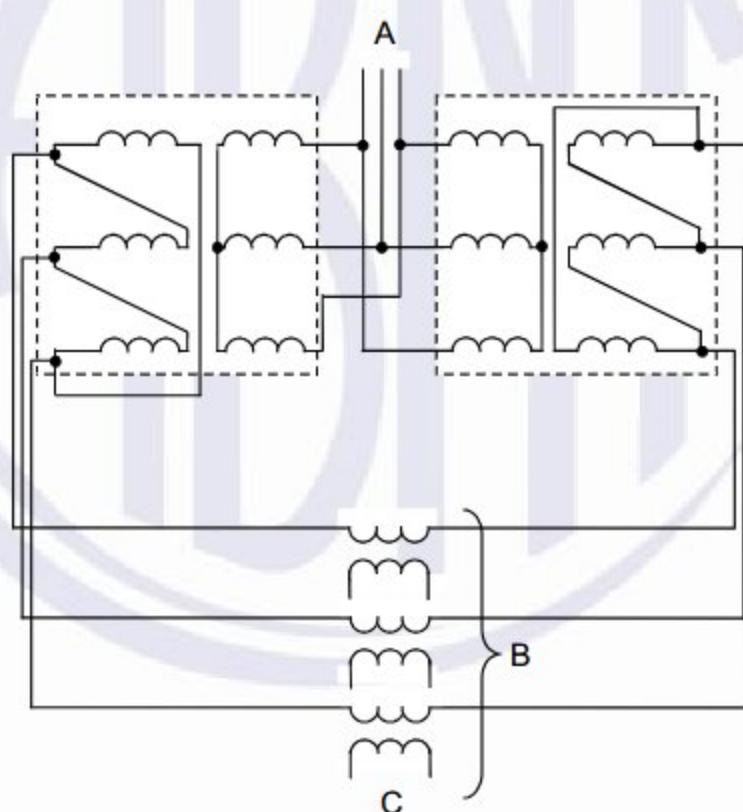
Em um transformador trifásico, a medição deve ser realizada preferencialmente nas bobinas do meio, no caso dos enrolamentos ligados em estrela.

Dois transformadores, um dos quais é o transformador em ensaio, estão ligados em paralelo e são energizados com a tensão nominal do transformador em ensaio. Usando diferentes proporções de tensão ou de uma tensão injetada, a corrente nominal é injetada no transformador em ensaio que deve ser mantida até a estabilização da temperatura do núcleo e dos enrolamentos. As Figuras 5 e 6 mostram os circuitos típicos para este método de ensaio.

NOTA A duração do ensaio pode ser reduzida pela excitação do núcleo durante um período de tempo (de preferência, não inferior a 12 h) antes da aplicação de ensaio da corrente nos enrolamentos.

**Legenda**

- A fonte de tensão na frequência nominal para as perdas a vazio
- B fonte de corrente nominal na frequência nominal para as perdas em carga
- C transformador auxiliar

Figura 5 – Exemplo do método de oposição – Transformador monofásico**Legenda**

- A fonte de tensão na frequência nominal para as perdas em vazio
- B fonte de corrente nominal na frequência nominal para as perdas em carga
- C transformador auxiliar

Figura 6 – Exemplo do método de oposição – Transformador trifásico**23.2.3 Método de carregamento direto**

Um enrolamento, de preferência o enrolamento central do transformador, é excitado com a tensão nominal com o outro enrolamento ligado a uma carga adequada de modo que as correntes nominais circulem em ambos os enrolamentos.

NOTA A duração do ensaio pode ser reduzida por excitação do núcleo durante um período de tempo (de preferência, não inferior a 12 h) antes da aplicação da corrente nos enrolamentos.

23.3 Correção da temperatura dos enrolamentos ensaiados com corrente reduzida

Quando a corrente de ensaio I_t for inferior ao valor da corrente nominal I_N , mas pelo menos igual a 90 % de I_N , o aumento de temperatura $\Delta\theta_t$ dos enrolamentos deve ser medido pelo método da variação de resistência, quando as condições de estabilização de temperatura dos enrolamentos e do núcleo magnético forem atingidas, e corrigidos para as condições de carga nominal $\Delta\theta_N$ pela equação:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

onde

$\Delta\theta_N$ é o aquecimento do enrolamento em condição de carga nominal;

$\Delta\theta_t$ é o aquecimento do enrolamento com a corrente do ensaio;

I_N é o valor da corrente nominal;

I_t é o valor da corrente do ensaio;

$q = 1,6$ para ventilação com ar natural e $1,8$ para ventilação com ar forçado.

23.4 Determinação das condições do equilíbrio térmico

O aumento de temperatura final é alcançado quando o aumento de temperatura torna-se constante, considerando-se que isto é alcançado quando o aumento de temperatura não varia em mais de 2 K/h.

Para determinar se as condições de equilíbrio térmico foram atingidas, nos transformadores definidos na Seção 3, termopares ou termômetros devem ser colocados no centro da parte superior do núcleo e tão perto quanto possível dos condutores mais internos do enrolamento de baixa tensão na parte superior da bobina, a medição sendo feita na coluna central de uma unidade trifásica.

24 Medição do nível de ruído (ensaio especial)

Os níveis médios de ruído gerados pelos transformadores não podem exceder os limites especificados no Anexo B.

O ensaio deve ser executado conforme a ABNT NBR 7277.

NOTA A garantia do nível de ruído é dada na condição de “área livre” (sem reflexão de ondas sonoras). Um aumento aparente do nível de ruído pode ser observado em edificações, pois paredes, piso e teto podem contribuir para a reflexão das ondas sonoras.

25 Ensaio de curto-circuito (ensaio especial)

O ensaio de curto circuito deve ser conforme a ABNT NBR 5356-5.

O ensaio de medição de descargas parciais deve ser repetido após o ensaio de curto-circuito. Os valores finais não podem exceder os limites estabelecidos em 22.5.

26 Classificação ambiental

A classificação ambiental é opcional, conforme apresentado no Anexo A.

27 Classificação climática

A classificação climática é opcional, conforme apresentado no Anexo A.

28 Classificação de comportamento ao fogo

A classificação de comportamento ao fogo é opcional, conforme apresentado no Anexo A.

29 Tolerâncias

As tolerâncias dos valores de ensaio a serem consideradas são indicadas na Tabela C.1.

30 Proteção contra contato direto

Transformadores em que as características construtivas não oferecem proteção contra contato direto devem ser fornecidos com um elemento visível (placa de aviso ou marca especial) indicando o perigo, de acordo com os regulamentos nacionais. Ver Anexo D.

31 Grau de proteção provido pelo invólucro

O projeto de um invólucro (cubículo) depende da localização e das condições ambientais em que o transformador é instalado. O invólucro deve estar em conformidade com a ABNT NBR IEC 60529 e o grau de proteção deve ser especificado pelo comprador.

32 Terminais de ligação a terra

Transformadores devem ser providos com um terminal de terra para a conexão de um condutor de proteção. Todas as partes metálicas condutoras expostas, não energizadas, devem ser conectadas ao terminal de terra por construção ou de outra forma. A continuidade do aterramento deve ser garantida.

33 Informações para consulta e encomenda

Os requisitos constantes na ABNT NBR 5356-1:2007, Anexo A, podem ser aplicados, no que couber na especificação de transformadores do tipo seco, em conjunto com esta Norma.

Anexo A (informativo)

Classes climática, ambiental e de comportamento ao fogo

A.1 Classes climáticas

Duas classes climáticas são definidas, classe C1 e classe C2.

A.1.1 Classe C1

O transformador é adequado para a operação na temperatura ambiente não inferior a – 5 °C, mas pode ser exposto durante o transporte ou armazenagem a temperaturas até – 25 °C.

A.1.2 Classe C2

O transformador é adequado para a operação, transporte e armazenagem a temperaturas ambiente até – 25 °C.

Ensaios especiais de acordo com a Seção A.6 devem confirmar a conformidade das classes C1 e C2 dos transformadores.

NOTA Recomenda-se que transformadores para operação ao ar livre sejam instalados em um gabinete (invólucro) ou outro tipo de proteção.

A.2 Classes ambientais

As condições ambientais para transformadores do tipo seco são identificadas de acordo com a umidade, a condensação, a poluição e a temperatura do ambiente.

NOTA As condições ambientais são importantes, não só durante a operação, mas também durante a armazenagem, antes da instalação.

A.2.1 Classe E0

Não ocorre condensação nos transformadores e a poluição é insignificante. Isto geralmente é obtido em uma instalação abrigada (interior), limpa e seca.

A.2.2 Classe E1

Condensação ocasional pode ocorrer no transformador (por exemplo, quando o transformador é desenergizado). Poluição limitada é possível.

A.2.3 Classe E2

Condensação frequente ou poluição pesada ou a combinação de ambos.

Ensaios especiais de acordo com o procedimento da Seção A.5 devem confirmar a conformidade da Classe E1 ou E2 dos transformadores.

A.3 Classes de comportamento ao fogo

Duas classes de comportamento ao fogo são definidas.

A.3.1 Classe F0

Não há nenhum risco especial de incêndio a considerar. Exceto para as características inerentes ao projeto do transformador, não são tomadas medidas especiais para limitar a inflamabilidade. No entanto, a emissão de substâncias tóxicas e de fumaça opaca deve ser minimizada.

A.3.2 Classe F1

Transformadores sujeitos ao risco de incêndio. A inflamabilidade deve ser limitada, a emissão de substâncias tóxicas e fumaça opaca devem ser minimizadas.

Ensaios especiais de acordo com o procedimento da Seção A.7 devem confirmar a conformidade da classe F1 dos transformadores.

NOTA Medições feitas em conformidade com o procedimento descrito na Seção A.7 tendem a resultar em um desvio padrão $\leq 10\text{ K}$.

A.4 Critério de ensaio para classes climática, ambiental e de comportamento ao fogo

Quando um transformador for declarado como adequado para uma combinação de classes climáticas, ambientais e de comportamento ao fogo, os ensaios que comprovam a conformidade com as referidas classes devem ser realizados no mesmo transformador na sequência apresentada na Tabela A.1.

Os ensaios especificados nas Seções A.5, A.6 e A.7 devem ser realizados conforme especificado em um transformador representativo de um determinado tipo de projeto (concepção).

Tabela A.1 – Sequência de ensaios

Classes		Climáticas		Ambientais			De comportamento ao fogo		
Ensaio		Seção	C1	C2	E0	E1	E2	F0	F1
1	Choque térmico a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$	A.6.3	Sim	Não	–	–	–	–	–
2	Choque térmico a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$	A.6.4	Não	Sim	–	–	–	–	–
3	Ensaio de condensação	A.5.3.1	–	–	Não	Sim	Não	–	–
4	Ensaio de condensação e penetração de umidade	A.5.3.2	–	–	Não	Não	Sim	–	–
5	Ensaio de comportamento ao fogo	A.7.3	–	–	–	–	–	Não	Sim

A.5 Ensaios ambientais (ensaio especial)

A.5.1 Condições gerais

Este ensaio determina a conformidade dos transformadores para as classes ambientais definidas em A.2. Para a sequência do ensaio, ver A.4.

Se não for especificado nada em contrário, os ensaios devem ser realizados em um transformador completamente montado, equipado com os respectivos acessórios (relevantes para o ensaio).

O transformador e os seus acessórios devem ser novos e limpos, sem qualquer tratamento adicional da superfície das peças isolantes.

A.5.2 Validade do ensaio

A validade dos resultados de um ensaio ambiental realizado em um transformador pode ser estendida a outros transformadores baseados nos mesmos critérios de projeto, como:

- mesmo conceito de projeto (por exemplo, enrolamentos contidos em isolação sólida ou não, tipo de enrolamento, grau de proteção etc.);
- mesmos principais materiais isolantes.

A.5.3 Procedimento de ensaio

A.5.3.1 Transformadores classe E1

Este ensaio é um ensaio de condensação.

O transformador deve ser colocado em uma câmara de ensaio em que a temperatura e a umidade são mantidas sob controle.

O volume da câmara deve ser pelo menos cinco vezes maior do que a caixa retangular circunscrita ao transformador. As distâncias de quaisquer partes do transformador e as paredes, teto e bicos de pulverização não podem ser menores do que a menor distância fase-fase entre as partes vivas do transformador e não inferior a 150 mm.

A temperatura do ar na câmara de ensaio deve ser tal que garanta a condensação no transformador.

A umidade na câmara deve ser mantida acima de 93 %. Isto pode ser alcançado pela vaporização de forma contínua ou periodicamente com uma quantidade adequada de água.

A condutividade da água deve estar na faixa de 0,1 S/m a 0,3 S/m.

A posição dos vaporizadores mecânicos deve ser escolhida de tal modo que o transformador não seja pulverizado diretamente.

Nenhuma gota d'água deve cair do teto em cima do transformador em ensaio.

O transformador deve ser mantido no ambiente com umidade relativa do ar superior a 93 %, durante pelo menos 6 h, sem ser energizado.

Após 5 min da retirada do ambiente úmido, o transformador deve ser submetido a um ensaio de tensão induzida, como a seguir:

- transformadores a serem ligados a um sistema que está solidamente ligado à terra por meio de uma baixa impedância devem ser energizados com uma tensão de 1,1 vez a tensão nominal durante um período de 15 min;
- transformadores a serem ligados a sistemas que estão isolados ou ligados à terra por meio de uma impedância considerável devem ser submetidos a um ensaio com a tensão induzida por três períodos sucessivos de 5 min. Durante o ensaio, cada terminal de alta-tensão deve ser ligado à terra, e uma tensão de 1,1 vez da tensão nominal deve ser aplicada entre os outros terminais e a terra. O ensaio trifásico pode ser substituído por ensaios monofásicos. Neste caso, os dois terminais das fases não ligados à terra devem ser interligados.

O ensaio deve ser feito preferencialmente na câmara de ensaio.

Durante a aplicação da tensão, não pode ocorrer descarga disruptiva, e a inspeção visual não pode mostrar qualquer trilhamento com sinais visíveis de carbonização do isolante.

A.5.3.2 Transformadores classe E2

Este procedimento de ensaio inclui o ensaio de condensação e o ensaio de penetração de umidade. O ensaio de condensação é o mesmo descrito em A.5.3.1, exceto para a condutividade da água que deve estar na faixa de 0,5 S/m a 1,5 S/m.

No início do ensaio de penetração de umidade, o transformador deve estar na condição seca. Ele deve ser instalado na condição de desenergizado e mantido na câmara climática por 144 h. A temperatura da câmara climática deve ser mantida em $(50 \pm 3)^\circ\text{C}$ e a umidade relativa em $(90 \pm 5)\%$. No final deste período e em até 3 h em condições ambientais normais, o transformador deve ser submetido a um ensaio de tensão aplicada de uma fonte c.a. e ao ensaio de tensão induzida c.a. mas com valores de tensões reduzidas a 80 % dos valores normalizados.

Não pode ocorrer nenhuma descarga disruptiva ou falha do isolamento durante os ensaios dielétricos e a inspeção visual não pode mostrar qualquer trilhamento com sinais visíveis de carbonização do isolante.

A.6 Ensaio climático (ensaio especial)

A.6.1 Ensaio de choque térmico (ensaio especial)

Este ensaio vai determinar a conformidade de transformadores com as classes climáticas, assim como definida em A.1. Para a sequência do ensaio, ver A.4.

A.6.2 Validade do ensaio

A validade dos resultados de um ensaio climático realizado em um transformador pode ser estendida a outros transformadores baseados nos mesmos critérios de projeto como:

- mesmo conceito de projeto (por exemplo, enrolamentos contidos em isolamento sólida ou não, tipo de enrolamento, grau de proteção etc.);
- mesmo aumento médio da temperatura dos enrolamentos (de acordo com a Tabela 3);

- c) mesmos materiais dos condutores;
- d) mesmos principais materiais isolantes.

A.6.3 Ensaio de choque térmico de transformadores da classe C1

A.6.3.1 Método de ensaio

O ensaio deve ser realizado em um transformador completo sem gabinete.

O transformador deve ser colocado em uma câmara de ensaio.

A temperatura do ambiente na câmara deve ser medida no mínimo em três posições, situadas a 0,1 m da superfície externa e na metade da altura do objeto de ensaio. Os valores médios das leituras devem ser utilizados como referência da temperatura ambiente

NOTA Mediante acordo entre fabricante e comprador, o ensaio pode ser feito com as bobinas removidas do núcleo. Para os ensaios dielétricos finais, as bobinas têm que ser remontadas no núcleo (o transformador tem que estar completamente montado).

O procedimento de ensaio a seguir deve ser aplicado:

- a) a temperatura do ar na câmara de ensaio deve ser reduzida gradualmente para $(-25 \pm 3)^\circ\text{C}$ em 8 h e mantida nesta temperatura durante pelo menos 12 h até que a estabilização térmica seja obtida;
- b) a temperatura deve então ser gradualmente aumentada até $(-5 \pm 3)^\circ\text{C}$ em cerca de 4 h. Esta temperatura deve ser mantida durante pelo menos 12 h até que a estabilização térmica seja obtida;
- c) um choque térmico deve então ser realizado pela aplicação de uma corrente igual a duas vezes a corrente nominal no enrolamento em ensaio (contido em um isolamento sólido). A corrente deve ser mantida até que o enrolamento em ensaio atinja uma temperatura média correspondente ao aumento da temperatura média do enrolamento, de acordo com a Tabela 3, mais 40 °C (temperatura do ambiente máxima em condições normais de serviço). A temperatura média alcançada pelos enrolamentos deve ser determinada pelo método de variação da resistência. O choque térmico deve ser realizado aplicando um dos seguintes métodos:

a) ensaio com alimentação c.c.:

o choque térmico prescrito deve ser realizado aplicando uma corrente contínua do valor especificado para o enrolamento a ser ensaiado. No caso dos transformadores polifásicos, a corrente de ensaio deve ser aplicada a todas as bobinas ligadas em série. O controle da temperatura média do enrolamento durante o ensaio pode ser realizado diretamente pelo método tensão/corrente, medindo a corrente do ensaio e a queda de tensão relevante. Para ligar as bobinas em série, pode ser necessário remover as ligações dos enrolamentos;

b) ensaio com alimentação c.a.:

o choque térmico prescrito deve ser realizado aplicando uma corrente c.a. do valor especificado para o enrolamento a ser ensaiado, com o(s) outro(s) enrolamento(s) ligado(s) em curto. No caso dos transformadores trifásicos, é recomendada a aplicação de um sistema simétrico de correntes. O controle da temperatura média do enrolamento durante o ensaio deve ser feito em c.c. pela sobreposição à corrente medida para o ensaio de corrente alternada, ou de acordo com outro método equivalente;

c) ensaio com alimentação c.a., método alternativo:

uma corrente igual a duas vezes a corrente nominal deve ser aplicada aos enrolamentos do transformador com um dos enrolamentos curto-circuitado. A temperatura em cada um dos enrolamentos é monitorada por meio da leitura dos sensores de temperatura fixados perto da parte inferior e superior da superfície do enrolamento. Os sensores são calibrados por meio de um ensaio de calibração, com uma corrente igual a duas vezes a corrente nominal, realizado à temperatura ambiente normal, antes do ensaio real. Os sensores são calibrados pela comparação das leituras do sensor com o aumento da temperatura do enrolamento, calculado pela variação da resistência do mesmo. Desta forma, é determinada a correspondente leitura do sensor, que é a elevação de temperatura média do enrolamento, de acordo com a Tabela 3 acrescida de 40 °C. As mesmas leituras dos sensores devem ser obtidas durante o ensaio, que começa com a baixa temperatura do ambiente;

NOTA Recomenda-se que cuidados sejam tomados para evitar que alguns enrolamentos sejam sobrecarregados termicamente por causa do comportamento diferente de transferência de calor das partes do transformador.

d) após o choque térmico, a temperatura do transformador deve voltar a temperatura de (25 ± 10) °C.

A.6.3.2 Critérios de ensaio

Pelo menos 12 h após o fim do ensaio de choque térmico, o transformador deve ser submetido aos ensaios dielétricos de rotina (ensaio de tensão aplicada e de tensão induzida), de acordo com o nível de isolamento dos enrolamentos, mas com valores reduzidos em 80 % dos valores normalizados.

Além disso, para transformadores com enrolamentos encapsulados em isolação sólida, medição de descargas parciais deve ser realizada de acordo com a Seção 22. A tensão de ensaio não pode exceder a tensão de ensaio da tensão induzida reduzida (160 % da tensão nominal) e os valores medidos não podem exceder aqueles determinados para ensaios de rotina.

Durante a inspeção visual, os enrolamentos não podem apresentar nenhuma anormalidade visível, como rachaduras ou fissuras.

Por acordo entre o fabricante e comprador, o ensaio pode ser realizado em todas as bobinas removidas do núcleo. O ensaio dielétrico final deve ser feito após a remontagem das bobinas submetidas ao ensaio.

A.6.4 Ensaio de choque térmico para transformadores da classe c2

A.6.4.1 Método de ensaio

Os métodos de ensaio são os mesmos listados em A.6.3.1 com a seguinte modificação:

o passo "b" é suprimido, a fim de realizar o ensaio de choque térmico de -25 °C.

A.6.4.2 Critérios de ensaio

Os critérios de ensaio são os mesmos descritos em A.6.3.2.

A.7 Ensaio de comportamento ao fogo (ensaio especial)

A.7.1 Condições gerais

Para aperfeiçoar o comportamento de um transformador, é necessário minimizar a emissão de substâncias tóxicas e a fumaça opaca no caso de um incêndio. Deve ser evitado o uso de materiais halogenados. A verificação da emissão de gases corrosivos e tóxicos deve ser feita de acordo com A.7.2. Além disso, o transformador não pode contribuir significativamente para a energia térmica em caso de um incêndio externo. O comportamento ao fogo deve ser avaliado pelo procedimento de ensaio descrito em A.7.3.

A.7.2 Verificação da emissão de gases corrosivos e tóxicos

A emissão de gases corrosivos e tóxicos deve ser verificada em pequenas quantidades de materiais combustíveis presentes no transformador.

Em princípio, os ensaios devem ser capazes de detectar a presença de componentes, como cloreto de hidrogênio (HCl), cianeto de hidrogênio (HCN), brometo de hidrogênio (HBr), fluoreto de hidrogênio (HF), dióxido de enxofre (SO₂), formaldeído (HCHO).

Os detalhes dos procedimentos de ensaio e limites aceitáveis podem ser acordados entre fabricante e comprador, a menos que sejam especificados em regulamentação nacional.

A.7.3 Ensaio de comportamento ao fogo de transformadores da classe F1

A.7.3.1 Objetivo do ensaio

O ensaio deve ser realizado em uma fase completa de um transformador compreendendo as bobinas de AT e BT, a coluna do núcleo e componentes do isolamento, sem invólucro. A coluna do núcleo pode ser substituída por um material de dimensões e de comportamento térmico quase semelhante à coluna do núcleo original. A culatra não pode ser considerada e as ligações aos terminais de BT devem ser cortadas nos finais superior e inferior da bobina.

O diâmetro da bobina circular externa ou a dimensão transversal máxima para enrolamentos não circulares para serem ensaiados deve estar entre 400 mm e 500 mm de um transformador padrão.

NOTA Enrolamentos com dimensões maiores ou menores podem ser ensaiados mediante acordo entre fabricante e comprador.

A.7.3.2 Validade do ensaio

A validade dos resultados de um ensaio de comportamento ao fogo realizado em um transformador pode ser estendida a outros transformadores baseados nos mesmos critérios de projeto, como:

- mesmo conceito de projeto (por exemplo, enrolamentos encapsulados em isolação sólida ou não, tipo de enrolamento, grau de proteção etc.);
- mesmo aumento médio da temperatura para os enrolamentos (de acordo com a Tabela 3);
- mesmos materiais isolantes principais.

A.7.3.3 Instalação de ensaio

A.7.3.3.1 Câmara de ensaio

A câmara de ensaio ilustrada na Figura A.1 é similar à descrita na ABNT NBR IEC 60332-3-10. As paredes devem ser feitas de aço resistente ao calor com uma espessura de 1,5 mm a 2,0 mm, isoladas termicamente, de modo que a transferência de calor seja aproximadamente 0,7 W/(m²K). Uma janela resistente ao fogo deve ser instalada, se possível. As dimensões da câmara de ensaio são as sugeridas na Tabela A.2.

A câmara deve ser equipada com uma chaminé de diâmetro interno de aproximadamente 500 mm e um duto de entrada de ar de diâmetro interno de aproximadamente 350 mm. A diferença da altura do duto de entrada de ar e a saída do gás pela chaminé deve ser de aproximadamente 9 m. O ar é admitido sob a câmara de ensaio através de uma grade 400 mm × 800 mm e passa através de uma abertura de cerca de 0,3 m² para a chaminé.

Dentro da chaminé deve haver uma seção de medição com um diâmetro de 500 mm e um comprimento de pelo menos 600 mm, cuja extremidade inferior localiza-se entre 1,5 m a 2,0 m acima do teto da câmara de ensaio.

No duto de entrada de ar deve haver uma seção de medição com um diâmetro de 350 mm e um comprimento de pelo menos 400 mm, distante pelo menos 1 m da entrada de ar na câmara e 1 m da entrada de ar no duto.

Uma válvula de regulação deve ser instalada na chaminé e/ou na entrada de ar, a menos que o fluxo de ar fornecido seja forçado. A câmara de ensaio deve ser construída de tal maneira que a influência do vento sobre a quantidade de ar que entra seja negligenciável.

Tabela A.2 – Dimensões da câmara de ensaio

Dimensões em milímetros

A ^a	B		C	D	E	F		G Diâmetro	H Diâmetro
	Mínimo	Máximo				Mínimo	Máximo		
9 000	3 500	4 000	2 000	1 000	600	1 500	2 000	500	500
<hr/>									
J	K Mínimo	L Diâmetro	M	N	P	Q	R	S	T
300	400	350	800	400	800	500	900	400	1 200
<hr/>									
U	V	W	X	Y	Z	AA	AB ^b	AC ^b	
500	175	300	30	40	20	50	1 000	1 000	

^a Altura aproximada.

^b Dimensão mínima.

Ver Figuras A.1 e A.2.

A.7.3.3.2 As fontes de ignição

A principal fonte de calor é o álcool etílico (valor calórico 27 MJ/kg) queimando em um recipiente que pode ser subdividido por anéis concêntricos. O diâmetro externo do recipiente usado deve ser de pelo menos 100 mm maior do que o diâmetro da bobina externa. O diâmetro interno do recipiente deve ser de pelo menos 40 mm menor do que o diâmetro interno da bobina interna.

O nível inicial do álcool no recipiente deve ser de (30 ± 1) mm, o que corresponde a um tempo de combustão de cerca de 20 min.

A segunda fonte de calor é um painel elétrico irradiante, plano na posição vertical, com uma altura aproximada de 800 mm e uma largura de cerca de 500 mm, feito de resistências de aquecimento, totalizando 24 kW com uma fonte de alimentação ajustável para manter o painel a 750 °C. Uma blindagem metálica semicilíndrica com um diâmetro de 900 mm e uma altura de 1,2 m deve ser colocada em frente do painel (ver Figura A.1).

NOTA Ao ensaiar enrolamentos com uma dimensão externa maior do que 500 mm, a blindagem pode ser omitida.

A.7.4 Quantidades a serem medidas e dispositivos de medição

A.7.4.1 Temperaturas

As seguintes temperaturas devem ser medidas por meio de termopares ou dispositivos equivalentes:

- entrada de ar;
- saída de ar;
- superfície da bobina BT no topo (opcional);
- superfície da bobina AT no topo (opcional);
- coluna do núcleo ou peça que o simula, na parte inferior e superior (opcional);
- duto entre o núcleo e a bobina BT no centro (opcional);
- duto entre a bobina BT e AT no centro (opcional).

NOTA A localização dos sensores de medição no objeto de ensaio é indicada na Figura A.2.

A.7.4.2 Outras medições

Outras medições são apresentadas a seguir:

- transmissão de luz visível na seção de medição. Esta medição deve ser realizada ao longo de um caminho óptico de pelo menos 500 mm através da fumaça;

NOTA Se o fator de transmissão óptica for X e o comprimento efetivo do caminho óptico for p (expresso em metros), o valor do fator de transmissão em relação ao referido caminho de 1 m é:

$$\tau = X^{1/p}$$

- taxa do fluxo do ar de entrada;
- taxa do fluxo de gás na chaminé (opcional).

A.7.5 Calibração da câmara de ensaio sem o objeto de ensaio

A câmara deve ser calibrada após a energização do painel irradiante com 24 kW constantemente durante pelo menos 40 min.

A taxa do fluxo de ar medida no duto de entrada deve ser ajustada de modo que em condições de estado estacionário seu valor seja de $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$, $\pm 15\%$, a 20°C . Quando a instalação de ensaio for baseada na circulação natural de ar, a taxa do fluxo de ar pode ser modificada pela variação da válvula de regulagem ou de um dispositivo equivalente. No caso de instalações de ensaio operando com o sistema de ar forçado, a taxa do fluxo de ar pode ser ajustada atuando no sistema de ventilação.

NOTA Vários ajustes podem ser necessários para se obter o valor da taxa do fluxo de ar nas condições de estado estacionário.

A.7.6 Método de ensaio

O objeto de ensaio deve ser colocado na câmara de ensaio, como mostrado na Figura A.2, respeitando as seguintes condições:

- a distância entre o painel irradiante e a superfície do enrolamento externa deve ser de aproximadamente 175 mm;
- o nível inicial de álcool no recipiente deve ser de aproximadamente 40 mm abaixo do nível do enrolamento do transformador;

NOTA Em alguns casos é necessário um acordo entre fabricante e comprador, em função da concepção do objeto a ser ensaiado.

- a blindagem metálica semicilíndrica deve ficar oposta ao painel de aquecimento e ser concêntrica com o objeto de ensaio;
- a temperatura na câmara de ensaio, do ar admitido e do objeto de ensaio deve estar entre 15°C e 30°C no início do ensaio;
- o recipiente deve ser preenchido com o álcool antes de começar o ensaio (na prática, ± 5 min antes).
- o ensaio inicia-se no momento em que o álcool é inflamado e o painel irradiante (24 kW) é ligado. O painel irradiante deve ser desligado depois de 40 min. As quantidades indicadas em A.7.4.1 e A.7.4.2 devem ser registradas por pelo menos 60 min a partir do início do ensaio ou durante toda a duração do ensaio;
- o objeto de ensaio deve ser pesado antes e depois do ensaio com uma precisão de $\pm 0,5\%$ ou melhor. O material que representa a coluna do núcleo do transformador e as bobinas com as partes do isolamento podem ser pesados separadamente.

A.7.7 Relatório de ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- resultado do ensaio realizado em amostras de materiais (se for solicitado pelo comprador);
- a massa total calculada e energia térmica dos materiais passíveis de queima (se possível) e peso medido do objeto ensaiado;

- c) resultado do ensaio de calibração da câmara (taxa de fluxo de ar, temperaturas nas seções de medição, o ajuste da válvula de regulação ou sistema de extração de gás etc.);
- d) descrição completa do método de ensaio, incluindo os períodos de tempo durante os quais o álcool é queimado e a energia elétrica é aplicada;
- e) perda de massa de materiais inflamáveis durante o ensaio (precisão de $\pm 10\%$) e libertação de calor calculada em megajoules;
- f) temperaturas registradas durante todo o ensaio, com intervalos de 2 min ou menos, a partir do início do ensaio (ignição do álcool);
- g) a luz visível transmitida na seção de medição registrada continuamente durante todo o ensaio em porcentagem;
- h) taxa de fluxo de ar de entrada durante o ensaio, medida em intervalos de 2 min ou menos, na seção de medição em metros cúbicos por segundo;
- i) a observação visual do comportamento ao fogo do objeto durante o ensaio.

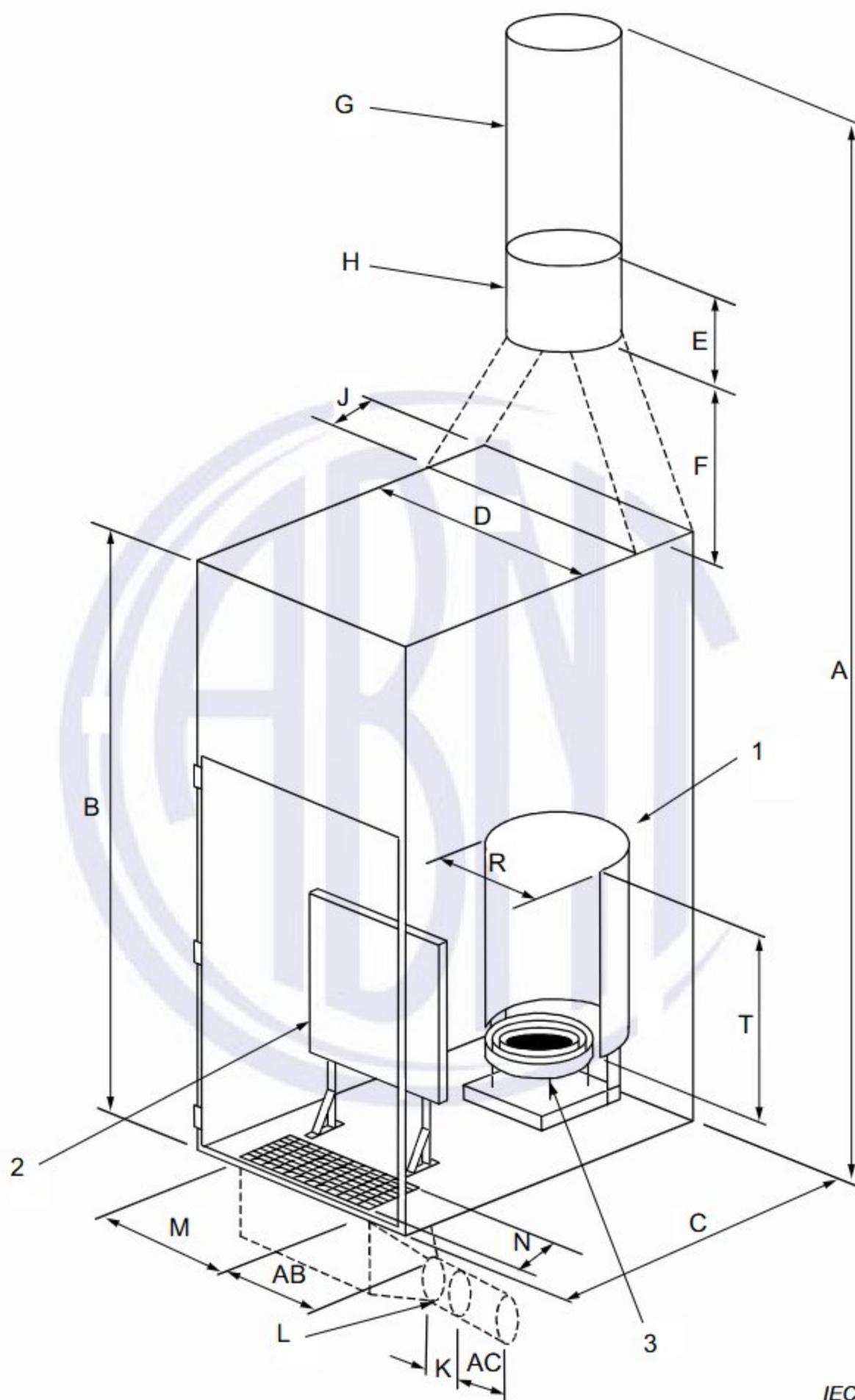
A.7.8 Critérios para a avaliação dos resultados dos ensaios

O equipamento ensaiado deve ser considerado aprovado no ensaio se ele atender aos seguintes critérios:

- a) o aumento da temperatura dos gases acima da temperatura do ambiente, na seção de medição da chaminé, não pode exceder 420 K durante o ensaio;
- b) 5 min após o desligamento do painel radiante (45 min após o início do ensaio), o aumento de temperatura dos gases acima da temperatura do ambiente na seção de medição na chaminé não pode exceder 140 K, e deve diminuir quando medido durante períodos de tempo de 10 min;
- c) O aumento de temperatura dos gases na seção de medição na chaminé não pode exceder 80 K após 60 min a partir do início do ensaio. Estas condições são assumidas para demonstrar que o fogo parou de queimar;

NOTA Um aumento maior de temperatura pode ser permitido se a energia térmica armazenada impedir a queda de temperatura no caso de circulação natural de ar.

- d) a média aritmética do fator de transmissão óptica de luz na seção de medição a que se refere ao percurso óptico através da fumaça a 1 m, entre 20 min e 60 min após o início do ensaio, não pode ser inferior a 20 % (indicativo).



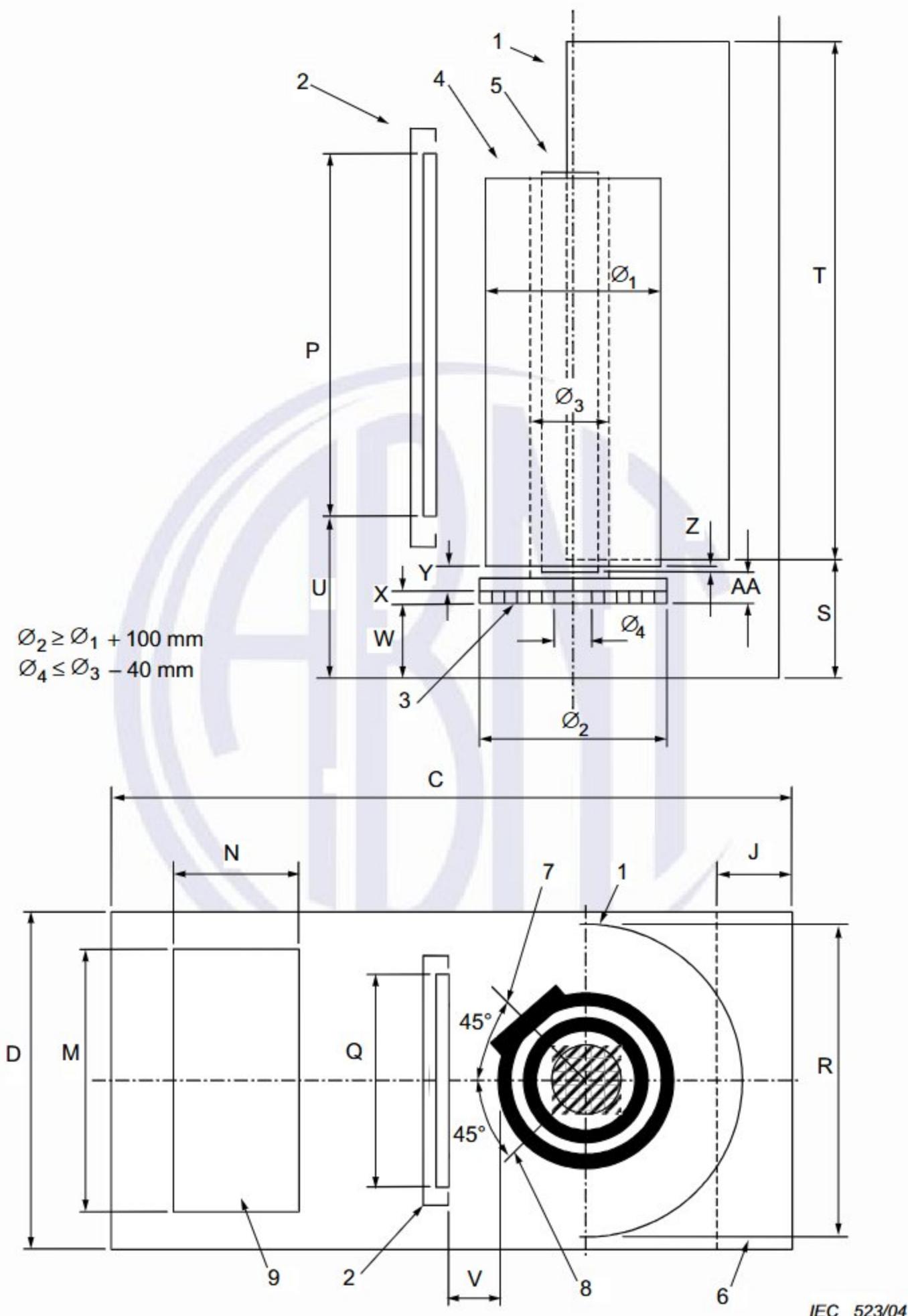
IEC 522/04

Legenda

- 1 blindagem
- 2 painel radiante
- 3 recipiente de álcool

NOTA As dimensões de A até Z e AA até AC constam na Tabela A.2.

Figura A.1 – Câmara de ensaio

**Legenda**

- | | | |
|------------------------|---------------|---|
| 1 blindagem | 4 bobinas | 7 posição dos terminais do objeto em ensaio |
| 2 painel irradiante | 5 núcleo | 8 sensores de medição |
| 3 recipiente de álcool | 6 saída de ar | 9 entrada de ar |

NOTA As dimensões de A até Z e AA até AC constam na Tabela A.2.

Figura A.2 – Detalhes da câmara de ensaio

Anexo B (normativo)

Limites de nível de ruído

Tabela B.1 – Limites de nível de ruído

Nível médio de ruído dB		Potência nominal do transformador equivalente com dois enrolamentos kVA
AN	ANAN	
58	57	0 – 300
60	59	301 – 500
62	61	501 – 700
64	63	701 – 1 000
65	64	1 001 – 1 500
66	65	1 501 – 2 000
68	66	2 001 – 3 000
70	69	3 001 – 4 000
71	69	4 001 – 5 000
72	70	5 001 – 6 000
73	71	6 001 – 7 000

NOTA 1 Esta tabela se aplica a transformadores de dois enrolamentos, sendo um com $U_m \leq 1,1$ kV e o outro com $U_m > 1,1$ kV, mas $\leq 36,2$ kV.

NOTA 2 Recomenda-se que para outros tipos de transformadores, não contemplados nesta tabela, os níveis de ruído sejam objeto de acordo entre fabricante e comprador.

NOTA 3 Recomenda-se que os níveis de ruído para condição com ventilação forçada sejam objeto de acordo entre fabricante e comprador.

NOTA 4 Outros níveis de ruído podem ser acordados entre comprador e fabricante.

Anexo C
(normativo)

Tolerância de valores de ensaio

Tabela C.1 – Tolerância de valores de ensaio

Item	Tolerância
1.a) Perdas totais (ver Nota 1).	+ 10 % do total de perdas
b) Perdas a vazio e em carga, isoladamente (ver Nota 1).	+15 % por componente de perda (vazio e carga), porém a tolerância para perda total não pode ser excedida.
2. Relação de tensão a vazio, para o 1º par de enrolamentos. Relação de tensão a vazio para outras derivações do mesmo par. Relação de tensão a vazio para outros pares.	O menor dos seguintes valores: a) $\pm 0,5\%$ do valor declarado. b) $\pm 1/10$ da impedância de curto-círcuito (em %) da derivação principal. Para ser acordado, mas não menos do que o menor valor de a) ou b). Para ser acordado, mas não menos do que o menor valor de a) ou b).
3. Impedância de curto-círcuito para: — Transformador com dois enrolamentos separados, ou — Um par específico de enrolamentos de um transformador de mais enrolamentos. a) Derivação principal. b) Em qualquer outra derivação do par de enrolamentos.	Quando o valor de impedância for $\geq 10\%$, $\pm 7,5\%$ do valor declarado. Quando o valor de impedância for $< 10\%$, $\pm 10\%$ do valor declarado. Quando o valor de impedância for $\geq 10\%$, $\pm 10\%$ do valor declarado. Quando o valor de impedância for $< 10\%$, $\pm 15\%$ do valor declarado.

Tabela C.1 (continuação)

Item	Tolerância
4. Impedância de curto-círcuito para: — autotransformadores, — um segundo par específico de enrolamentos de transformadores de mais enrolamentos, ou a) Derivação principal. b) Em qualquer outra derivação do par. — Outros pares de bobinas.	$\pm 10\%$ do valor declarado $\pm 15\%$ do valor declarado Mediante acordo, mas não $\geq 15\%$
5. Corrente de excitação (corrente a vazio)	+ 30 % do valor declarado
<p>NOTA 1 A tolerância de perdas de transformadores de mais de um par de enrolamentos se aplica a cada par de enrolamentos, a menos que valores ou condições diferentes sejam acordados entre fabricante e comprador.</p> <p>NOTA 2 Para certos autotransformadores ou transformadores de reforço, a pequena impedância destes justifica maior flexibilidade nas tolerâncias. Transformadores com grande faixa de derivações, especialmente em passos assimétricos, podem requerer uma consideração especial. Para transformadores que operam em paralelo com unidades existentes, uma tolerância de impedância menor pode ser acordada. Recomenda-se que tolerâncias especiais sejam informadas na especificação de compra e sejam objeto de acordo entre fabricante e comprador.</p> <p>NOTA 3 Para os efeitos desta Norma, entende-se que o “valor declarado” é o valor garantido pelo fabricante.</p>	

Anexo D (normativo)

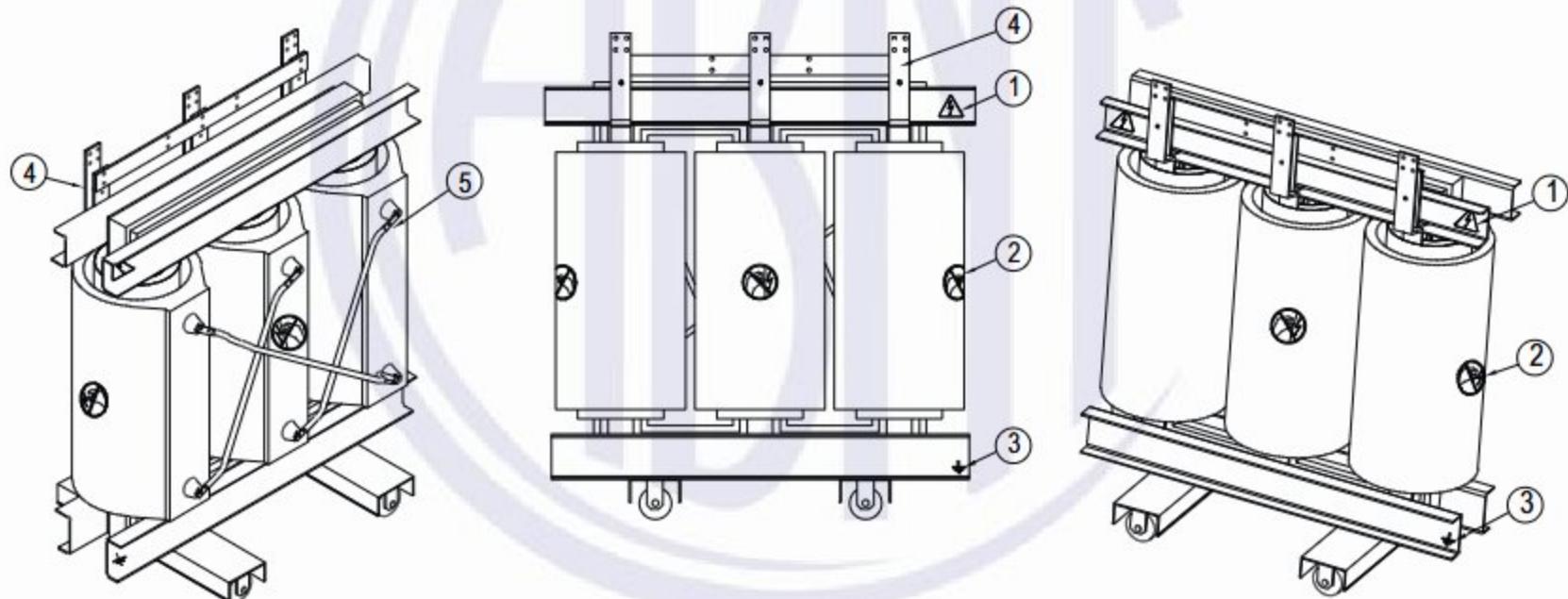
Sinalização de advertência de risco de choque elétrico

O tamanho e o desenho das placas deve seguir legislação de sinalização de segurança quando houver, e na ausência desta, a regulamentação interna do fabricante.

As Figuras D.2, D.3 e D.4 são ilustrativas.

Além da sinalização de segurança e identificação dos terminais, o transformador deve ter uma placa de características conforme definido na Seção 9, fixada em local de fácil visibilidade.

NOTA Os requisitos deste Anexo são mínimos, mas não limitados a estes, quando houver acordo entre fabricante e comprador, ou recomendações adicionais de normas de segurança e instalações elétricas.



Legenda

- 1 sinalização de risco de choque elétrico (modelo conforme a Figura D.2, no mínimo duas placas na viga superior, diagonalmente opostas)
- 2 sinalização para não tocar a superfície da bobina (modelo conforme a Figura D.3, no mínimo 4 placas, sendo duas na bobina central em lados opostos e uma na lateral de cada uma das bobinas laterais)
- 3 sinalização do ponto de aterramento (na parte inferior conforme Figura D.4)
- 4 identificação dos terminais secundários (conforme Seção 6)
- 5 identificação dos terminais primários (conforme Seção 6)

Figura D.1 – Identificação mínima requerida



Figura D.2 – Risco de choque elétrico



Figura D.3 – Não toque na superfície da bobina



Figura D.4 – Ponto de aterramento

Anexo E (informativo)

Instalação e segurança de transformadores do tipo seco

E.1 Manuais

Recomenda-se que os manuais de instruções relativos aos requisitos de instalação, transporte, montagem, manutenção e operação sejam entregues ao comprador pelo fornecedor, em particular, no caso de um fornecimento de um protótipo para um determinado comprador. Salvo disposição em contrário no contrato, é considerado uma boa prática para fornecer esses manuais com antecedência, a fim de permitir que o comprador verifique a conformidade da instalação e adote as medidas para organizar o transporte e montagem, quando aplicável.

E.2 Instalação

E.2.1 Geral

A segurança no uso do transformador pode ser considerada a partir de diferentes pontos de vista, conforme a seguir:

- segurança intrínseca do transformador, como ser livre de eventos perigosos decorrentes de uma falha interna;
- segurança decorrente de medidas preventivas tomadas na instalação contra eventos indesejáveis;
- limitar as consequências de eventos externos.

As seguintes subseções fornecem alguns exemplos sobre as medidas a serem tomadas por parte do fornecedor e do comprador para garantir um nível aceitável de segurança.

E.2.2 Segurança intrínseca

O cumprimento dos requisitos constantes nesta Norma fornece a confiabilidade necessária contra falhas de fabricação perigosas em transformadores. Para acessórios, normas específicas podem ser aplicáveis. Recomenda-se que as instruções do fabricante sobre a capacidade de carga sejam seguidas.

Os seguintes pontos específicos podem ser aplicáveis:

- ensaios dos níveis de isolamento;
- geração de calor máximo resultante das perdas garantidas e ensaiadas;
- temperatura máxima em serviço;
- convém que o manual forneça orientações sobre manutenção periódica do transformador, dos seus acessórios, da proteção, bem como orientar para a prevenção de falhas e ou degradação da vida útil.

E.2.3 Precauções na instalação

Recomenda-se que projetistas e instaladores considerem os pontos a seguir, mas não se limitem a estes:

- a) sistema de ventilação com capacidade para manter a temperatura do ar ambiente abaixo dos limites máximos especificados;
- b) proteção adequada contra sobretensões transitórias geradas pelo sistema ou por descargas atmosféricas;
- c) proteção adequada contra sobrecorrente e suportabilidade a curto-círcuito do transformador;
- d) outras proteções para o transformador (relé de proteção térmica etc.) e na instalação (fusíveis, outros relês etc.);
- e) riscos e consequências de incêndios, precaução para evitar os mesmos, cuja fonte pode ser o próprio transformador ou de origem externa;
- f) restrição de acesso para prevenir contato com as partes vivas ou partes quentes e para limitar a presença de pessoas em caso de falha;
- g) limitação das emissões de ruído para o exterior da instalação;
- h) para os barramentos ou cabos, o controle da emissão do campo magnético pode ser necessário;
- i) provisão para evitar a contaminação do ar do ambiente;
- j) prevenir a geração e acúmulo de gases.

E.2.4 Pontos a serem previstos no projeto da instalação

Recomenda-se que projetistas e instaladores considerem os pontos a seguir, mas não se limitem a estes:

- a) observar os requisitos das normas de instalações elétricas, ABNT NBR 5410, ABNT NBR 14039, ABNT NBR 5419, no que for aplicável;
- b) ventilação suficiente para manter a temperatura do ar ao redor do transformador abaixo dos limites especificados em 4.1.3, salvo acordo diferente entre fabricante e comprador;
- c) medidas adequadas para manter a temperatura ambiente acima do limite inferior especificado em 4.1.3, salvo acordo diferente entre fabricante e comprador;
- d) proteção adequada contra transientes de sobretensões;

NOTA Recomenda-se atenção especial às sobretensões transitórias rápidas que ocorrem quando o disjuntor interrompe a corrente de magnetização antes da passagem da corrente pelo ponto zero. Estes transientes são frequentemente repetidos com um crescente valor de pico durante a operação do disjuntor.

- e) dispositivo ou sistema que desconecte imediatamente o transformador da fonte de alimentação em caso de sobrecorrentes elevadas;

- f) proteção contra fontes de calor gerado nas proximidades;
- g) minimizar bolsões de retenção de fumaça e gases combustíveis;
- h) restringir acesso por razão de segurança, conforme legislação específica;
- i) limitação das emissões de ruído para o exterior da instalação, quando necessário;
- j) aterrramento da estrutura metálica no ponto de conexão de terra existente;
- k) controlar a emissão de campos magnéticos (principalmente devido às conexões ou barramentos) para o exterior da instalação por meio de blindagens ou distâncias adequadas.



Anexo F (normativo)

Perdas para transformadores do tipo seco

F.1 Os valores das Tabelas F.1, F.2 e F.3 se aplicam a transformadores de dois enrolamentos, sendo um com tensão $U_m \leq 1,1$ kV e o outro conforme indicado nas Tabelas F.1, F.2 e F.3, na frequência de 60 Hz.

F.2 Para os transformadores relacionados a seguir, os valores de perdas, corrente de excitação e impedância devem ser objeto de acordo entre fabricante e comprador:

- transformadores com dois enrolamentos de média tensão ($U_m \geq 1,1$ kV e $\leq 36,2$ kV);
- transformadores religáveis ou com derivações em um dos enrolamentos;
- transformadores com mais de dois enrolamentos;
- transformadores com mais de cinco derivações ou com variação $> 22\%$ entre a menor e a maior derivação;
- outros transformadores não cobertos por esta Norma conforme Seção 1.

F.3 A metodologia do cálculo de rendimento η em função do fator de carga e fator de potência é demonstrada na equação a seguir:

$$\eta = \frac{S_r \times F_c \times F_p}{P_a + P_0 + (P_k \times F_c^2)} \times 100$$

onde

S_r é a potência, expressa em quilovolt-amperes (kVA);

P_0 é a perda a vazio, expressa em quilowatts (kW);

P_k é a perda em carga, expressa em quilowatts (kW) na temperatura de referência, conforme Tabela 3;

F_c é o fator de carga;

F_p é o fator de potência da carga.

NOTA Para o cálculo do rendimento nas Tabelas F.1, F.2 e F.3, foi considerado um fator de carga $F_c = 0,5$ e um fator de potência $F_p = 0,92$.

Tabela F.1 – Para transformadores com um enrolamento $U_m \leq 15$ kV

Potência nominal	Níveis de eficiência										Corrente de excitação	Tensão de curto-círcuito		
	A			B			C			D				
	Perdas em W	Rend.	Perdas em W	Rend.	Perdas em W	Rend.	Perdas em W	Rend.	Perdas em W	Rend.				
kVA	Vazio	Total	%	Vazio	Total	%	Vazio	Total	%	Vazio	Total	%		
45	240	1 190	97,75	360	1 310	97,19	360	1 460	97,02	400	1 500	96,84		
75	320	1 760	98,07	430	1 870	97,76	430	2 120	97,59	480	2 170	97,45		
112,5	360	2 560	98,27	540	2 740	97,94	540	3 080	97,78	600	3 150	97,66		
150	470	3 070	98,40	680	3 270	98,11	680	3 730	97,95	750	3 800	97,85		
225	675	3 930	98,58	1 000	4 260	98,28	1 040	4 890	98,10	1 150	5 000	98,00		
300	750	4 600	98,77	1 170	5 000	98,48	1 170	5 670	98,36	1 300	5 800	98,27		
500	1 080	7 000	98,90	1 593	7 800	98,65	1 593	8 820	98,54	1 800	9 000	98,46		
750	1 510	9 600	98,99	2 160	10 260	98,80	2 160	11 760	98,70	2 400	12 000	98,63		
1 000	1 860	11 960	99,06	2 600	12 700	98,90	2 600	14 300	98,81	2 900	14 600	98,75		
1 250	2 160	12 950	99,16	3 060	13 860	99,01	3 060	15 660	98,93	3 400	16 000	98,87		
1 500	2 640	14 650	99,19	3 600	15 600	99,05	3 600	17 600	98,98	4 000	18 000	98,92		
2 000	3 120	17 850	99,27	4 770	19 600	99,09	4 770	21 970	99,02	5 300	22 500	98,97		
2 500	3 720	20 550	99,32	6 030	22 900	99,12	6 030	25 530	99,06	6 700	26 200	99,00		
3 000	4 560	25 430	99,30	6 750	27 600	99,14	6 750	30 750	99,08	7 500	31 500	99,03		
4 000	6 910	30 900	99,30	9 450	33 450	99,17	9 450	36 950	99,12	10 500	38 000	99,06		

NOTA 1 Outros valores para tensão de curto-círcuito podem ser especificados pelo comprador para atender a condições de operação especiais ou operação em paralelo.

NOTA 2 Aplica-se aos valores garantidos pelo fabricante, as tolerâncias da Tabela C.1.

NOTA 3 As perdas em carga são referenciadas à temperatura de referência da classe térmica "F" conforme a Tabela 3 e calculadas para a derivação principal.

NOTA 4 Outros valores de perdas podem ser especificados pelo comprador e acordadas com fabricante.

Tabela F.2 – Para transformadores com um enrolamento $U_m \leq 24,2 \text{ kV}$

Potência nominal	Níveis de eficiência										Corrente de excitação	Tensão de curto-círcuito		
	A			B			C			D				
	Perdas em W	Rend.	Perdas em W	Rend.	Perdas em W	Rend.	Perdas em W	Rend.	Perdas em W	Rend.				
kVA	Vazio	Total	%	Vazio	Total	%	Vazio	Total	%	Vazio	Total	%		
75	340	1 830	97,98	560	2 050	97,37	560	2 310	97,19	620	2 370	97,03		
112,5	380	2 660	98,20	670	2 960	97,66	670	3 320	97,49	750	3 400	97,34		
150	510	3 130	98,34	860	3 470	97,85	860	3 950	97,69	950	4 050	97,56		
225	720	4 070	98,52	1 100	4 450	98,16	1 260	5 210	97,87	1 400	5 350	97,75		
300	900	4 820	98,66	1 400	5 320	98,30	1 400	6 000	98,19	1 550	6 150	98,08		
500	1 160	7 460	98,82	1 900	8 200	98,51	1 900	9 250	98,40	2 100	9 445	98,32		
750	1 625	9 900	98,94	2 600	10 870	98,67	2 600	12 400	98,56	2 900	12 700	98,47		
1 000	2 000	12 280	99,02	3 150	13 430	98,77	3 150	15 050	98,69	3 500	15 400	98,61		
1 250	2 322	13 800	99,11	3 550	15 030	98,90	3 550	16 950	98,81	4 050	17 450	98,73		
1 500	2 835	15 950	99,12	4 150	17 270	98,93	4 150	19 450	98,86	4 600	19 900	98,79		
2 000	3 354	18 920	99,22	5 400	21 000	99,00	5 400	23 450	98,93	6 000	24 050	98,87		
2 500	4 000	21 770	99,27	7 000	24 770	99,01	7 000	27 580	98,95	7 800	28 380	98,89		
3 000	4 950	26 690	99,25	7 850	28 600	99,06	7 850	32 850	98,99	8 700	33 700	98,93		
4 000	7 280	33 400	99,26	10 650	36 700	99,08	10 650	40 600	99,02	11 800	41 800	98,96		

NOTA 1 Outros valores para tensão de curto-círcuito podem ser especificados pelo comprador para atender a condições de operação especiais ou operação em paralelo.

NOTA 2 Aplica-se aos valores garantidos pelo fabricante, as tolerâncias da Tabela C.1.

NOTA 3 As perdas em carga são referenciadas à temperatura de referência da classe térmica "F" conforme a Tabela 3 e calculadas para a derivação principal.

NOTA 4 Outros valores de perdas podem ser especificados pelo comprador e accordadas com fabricante.

Tabela F.3 – Para transformadores com um enrolamento $U_m \leq 36,2 \text{ kV}$

Potência nominal	Níveis de Eficiência										Corrente de Excitação	Tensão de Curto-círcuito		
	A					B								
	Perdas em W		Rend.		Perdas em W	Rend.		Perdas em W	Rend.					
kVA	Vazio	Total	%	Vazio	Total	%	Vazio	Total	%	Vazio	Total	%		
150	620	3 400	98,13	1 030	3 820	97,56	1 030	4 340	97,38	1 150	4 450	97,22		
225	880	4 410	98,33	1 530	5 060	97,72	1 530	5 700	97,57	1 700	5 900	97,41		
300	980	5 070	98,57	1 670	5 760	98,09	1 670	6 470	97,96	1 860	6 660	97,83		
500	1 400	7 860	98,71	2 270	8 730	98,34	2 270	9 870	98,22	2 520	10 120	98,11		
750	1 950	10 480	98,83	3 150	11 680	98,49	3 150	13 250	98,38	3 500	13 600	98,28		
1 000	2 400	12 930	98,92	3 780	14 300	98,63	3 780	16 080	98,53	4 200	16 500	98,44		
1 250	2 800	14 630	99,01	4 410	15 240	98,78	4 410	18 200	98,65	4 900	18 700	98,57		
1 500	3 400	16 930	99,03	5 040	18 570	98,79	5 040	20 800	98,72	5 600	21 400	98,63		
2 000	4 000	20 100	99,14	6 530	22 650	98,87	6 530	25 200	98,80	7 250	26 000	98,72		
2 500	4 900	23 200	99,18	8 100	26 400	98,91	8 100	29 300	98,85	9 000	30 200	98,77		
3 000	6 000	28 430	99,17	8 900	31 350	98,96	8 900	34 700	98,90	9 900	35 700	98,83		
4 000	8 700	35 700	99,17	11 700	38 700	99,01	11 700	42 700	98,95	13 000	44 000	98,88		
												1,3		
												7,0		

NOTA 1 Outros valores para tensão de curto-círcuito podem ser especificados pelo comprador para atender a condições de operação especiais ou operação em paralelo.

NOTA 2 Aplica-se aos valores garantidos pelo fabricante, as tolerâncias da Tabela C.1.

NOTA 3 As perdas em carga são referenciadas à temperatura de referência da classe térmica "F" conforme a Tabela 3 e calculadas para a derivação principal.

NOTA 4 Outros valores de perdas podem ser especificados pelo comprador e acordadas com fabricante.

F.4 Para transformadores com potências superiores a 4 000 kVA, é especificado um índice de eficiência de pico (IEP).

O índice de eficiência de pico é o valor máximo da razão entre a potência aparente transmitida de um transformador menos as perdas elétricas de potência aparente transmitida do transformador.

O valor mínimo da eficiência de pico pode ser obtido com diferentes combinações de perdas a vazio e em carga. O valor das perdas a vazio e em carga devem ser definidos de acordo com o fator de carga de modo a se obter a melhor eficiência em serviço. Para se alcançar isto, os seguintes métodos podem ser aplicados:

- fornecer os valores de capitalização para as perdas a vazio e em carga que refletem o carregamento do transformador (este é o método recomendado);
- o comprador especifica as perdas máximas em vazio e em carga;
- o comprador especifica um valor mínimo de eficiência para um fator de carga predeterminado.

A Tabela F.4 indica os valores de referência de eficiência de pico para transformadores a seco > 4 000 kVA. Para potências intermediárias, pode ser feita uma interpolação linear, tomando como base potências próximas.

Tabela F4 – Valores de referência de eficiência de pico (IEP)

Potência nominal kVA	IEP %	
	Nível A	Nível B
5 000	99,385	99,351
7 500	99,387	99,353
10 000	99,389	99,354
≥ 12 000	99,390	99,355

F.5 A metodologia de cálculo da eficiência de pico para transformadores de média potência é baseada na relação entre a potência aparente transmitida de um transformador menos as perdas elétricas da potência aparente transmitida, e calculado pela seguinte equação:

$$IEP = 1 - \frac{2(P_o + P_{co})}{S_r \sqrt{\frac{P_o + P_{co}}{P_k}}}$$

onde

P_o é a perda a vazio, expressa em quilowatts (kW), medida com tensão e frequência nominal, na derivação principal;

P_k é a perda em carga, expressa em quilowatts (kW), medida com corrente e frequência nominal, na derivação principal e corrigida para temperatura de referência para a classe de isolamento, conforme Tabela 3;

P_{co} é a potência elétrica absolvida pelo sistema de ventilação forçada, quando houver;

S_r é a potência aparente, em quilovolt-ampere (kVA), na qual P_k foi medido.

F.6 O valor de corrente de excitação para transformadores com potência > 4 000 kVA deve ser ≤ a 0,6 %.

F.7 O valor da tensão de curto-circuito, quando não especificado pelo comprador, deve ser o da ABNT NBR 5356-5: 2007, Tabela 1.



Bibliografia

ABNT NBR 5356-4, *Transformadores de potência – Parte 4: Guia para ensaio de impulso atmosférico e de manobra para transformadores e reatores*

ABNT NBR 5410, *Instalações elétricas de baixa tensão*

ABNT NBR 5419 (todas as partes), *Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas*

ABNT NBR 14039, *Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*

ABNT NBR IEC 60085, *Isolação elétrica – Avaliação térmica e designação*

IEC 60076-11, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

IEC 60186, *Voltage transformers*

IEC 60332-3-10, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 3-10: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Apparatus*

BS EN 50588-1, *Medium voltage transformers 50 Hz, with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV – Part 1: General requirements*