

# ETD 007.01.48

## PÁRA-RAIOS DE DISTRIBUIÇÃO



Projeto: setembro de 2009  
Palavras Chave: Pára-Raios; Rede de Distribuição

**Cooperativas Filiadas a FECOERGS:**



CELETRO  
– Cachoeira do Sul –



CERFOX  
– Fontoura Xavier –



CERILUZ  
– Ijuí –



CERMISSÕES  
– Caibaté –



CERTAJA  
– Taquari –



CERTEL  
– Teutônia –



CERTHIL  
– Três de Maio –



CERVALE  
– Santa Maria –



COOPERLUZ  
– Santa Rosa –



COOPERNORTE  
– Viamão –



COOPERSUL  
– Bagé –



COPREL  
– Ibirubá –



COSEL  
– Encruzilhada do Sul –



CRELUZ  
– Pinhal –



CREAL  
– Erechim –

Esta Norma tem por objetivo estabelecer as condições mínimas exigíveis para o fornecimento do equipamento em referência a ser utilizado nas Redes Aéreas de Distribuição Urbanas e Rurais das regiões de atuação das Cooperativas filiadas ao Sistema FECOERGS.

Elaboração:

Vilson Luiz Coelho	Engenheiro, CREA-SC 010.932-1	Power Engenharia Ltda.
Mílvio Rodrigues de Lima	Engenheiro, CREA-SC 6727	Power Engenharia Ltda.

Aprovação:

Herton Azzolin	Engenheiro, CREA-RS 124.865	COPREL
Marcos Luiz Eidt	Engenheiro, CREA-RS 050.703	COPREL
Francisco Carlos S. de Oliveira	Engenheiro, CREA-RS 048.270	CERTEL
Ederson P. Madruga	Engenheiro, CREA-RS 096.167	CERTAJA
Eleandro Luis M. da Silva	Técnico, CREA-RS 127.488	CERTAJA
Luis Osório M. Dornelles	Engenheiro, CREA-RS 128.117	FECOERGS
Marcos Vizzotto	Engenheiro, CREA-RS 147.577	FECOERGS
Leandro André Hoerlle	Economista	FECOERGS
Sérgio Silvello	Engenheiro, CREA-RS 73.802	CERILUZ

## Sumário

<b>1. Objetivo .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Âmbito de Aplicação .....</b>	<b>1</b>
<b>3. Documentos de Referência .....</b>	<b>1</b>
<b>4. Condições Gerais .....</b>	<b>2</b>
4.1. Definições .....	2
4.1.1. Pára-Raios a Óxido Metálico:.....	2
4.1.2. Resistor não Linear a Óxido Metálico: .....	2
4.1.3. Seção Representativa do Pára-Raios:.....	2
4.1.4. Tensão Nominal do Pára-Raios ( $U_N$ ): .....	3
4.1.5. Tensão de Operação Contínua do Pára-Raios ( $U_C$ ):.....	3
4.1.6. Impulso:.....	3
4.1.7. Impulso de Corrente Íngreme: .....	3
4.1.8. Impulso de Corrente de Descarga Atmosférica: .....	3
4.1.9. Impulso de Corrente de Manobra: .....	3
4.1.10. Impulso de Corrente de Longa Duração:.....	3
4.1.11. Impulso de Corrente Elevada:.....	3
4.1.12. Corrente de Descarga Nominal do Pára-Raios ( $I_N$ ): .....	3
4.1.13. Corrente de Referência do Pára-Raios:.....	4
4.1.14. Tensão de Referência do Pára-Raios ( $U_{REF}$ ):.....	4
4.1.15. Tensão Residual do Pára-Raios ( $U_{RES}$ ): .....	4
4.1.16. Capacidade Máxima de Absorção de Energia do Pára-Raios:.....	4
4.1.17. Características de Proteção do Pára-Raios:.....	4
4.1.18. Avalanche Térmica do Pára-Raios: .....	4
4.1.19. Estabilidade Térmica do Pára-Raios:.....	4
4.1.20. Desligador Automático: .....	4
4.1.21. Corrente Suportável Nominal de Curto-Circuito ( $I_{SC}$ ):.....	4
4.2. Inovação Tecnológica .....	5
4.3. Meio Ambiente .....	5
4.4. Condições de Operação.....	5
4.5. Classificação dos Pára-Raios .....	5
4.6. Identificação .....	5
4.7. Acabamento .....	6
<b>5. Condições Específicas .....</b>	<b>6</b>
5.1. Características Construtivas .....	6
5.1.1. Dimensões .....	6
5.1.2. Sistema de Fixação .....	6
5.1.3. Conectores e Terminais .....	6
5.1.4. Invólucro .....	6
5.1.5. Sistema de Vedação .....	6
5.1.6. Desligador automático.....	7
5.2. Características Elétricas.....	7
5.2.1. Tensões Nominais ( $U_N$ ).....	7
5.2.2. Tensão de Operação Contínua ( $U_C$ ) .....	7
5.2.3. Tensão de Referência do Pára-Raios ( $U_{REF}$ ) .....	7
5.2.4. Tensão Temporária Suportável de Frequência Industrial ( $U_T$ ) .....	7
5.2.5. Corrente de Descarga Nominal ( $I_N$ ).....	7
5.2.6. Corrente Suportável Nominal de Curto-Circuito ( $I_{SC}$ ).....	7
5.2.7. Níveis de proteção do Pára-Raios .....	7
5.2.8. Suportabilidade do Pára-Raios Frente a Impulsos de Alta Corrente .....	7
5.2.9. Suportabilidade do Pára-Raios Frente a Impulsos de Corrente de Longa Duração .....	8
5.2.10. Suportabilidade do Pára-Raios ao Ciclo de Operação .....	8

5.2.11. Descargas parciais .....	8
5.2.12. Características Dielétricas do Invólucro .....	8
5.2.13. Característica Tempo x Corrente do Desligador Automático .....	8
<b>6. Condições de Fornecimento .....</b>	<b>9</b>
6.1. Homologação .....	9
6.2. Acondicionamento .....	9
6.3. Garantia .....	10
<b>7. Inspeção e Ensaios .....</b>	<b>10</b>
7.1. Generalidades .....	10
7.2. Classificação dos ensaios .....	11
7.2.1. Ensaio de Tipo .....	11
7.2.2. Ensaio de Recebimento .....	11
7.2.3. Ensaio Complementares .....	11
7.3. Metodologia dos Ensaio .....	11
7.3.1. Recomendações Comuns aos Ensaio .....	11
7.3.2. Inspeção Geral .....	12
7.3.3. Verificação Dimensional .....	13
7.3.4. Verificação da Espessura da Camada de Estanho .....	13
7.3.5. Verificação do Torque de Instalação .....	13
7.3.6. Verificação do Esforço de Tração .....	13
7.3.7. Medição da Tensão de Referência .....	14
7.3.8. Ensaio de Tensão Suportável no Invólucro .....	14
7.3.9. Ensaio de tensão residual .....	15
7.3.10. Ensaio de Corrente Suportável de Impulso de Longa Duração .....	17
7.3.11. Ensaio de Ciclo de Operação .....	18
7.3.12. Característica da Tensão Suportável de Freqüência Industrial em Função do Tempo .....	23
7.3.13. Ensaio de Desligador Automático .....	24
7.3.14. Ensaio de Curto-Circuito .....	25
7.3.15. Ensaio de descargas parciais .....	28
7.3.16. Ensaio de estanqueidade .....	28
7.3.17. Ensaio de Envelhecimento Sob Tensão de Operação Simulando Condições Ambientais .....	30
7.4. Relatórios de Ensaio .....	31
7.5. Planos de Amostragem .....	32
7.5.1. Ensaio de Tipo e Complementares .....	32
7.5.2. Ensaio de Recebimento .....	32
7.6. Critérios de Aceitação e Rejeição .....	32
7.6.1. Critérios para Aceitação ou Rejeição nos Ensaio de Tipo e Complementares .....	33
7.6.2. Critérios para Aceitação ou Rejeição nos Ensaio de Recebimento .....	33
<b>8. Desenhos .....</b>	<b>34</b>
8.1. Padrão E-29: Para-Raios de Distribuição .....	34
8.2. Circuito Típico para o Ensaio de Desligador Automático .....	35
8.3. Montagem Recomendada para o Ensaio de Curto-Circuito .....	36
8.4. Ciclo Termomecânico .....	37
8.5. Ciclo de Imersão em Água .....	38
8.6. Ciclo Diário de Envelhecimento Acelerado Sob Tensão Conforme NBR 15122 .....	39
8.7. Ciclo Semanal de Envelhecimento Acelerado Sob Tensão Conforme IEC 60099-4 .....	40

## 1. Objetivo

Esta Norma estabelece os requisitos mínimos e os métodos de ensaios para pára-raios de resistor não linear a óxido metálico, para redes aéreas de distribuição de energia com tensão máxima de operação até 36,2 kV, inclusive.

## 2. Âmbito de Aplicação

Aplica-se às cooperativas de eletrificação pertencentes ao Sistema FECOERGS e respectivos fabricantes e fornecedores.

## 3. Documentos de Referência

Para fins de projeto, seleção de matéria-prima, fabricação, controle de qualidade, inspeção, acondicionamento e utilização dos pára-raios de distribuição, esta especificação adota as normas abaixo relacionadas:

NBR 5032 – Isoladores para linhas aéreas com tensões acima de 1000 V – Isoladores de porcelana ou vidro para sistemas de corrente alternada;

NBR 5370 – Conectores de cobre para condutores elétricos em sistemas de potência;

NBR 5424 – Guia de aplicação de pára-raios de resistor não linear em sistemas de potência;

NBR 5425 – Guia para inspeção por amostragem no controle e certificação da qualidade;

NBR 5426 – Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos;

NBR 5456 – Eletricidade geral – Terminologia;

NBR 5460 – Sistema elétrico de potência – Terminologia;

NBR 5470 – Pára-raios de resistor não-linear a Carboneto de Silício (SiC) para sistemas de potência – Terminologia;

NBR 6936 – Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão – Procedimento;

NBR 6937 – Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão – Dispositivos de medição;

NBR 6938 – Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão – Guias de aplicação para dispositivos de medição;

NBR 6939 – Coordenação do isolamento – Procedimento;

NBR 6940 – Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão – Medição de descargas parciais – Procedimento;

NBR 7876 – Linhas e equipamentos de alta tensão – Medição de radio interferência na faixa de 0,15 MHz a 30 MHz – Método de ensaio;

NBR 10621 – Isoladores utilizados em sistemas de alta tensão em corrente alternada – Ensaio de poluição artificial;

NBR 15122 – Isoladores bastão compostos poliméricos para tensões acima de 1000 V;

NBR 15232 – Isolador pilar composto para linhas aéreas de corrente alternada, com tensões acima de 1000 V;

NBR IEC/TR 60815 – Guia para seleção de isoladores sob condições de poluição;

ASTM B 545 – Specification for electrodeposited coating of tin;

IEC 60068-2-11 – Environmental testing – part 2: tests – test kc: salt mist;

IEC 60068-2-14 – Environmental testing – part 2: tests – test n: change of temperature;

IEC 60068-2-17 – Basic environmental testing procedures – part 2: tests – test q: sealing;

IEC 60068-2-42 – Environmental testing – part 2-42: tests – test kc: sulphur dioxide test for contacts;

IEC 60099-4 – Metal oxide surge arresters without gaps for a. c. Systems;

IEC 61166 – High-voltage alternating current circuit-breakers – Guide for seismic qualification of high-voltage alternating current circuit-breakers;

IEC CISPR 18-2 – Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High-Voltage Equipment – Part 2: Methods of Measurement and Procedure.

ETD 007.01.22 – Transformadores de Distribuição;

ETD 007.01.43 – Elos Fusíveis;

PTD 035.01.02 – Padrão de Estruturas.

As siglas acima referem-se a:

NBR – Norma Brasileira Registrada da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);

IEC – International Electrotechnical Commission;

ASTM – American Society for Testing and Materials;

CISPR – International Special Committee on Radio Interference;

ETD – Especificação Técnica – Distribuição do Sistema FECOERGS;

PTD – Padrão Técnico – Distribuição do Sistema FECOERGS.

As normas aqui mencionadas não excluem outras reconhecidas, desde que assegurem qualidade igual ou superior. Em casos de dúvidas ou divergências prevalecerá o que está estabelecido nesta especificação em seguida nas normas recomendadas. Nos casos em que estas normas forem omissas poderão ser aceitas outras apresentadas pelos fabricantes desde que aprovadas pela FECOERGS.

## 4. Condições Gerais

### 4.1. Definições

Os termos técnicos utilizados nesta especificação estão definidos nas normas mencionadas no item 3, complementados pelos seguintes:

#### 4.1.1. Pára-Raios a Óxido Metálico:

Pára-raios composto de resistores não lineares a óxido metálico, ligados em série e/ou em paralelo.

#### 4.1.2. Resistor não Linear a Óxido Metálico:

Componente principal do pára-raios, formado basicamente pela sinterização de óxidos metálicos, o qual, por sua característica não linear de tensão-corrente, apresenta uma baixa resistência frente à sobretensões, limitando desta forma a tensão entre os terminais do pára-raios, e uma alta resistência na sua condição normal de operação sob tensão em frequência industrial.

#### 4.1.3. Seção Representativa do Pára-Raios:

Parte do pára-raios, utilizada em um determinado ensaio, através da qual é possível representar térmica e eletricamente o comportamento do pára-raios completo.

#### 4.1.4. Tensão Nominal do Pára-Raios ( $U_N$ ):

Máxima tensão eficaz, de frequência industrial, aplicável entre os terminais do pára-raios, na qual ele é projetado para operar corretamente sob as condições de sobretensões temporárias estabelecidas nos ensaios de ciclo de operação.

Nota:

A tensão nominal, utilizada como um parâmetro de referência para a especificação das características de operação é aplicada durante 10s de modo a comprovar a estabilidade térmica após impulsos de corrente elevada ou longa duração, não constituindo o valor da tensão que pode ser aplicada continuamente ao pára-raios.

#### 4.1.5. Tensão de Operação Contínua do Pára-Raios ( $U_C$ ):

Tensão eficaz máxima permissível de frequência industrial, que pode ser aplicada continuamente aos terminais do pára-raios.

#### 4.1.6. Impulso:

Onda unidirecional de tensão ou de corrente que sem oscilações apreciáveis, se eleva (cresce) rapidamente até um máximo valor e decresce, geralmente de forma mais lenta, até o zero com uma pequena onda de polaridade reversa, se necessária.

Nota:

Os parâmetros que definem um impulso de tensão ou de corrente são a polaridade, o tempo de frente e o tempo de meia onda (tempo de cauda).

#### 4.1.7. Impulso de Corrente Íngreme:

Impulso de corrente, com tempo de frente de  $1\mu\text{s}$ , medido a partir da origem virtual, conforme definido na norma NBR 6936, com limites no ajuste do equipamento tais que os valores medidos situam-se entre  $0,9\mu\text{s}$  e  $1,1\mu\text{s}$ . O tempo até o meio valor, medido a partir da origem virtual, não deve ser maior que  $20\mu\text{s}$ .

#### 4.1.8. Impulso de Corrente de Descarga Atmosférica:

Impulso de corrente, com forma  $8/20\mu\text{s}$ , com limites no ajuste do equipamento tais que os valores de tempo, medidos a partir da origem virtual, estejam entre  $7\mu\text{s}$  e  $9\mu\text{s}$  para o tempo de frente e entre  $18\mu\text{s}$  e  $22\mu\text{s}$  para o tempo até o meio valor.

#### 4.1.9. Impulso de Corrente de Manobra:

Impulso de corrente com um tempo de frente compreendido entre  $30\mu\text{s}$  e  $100\mu\text{s}$  e um tempo até o meio valor de aproximadamente duas vezes o tempo de frente.

#### 4.1.10. Impulso de Corrente de Longa Duração:

Impulso de corrente retangular que cresce rapidamente até um valor máximo, permanece substancialmente constante por um período especificado e decresce rapidamente a zero. Os parâmetros que definem um impulso de corrente retangular são: polaridade, valor de crista, duração virtual de crista e duração virtual total, conforme definido na norma NBR 6939.

#### 4.1.11. Impulso de Corrente Elevada:

Impulso de corrente com forma  $4/10\mu\text{s}$  com limites no ajuste do equipamento tais que os valores medidos, a partir da origem virtual, estejam entre  $3,5\mu\text{s}$  e  $4,5\mu\text{s}$  para o tempo de frente e entre  $9\mu\text{s}$  e  $11\mu\text{s}$  para o tempo virtual até o meio valor.

#### 4.1.12. Corrente de Descarga Nominal do Pára-Raios ( $I_N$ ):

Valor de crista do impulso de corrente, com forma  $8/20\mu\text{s}$ , que é usado para classificar o pára-raios.

**4.1.13. Corrente de Referência do Pára-Raios:**

Maior valor de crista, independentemente da polaridade, da componente resistiva da corrente de frequência industrial, usada para determinar a tensão de referência do pára-raios.

Notas:

1. A corrente de referência deve ser suficientemente alta para tornar desprezíveis os efeitos das capacitâncias na tensão de referência medida nas unidades do pára-raios (com o sistema de equalização previsto) e deve ser especificada pelo fabricante.
2. A corrente de referência deve estar tipicamente na faixa de 1 a 20mA, dependendo da classe do pára-raios.

**4.1.14. Tensão de Referência do Pára-Raios ( $U_{REF}$ ):**

Valor de crista da tensão de frequência industrial medida entre os terminais de um pára-raios, quando através dos mesmos flui a corrente de referência, dividido pela raiz quadrada de dois.

**4.1.15. Tensão Residual do Pára-Raios ( $U_{RES}$ ):**

Valor de crista da tensão que surge entre os terminais do pára-raios, durante a passagem da corrente de descarga.

**4.1.16. Capacidade Máxima de Absorção de Energia do Pára-Raios:**

Valor em kJ (quilo-joule) da maior quantidade de energia, em condições preestabelecidas, a que pode ser submetido o pára-raios, sem que as suas características sofram alterações significativas, após o retorno às condições normais de operação.

**4.1.17. Características de Proteção do Pára-Raios:**

Conjunto das seguintes características:

- a. tensão residual para impulso de corrente íngreme;
- b. característica tensão residual x impulso de corrente de descarga atmosférica;
- c. tensão residual para impulso de corrente de manobra.

**4.1.18. Avalanche Térmica do Pára-Raios:**

Termo utilizado para caracterizar a situação na qual as perdas por efeito Joule do pára-raios excedem sua capacidade de dissipação, provocando um aumento cumulativo da temperatura dos resistores não lineares, culminando em sua falha.

**4.1.19. Estabilidade Térmica do Pára-Raios:**

Um pára-raios é termicamente estável se, após sua atuação, a temperatura resultante bem como a componente resistiva da corrente nos resistores não lineares decresce com o tempo, quando o pára-raios é energizado na tensão de operação contínua e em condições normais de operação.

**4.1.20. Desligador Automático:**

Dispositivo para desligar, de modo visível, um pára-raios defeituoso do sistema no qual está ligado a fim de evitar falta permanente no próprio sistema.

**4.1.21. Corrente Suportável Nominal de Curto-Circuito ( $I_{SC}$ ):**

Característica específica de um pára-raios polimérico que não possui dispositivos de alívio de sobrepessão. É a máxima corrente de falta, que circula no seu interior e que não provoca sua fragmentação violenta.

#### 4.2. Inovação Tecnológica

As inovações tecnológicas resultantes de desenvolvimentos técnico-científicos devem ser incorporadas ao projeto, matéria prima e mão-de-obra de fabricação deste equipamento, desde que assegurem qualidade igual ou superior às exigidas por esta especificação.

#### 4.3. Meio Ambiente

Em todas as etapas de fabricação, transporte e recebimento dos equipamentos devem ser cumpridas as legislações ambientais federais, estaduais e municipais, quando aplicáveis. O fabricante deverá apresentar descrição de alternativas para descarte do equipamento e materiais que o constituem, após o final de sua vida útil.

#### 4.4. Condições de Operação

Os pára-raios abrangidos por esta especificação quando instalados conforme o Padrão de Estruturas PTD 035.01.02, devem operar adequadamente nas seguintes condições:

- a. altitude não superior a 1000m;
- b. temperatura máxima do ar ambiente de 40°C e o valor médio obtido num período de 24 horas, não superior a 35°C;
- c. temperatura mínima do ar ambiente não inferior a - 10°C;
- d. umidade do ar de até 100%;
- e. pressão do vento não superior a 700Pa (70daN/m<sup>2</sup>);
- f. frequência nominal do sistema elétrico igual a 60Hz.

#### 4.5. Classificação dos Pára-Raios

Usualmente classificam-se os pára-raios em:

- Classe estação - Pára-raios de 10 kA e 20 kA;
- Classe distribuição - Pára-raios de 5 kA e 10 kA, classe de descarga de linhas de transmissão 1.

Para os fins desta especificação, serão considerados apenas os pára-raios classe distribuição com corrente de descarga de 10 kA e classe de descarga de linhas de transmissão igual a 1.

#### 4.6. Identificação

Os pára-raios devem ser marcados, de forma legível e indelével, no próprio invólucro ou por meio de placa irremovível de aço inoxidável ou alumínio, com no mínimo as seguintes informações:

- a palavra "pára-raios";
- nome do fabricante ou marca registrada;
- tipo ou modelo do pára-raios;
- tensão de operação contínua ( $U_C$ );
- tensão nominal ( $U_N$ );
- frequência nominal;
- corrente de descarga nominal ( $I_N$ );
- corrente suportável nominal de curto circuito ( $I_{SC}$ );
- mês e ano de fabricação;

#### 4.7. Acabamento

O invólucro e braçadeira de fixação do pára-raios devem ser de material polimérico adequado para instalação externa, com superfície lisa, contínua, impermeável e livre de rachas, bolhas ou inclusões de materiais estranhos.

As partes em liga de cobre devem ser estanhadas com espessura de camada de estanho mínima de 8 $\mu$ m individualmente e 12 $\mu$ m na média das amostras, conforme NBR5370.

Os conectores devem ser isentos de trincas e inclusões ou arestas vivas que possam danificar os condutores.

### 5. Condições Específicas

#### 5.1. Características Construtivas

##### 5.1.1. Dimensões

Os pára-raios devem apresentar formato similar ao apresentado no desenho padrão E-29 do item 8.1 desta especificação. Todos os detalhes e dimensões indicados devem ser obedecidos a fim de garantir os afastamentos mínimos admissíveis quando da instalação em estruturas padronizadas conforme Padrão de Estruturas PTD 035.01.02.

##### 5.1.2. Sistema de Fixação

O pára-raios deve ser provido de suporte, de material compatível dielectricamente com o material do invólucro, que permita a sua instalação em suporte L conforme indicado no desenho 8.1 desta especificação.

Quando instalado desta forma, o conjunto deve suportar um esforço de tração "F" (conforme indicado no desenho), equivalente a três vezes o seu peso, sem apresentar flecha residual.

##### 5.1.3. Conectores e Terminais

O terminal superior deve ser fornecido com conector apropriado para acomodar até 2 condutores com bitolas entre 16 e 35mm<sup>2</sup> e suportar um torque de instalação de 2,5daN.m.

O terminal inferior deve ser fornecido com rabicho de 0,6m de comprimento, em cabo de cobre isolado em composto termoplástico à base de cloreto de polivinila (PVC) do tipo ST1, de cor preta, bitola de 16mm<sup>2</sup> e encordoamento classe 5.

O conector e os terminais devem ser fabricados em liga de cobre ou aço inoxidável, para ligação de condutores de cobre ou alumínio sem danificar a conexão por corrosão galvânica.

##### 5.1.4. Invólucro

Os pára-raios devem ser do tipo sólido, sem volume de gás encapsulado, com invólucro em material polimérico adequado para instalação externa, de acordo com os requisitos exigidos na NBR 15232, comprovadas por meio de certificados de ensaios.

##### 5.1.5. Sistema de Vedação

Os pára-raios devem ser construídos com uma interface entre os blocos de resistor não linear e a parede interna do invólucro que impeça a entrada de umidade mesmo após a aplicação do torque máximo previsto em 5.1.3.

Os pára-raios devem atender às condições de avaliação indicadas no ensaio de estanqueidade, conforme o item 7.3.16.

### 5.1.6. Desligador automático

Os pára-raios devem ser providos do dispositivo desligador automático acoplado externa ou internamente ao invólucro.

A função deste dispositivo é proporcionar o desligamento rápido do terminal de aterramento, provocando a separação visível entre a rede elétrica e o pára-raios, nos casos de falha deste.

## 5.2. Características Elétricas

### 5.2.1. Tensões Nominais ( $U_N$ )

As tensões nominais dos pára-raios padronizadas para o Sistema FECOERGS são as apresentadas na coluna 2 da Tabela 8.1 do desenho padrão E-29.

### 5.2.2. Tensão de Operação Contínua ( $U_C$ )

Os valores mínimos admissíveis para as máximas tensões de operação contínua dos pára-raios passíveis de utilização no Sistema FECOERGS estão apresentadas na coluna 3 da tabela 8.1 do desenho padrão E-29.

### 5.2.3. Tensão de Referência do Pára-Raios ( $U_{REF}$ )

O fabricante deverá fornecer as faixas de variação dos valores de tensão de referência, dos pára-raios submetidos aos ensaios. Estes valores serão utilizados na seleção correta de amostras ou como parâmetro comparativo em ensaios específicos.

### 5.2.4. Tensão Temporária Suportável de Frequência Industrial ( $U_T$ )

O fabricante deve fornecer as características de suportabilidade dos pára-raios às tensões temporárias de frequência industrial, representadas pelas curvas de tensão suportável de frequência industrial versus tempo de aplicação entre 0,1s e 12.000s.

Estas curvas podem ser estabelecidas por meio de cálculos e são utilizadas na seleção dos pára-raios adequados a cada sistema elétrico em função das características do próprio sistema e do ambiente onde está inserido.

### 5.2.5. Corrente de Descarga Nominal ( $I_N$ )

A corrente de descarga nominal padronizada é 10 kA com forma de onda 8/20 $\mu$ s.

### 5.2.6. Corrente Suportável Nominal de Curto-Circuito ( $I_{SC}$ )

Quando submetidos ao ensaio de curto circuito descrito em 7.3.14, os pára-raios devem suportar uma corrente eficaz de 10kA com duração de 0,2s.

### 5.2.7. Níveis de proteção do Pára-Raios

Os níveis de proteção correspondem aos valores das tensões residuais de impulso atmosférico, impulso de manobra e impulso de corrente íngreme dos pára-raios, quando ensaiados conforme item 7.3.9.

Os valores máximos admissíveis estão apresentados nas colunas 4 a 6 da Tabela 8.1 desta especificação.

### 5.2.8. Suportabilidade do Pára-Raios Frente a Impulsos de Alta Corrente

Quando ensaiados conforme item 7.3.11.6, os pára-raios devem suportar impulso de corrente de 100kA, com forma de onda 4/10  $\mu$ s.

### 5.2.9. Suportabilidade do Pára-Raios Frente a Impulsos de Corrente de Longa Duração

Os pára-raios devem ser capazes de descarregar linhas de transmissão com as características da tabela 5.1 quando ensaiados de acordo com 7.3.10.

**Tabela 5.1 – Características de Linhas de Transmissão para Pára-Raios de 10 kA, Classe Distribuição.**

Impedância de surto do gerador $Z (\Omega)$	Duração virtual de crista $T (\mu s)$	Tensão de carga $U_L$ (kV c.c.)
$4,9 U_N$	2000	$3,2 U_N$

Nota:

$U_N$  = Tensão nominal do corpo-de-prova ( $kV_{eficaz}$ )

### 5.2.10. Suportabilidade do Pára-Raios ao Ciclo de Operação

Os pára-raios devem suportar as condições de serviço simuladas pela combinação dos ensaios previstos no ciclo de operação, cujos procedimentos estão descritos no item 7.3.11 desta especificação.

### 5.2.11. Descargas parciais

O valor limite de descargas parciais, quando medido a 1,05 vezes a tensão de operação contínua do pára-raios, não deve ser superior a 10pC.

### 5.2.12. Características Dielétricas do Invólucro

Os pára-raios quando submetidos aos ensaios descritos em 7.3.8, devem suportar no mínimo os valores de tensão apresentados na tabela 5.2.

**Tabela 5.2 – Tensões Suportáveis dos Invólucros**

Código	Tensão Nominal ( $U_N$ ) (kV)	Tensões Suportáveis (kV)	
		Impulso Atmosférico 1,2x50 $\mu s$	60 Hz Sob Chuva Valor Eficaz/60s
E-29/1	12	56	26
E-29/2	15	70	33
E-29/3	21	98	46
E-29/4	24	112	52
E-29/5	27	126	59
E-29/6	33	142	66

Valores superiores aos indicados podem ser aceitos, desde que respeitados os limites indicados na NBR 6939.

### 5.2.13. Característica Tempo x Corrente do Desligador Automático

Devido as suas características de projeto, o desligador automático pode não interromper a corrente de falta através do pára-raios durante a desconexão, e também não evitar a explosão violenta do invólucro após a descarga de corrente de falta pelo pára-raios. No entanto, é recomendável que o mesmo atue de modo no mínimo simultâneo com os dispositivos de proteção de retaguarda. Conseqüentemente, a curva característica de operação tempo x corrente do desligador automático deve coordenar com a curva característica mínima de fusão tempo x corrente dos elos fusíveis 10K com características conforme ETD 007.01.43.

## 6. Condições de Fornecimento

### 6.1. Homologação

Para a homologação dos pára-raios junto às cooperativas pertencentes ao Sistema FECOERGS devem ser apresentados todos os ensaios de tipo previstos nesta especificação. Os ensaios devem ter sido realizados a menos de 5 anos da data da entrega do pedido de homologação. Poderão ser aceitos ensaios realizados até 8 anos desde que acompanhados de uma declaração do responsável técnico de não alteração no produto (matéria-prima, processo de fabricação e projeto) desde a data do ensaio.

Os ensaios devem ser apresentados em português ou inglês. Quando apresentados em outro idioma deverão estar acompanhados de tradução para o português efetuada por tradutor juramentado.

Após a análise dos ensaios e verificação da conformidade do equipamento com esta especificação, a FECOERGS emitirá o certificado técnico dos ensaios.

Os certificados técnicos deverão ser revalidados sempre que:

- a. o equipamento for modificado pelo fabricante;
- b. o equipamento apresentar problemas durante ou após o fornecimento;
- c. a FECOERGS proceder revisão nesta especificação e o equipamento passe a não atender as novas exigências.

A homologação do equipamento pela FECOERGS não eximirá o contratado de sua responsabilidade em fornecer o equipamento em plena concordância com a ordem de compra ou contrato e esta especificação, assim como, não invalidará ou comprometerá qualquer reclamação que a FECOERGS venha a fazer, baseada na existência de equipamento inadequado ou defeituoso. A homologação também não libera o equipamento da necessidade de realização dos ensaios de recebimento.

Os ensaios de tipo devem ser realizados em laboratórios reconhecidos no setor elétrico, certificados pelo INMETRO ou com equipamentos devidamente calibrados por organismos competentes. A FECOERGS faculta o direito de não aceitar ensaios realizados nos laboratórios dos fabricantes.

### 6.2. Acondicionamento

O acondicionamento dos pára-raios deve ser efetuado de modo a garantir um transporte seguro em quaisquer condições e limitações que possam ser encontradas.

Os pára-raios deverão ser embalados individualmente em caixas de papelão ou material similar, de modo a ficarem protegidos durante o manuseio, transporte e armazenagem.

Os acondicionamentos parciais e finais devem ser feitos de modo que a massa e as dimensões permitam o fácil manuseio, transporte e armazenamento do material.

A embalagem será considerada satisfatória se os pára-raios chegarem ao destino em perfeito estado. A FECOERGS considera para efeito de garantia da embalagem, o mesmo período do material e quaisquer prejuízos, decorrentes do mau acondicionamento, serão ressarcidos através de desconto na fatura do mesmo.

A FECOERGS se reserva o direito de solicitar ao fornecedor, para sua prévia aprovação, que apresente anexo à sua proposta, desenho detalhado da embalagem com todas as suas dimensões e com a especificação dos materiais utilizados na sua confecção, os quais devem ser reutilizáveis ou recicláveis.

Nas embalagens individuais devem ser marcadas, de forma legível e indelével, as seguintes informações:

- a. nome e/ou marca comercial do fabricante;
- b. pára-raios de distribuição;

- c. tensão nominal;
- d. tipo ou modelo do fabricante;

Cada volume deve trazer, marcadas de forma legível e indelével, as seguintes informações:

- a. nome e/ou marca comercial do fabricante;
- b. identificação completa do conteúdo;
- c. números da nota fiscal e do pedido de compra;
- d. destinatário (FECOERGS/Cooperativa solicitante);
- e. massa bruta do volume, em kg;
- f. outras informações (solicitadas no pedido).

### 6.3. Garantia

Os pára-raios e seus componentes deverão ser garantidos pelo fornecedor contra falhas ou defeitos de projeto, fabricação e acabamento pelo prazo mínimo de 12 (doze) meses, a partir da data de operação do equipamento ou de 24 (vinte e quatro) meses da data de entrega do material no almoxarifado da cooperativa, prevalecendo o prazo que vencer primeiro.

Caso necessário, o fornecedor será obrigado a reparar defeitos ou substituir o equipamento defeituoso, às suas expensas, responsabilizando-se por todos os custos decorrentes, sejam de material, mão-de-obra ou transporte.

Se a falha constatada for oriunda de erro de projeto, produção ou matéria prima, tal que comprometa todas as unidades do lote, o fornecedor será obrigado a substituí-las, independente do defeito em cada uma delas.

No caso de substituição de peças ou equipamentos defeituosos, o prazo de garantia deverá ser estendido por mais 12 (doze) meses, abrangendo todas as unidades do lote.

## 7. Inspeção e Ensaios

### 7.1. Generalidades

A FECOERGS reserva-se o direito de inspecionar e ensaiar os pára-raios quer no período de fabricação, quer na época de embarque, ou a qualquer momento que julgar necessário. Independentemente da realização da inspeção o fornecedor é responsável pela qualidade e desempenho do material durante o período de garantia.

O fornecedor tomará às suas expensas todas as providências para que a inspeção se realize em condições adequadas, de acordo com as normas recomendadas e com esta especificação. Assim o fornecedor deverá propiciar todas as facilidades para o livre acesso aos laboratórios, às dependências onde estão sendo fabricadas, ao local de embalagem, etc., bem como fornecer pessoal habilitado a prestar informações e executar os ensaios, além de todos os instrumentos (com selo de aferição emitido por órgão devidamente credenciado, com data não superior a 12 meses,) e dispositivos necessários para realizá-los.

As datas em que os equipamentos estarão prontos para inspeção devem ser avisadas à FECOERGS com antecedência mínima de 15 (quinze) dias para fornecedor nacional e de 30 (trinta) dias para fornecedor estrangeiro.

Os custos dos ensaios de recebimento devem ser por conta do fornecedor.

Os custos da visita do inspetor da FECOERGS (locomoção, hospedagem, alimentação, homem-hora e administrativo) correrão por conta do fornecedor nos seguintes casos:

- a. se o material estiver incompleto na data indicada na solicitação de inspeção;
- b. se o laboratório de ensaio não atender às exigências desta especificação;

- c. se o material fornecido necessitar de acompanhamento de fabricação ou inspeção final em sub-fornecedor, contratado pelo fornecedor, em localidade diferente da sede do fornecedor;
- d. devido à re-inspeção do material por motivo de recusa nos ensaios.

## 7.2. Classificação dos ensaios

Os ensaios previstos nesta especificação são classificados em ensaios de tipo, ensaios de recebimento e ensaios complementares e estão relacionados na Tabela 7.1.

### 7.2.1. Ensaios de Tipo

São todos os ensaios, os quais são realizados em amostras do produto com o objetivo de verificar a conformidade do projeto com os requisitos da norma correspondente.

### 7.2.2. Ensaios de Recebimento

Referem-se a uma parcela dos ensaios de tipo, que são realizados em amostras do produto por ocasião do recebimento de cada lote, com o objetivo de verificar a conformidade com o projeto aprovado e homologado. Estes ensaios devem ser realizados nas instalações do fornecedor ou em laboratórios credenciados e reconhecidos pelo setor elétrico, na presença de inspetor da FECOERGS.

### 7.2.3. Ensaios Complementares

Com o objetivo de melhor avaliar o produto ou dirimir dúvidas, a FECOERGS reserva-se o direito de solicitar, sempre que julgar necessário, a realização de qualquer ensaio de tipo por ocasião do recebimento de cada lote.

Tabela 7.1 – Relação dos Ensaios

Item	Descrição dos Ensaios	Tipo	Recebimento	Complementar
7.3.2	Inspeção Geral	X	X	
7.3.3	Verificação Dimensional	X	X	
7.3.4	Verificação da Espessura da Camada de Estanho	X	X	
7.3.5	Verificação do Torque de Instalação	X	X	
7.3.6	Verificação do Esforço de Tração	X	X	
7.3.7	Medição da Tensão de Referência	X	X	
7.3.8	Tensões Suportáveis no Invólucro	X		X
7.3.9	Tensão Residual	X	X	X
7.3.10	Corrente Suportável de Longa Duração	X		X
7.3.11	Ciclo de Operação	X		X
7.3.12	Característica da Tensão Suportável de Freqüência Industrial em Função do Tempo	X		X
7.3.13	Desligador Automático	X		X
7.3.14	Curto-Circuito	X		X
7.3.15	Descargas Parciais	X	X	
7.3.16	Ensaio de estanqueidade	X	X	X
7.3.17	Ensaio de envelhecimento sob tensão de operação simulando condições ambientais	X		X

## 7.3. Metodologia dos Ensaios

Os métodos de ensaio dos pára-raios devem obedecer ao descrito a seguir e estar de acordo com as normas e/ou documentos complementares citados no item 3 desta especificação.

### 7.3.1. Recomendações Comuns aos Ensaios

#### 7.3.1.1. Equipamentos de medição

Os equipamentos utilizados nos circuitos de ensaios devem satisfazer a norma NBR6936.

Salvo indicação em contrário, todos os ensaios a frequência industrial devem ser efetuados com forma de onda senoidal e frequência entre 48 Hz e 62 Hz.

### 7.3.1.2. Corpos de Prova

Exceto quando especificado em contrário, todos os ensaios devem ser realizados nos mesmos pára-raios, que podem ser seções representativas ou unidades de pára-raios novos, com desligador automático acoplado, limpos e completamente montados de maneira tão próxima quanto possível da utilização em serviço, conforme desenho E-29, do item 8.1 desta especificação.

Quando o ensaio é efetuado em seções é necessário que, consideradas as especificidades de cada ensaio, essas seções representem o comportamento de todos os possíveis pára-raios de mesmo projeto. Assim, para que uma seção seja considerada representativa, algumas regras devem ser observadas:

- O volume dos resistores usados como corpos-de-prova não deve ser maior do que o volume mínimo de todos os resistores do pára-raios completo, dividido pelo fator  $n$  obtido pela relação entre a tensão nominal do pára-raios completo e a tensão nominal da seção sob ensaio.
- A tensão de referência ( $U_{REF}$ ) medida para a seção de ensaio deve ser igual a  $k \frac{U_N}{n}$ , onde  $k$  é a relação entre a tensão de referência mínima e a tensão nominal do pára-raios.

Nos casos em que o corpo-de-prova apresentar  $U_{REF} > k \frac{U_N}{n}$ , é necessária a redução proporcional do fator  $n$ . Ao contrário, corpos-de-prova com  $U_{REF} < k \frac{U_N}{n}$  somente podem ser utilizados após acordo com o fabricante, tendo em vista a possibilidade de uma absorção excessiva de energia pelo pára-raios.

### 7.3.2. Inspeção Geral

Antes dos ensaios, o inspetor deve fazer uma inspeção geral, comprovando se os pára-raios estão em conformidade com as exigências desta especificação. Constitui falha a detecção de qualquer não conformidade, conforme orientações apresentadas a seguir.

#### 7.3.2.1. Características Construtivas

Deve ser verificado se o pára-raios contém todos os componentes requeridos e os requisitos mencionados no item 5.1. Quando se tratar de ensaio de recebimento, as características dos pára-raios deverão também estar de acordo com o projeto aprovado.

#### 7.3.2.2. Acabamento

Deve atender os requisitos mencionados no item 4.7.

#### 7.3.2.3. Identificação

Deve atender os requisitos mencionados no item 4.6.

#### 7.3.2.4. Acondicionamento

Deve atender os requisitos mencionados no item 6.2.

#### **7.3.2.5. Análise dos Ensaios nos Materiais do Invólucro e Suporte de Fixação.**

Quando se tratar de aprovação de protótipo, o fabricante deve apresentar para análise do inspetor, os relatórios dos ensaios realizados nos materiais utilizados na formação do invólucro e do suporte de fixação do pára-raios.

Estes relatórios deverão estar em conformidade com o item 7.4 desta especificação, e recomenda-se que os ensaios sejam no mínimo aqueles constantes do item 6.4 da NBR 15232 conforme a seguir:

- a. Dureza.
- b. Envelhecimento Acelerado.
- c. Trilhamento e Erosão.
- d. Flamabilidade.

De forma similar ao previsto para os isoladores pilar poliméricos, as exigências da NBR15232 com relação a procedimentos e resultados devem ser atendidas.

Nota:

A comprovação das características e qualidade dos materiais utilizados através de outros ensaios e/ou metodologias ficará a critério da FECOERGS.

#### **7.3.3. Verificação Dimensional**

Através de aparelhos de medição apropriados, devem ser verificadas todas as dimensões indicadas no desenho 8.1 desta especificação.

Quando se tratar de ensaio de recebimento, todas as dimensões do pára-raios e desligador automático, quando externo, devem estar de acordo com aquelas verificadas no projeto aprovado. Dimensões tais como, diâmetro do corpo e das saias do invólucro, altura, distância de escoamento e distância de arco do pára-raios e dimensões gerais do desligador devem ser verificadas.

Constitui falha ou não conformidade a ocorrência de qualquer divergência entre valores medidos nas amostras e aqueles verificados nos protótipos aprovados ou previstos nesta especificação.

#### **7.3.4. Verificação da Espessura da Camada de Estando**

Este ensaio aplica-se apenas aos terminais e conectores fabricados em liga de cobre e deve ser realizado conforme a ASTM-B-545.

#### **7.3.5. Verificação do Torque de Instalação**

O pára-raios completo, com o desligador automático acoplado, um condutor de cobre de seção  $16\text{mm}^2$  conectado ao terminal de aterramento e um condutor de alumínio CAA 2AWG conectado ao terminal de linha, deve ser submetido gradualmente a um torque de 2,5daN.m aplicado e mantido simultaneamente em ambos os terminais por um tempo mínimo de 1 minuto.

O suporte de fixação deve ser submetido a um torque de 3,0daN.m aplicado ao parafuso do suporte L, conforme desenho E-29, item 8.1.

Após a aplicação dos torques a inspeção visual no pára-raios e suporte não poderá constatar, sob pena de reprovação, a ocorrência de ruptura ou deformação permanente em qualquer terminal, conector ou desligador automático, bem como a ocorrência de danos a qualquer um dos condutores e suporte de fixação.

#### **7.3.6. Verificação do Esforço de Tração**

Quando instalada conforme o desenho padrão E-29 do item 8.1, a braçadeira de fixação deve suportar esforço de tração "F" equivalente a 3 vezes o peso do pára-raios por um

tempo mínimo de 90s. Em seguida a aplicação do esforço, devem ser medidas, na linha de centro do pára-raios, a flecha resultante e a flecha residual.

Constitui falha o não atendimento ao item 5.1.2 desta especificação.

### 7.3.7. Medição da Tensão de Referência

A medição deve ser efetuada, sob tensão em frequência industrial, na temperatura ambiente de 5°C a 40°C, a qual deve ser registrada. O valor da corrente de referência utilizada se refere ao maior valor de crista, independentemente da polaridade.

No caso de ensaio de recebimento, os valores medidos devem estar dentro da faixa especificada pelo fabricante.

Nota:

A obtenção do valor de crista da componente resistiva da corrente diretamente do valor instantâneo do oscilograma da corrente no instante de crista de tensão, pode ser considerada uma aproximação aceitável.

### 7.3.8. Ensaios de Tensão Suportável no Invólucro

#### 7.3.8.1. Generalidades

Estes ensaios demonstram a capacidade dos invólucros de suportarem as solicitações dielétricas em ar e devem ser realizados em corpos-de-prova constituídos pelo pára-raios completo, sem a parte interna ativa.

Se o projeto construtivo for tal que o isolante externo seja moldado diretamente sobre os resistores ou sobre alguma interface de material isolante, o ensaio pode ser realizado substituindo-se os elementos resistores por um material isolante adequado.

As superfícies externas das partes isolantes devem ser cuidadosamente limpas e os corpos-de-prova montados conforme descrito em **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

As condições atmosféricas de referência devem estar de acordo a norma NBR 6936. A tensão a ser aplicada durante o ensaio é o produto da tensão suportável especificada pelo fator de correção, levando em conta os efeitos da densidade de ar e da umidade.

O fator de correção devido à umidade não deve ser aplicado para ensaios sob chuva, cujos procedimentos devem estar de acordo com a norma NBR 6936.

#### 7.3.8.2. Ensaio de Tensão Suportável a Impulso Atmosférico

Os corpos-de-prova devem ser submetidos a tensões de impulso atmosférico com a forma de onda normalizada 1,2/50µs na condição a seco. O ensaio deve ser realizado com a aplicação de 15 (quinze) impulsos consecutivos de cada polaridade (positiva e negativa) de acordo com a NBR 6936.

O invólucro é considerado aprovado se não ocorrer descarga disruptiva interna e, se o número de descargas disruptivas externas não exceder a dois para cada série de (15) quinze impulsos.

Os valores de tensão de ensaio são os indicados na Tabela 5.2.

Nota:

Se a distância de arco a seco, ou a soma das distâncias de arcos parciais, for maior do que a tensão de ensaio dividida por 500kV/m, não é necessária a execução desse ensaio.

### 7.3.8.3. Ensaio de Tensão Suportável à Freqüência Industrial

Os corpos-de-prova devem ser ensaiados na condição sob chuva, conforme os requisitos da norma NBR6936 e o valor de crista da tensão de ensaio, aplicado durante 60 segundos, deve ser obtido da Tabela 5.2.

Constitui falha neste ensaio a ocorrência de disrupção.

### 7.3.9. Ensaios de tensão residual

#### 7.3.9.1. Generalidades

Utilizam-se os ensaios de tensão residual para a obtenção dos máximos valores de tensão residual e conseqüentemente dos níveis de proteção do projeto de pára-raios sob ensaio, para os impulsos de corrente íngreme, atmosférico e corrente de manobra conforme descrito nos itens 7.3.9.2 a 7.3.9.4.

Os ensaios devem ser realizados em três corpos-de-prova novos e os tempos entre as aplicações dos impulsos devem ser dimensionados de forma a permitir que os mesmos retornem à temperatura ambiente.

Em pára-raios com tensões nominais de 12kV, os corpos-de-prova devem ser pára-raios completos. Em projetos com tensões nominais superiores os ensaios podem ser realizados em seções representativas com tensão nominal mínima de 12kV, incorporando o desligador automático.

A máxima tensão residual para um determinado projeto de pára-raios, para qualquer forma de onda, é calculada com base nos resultados dos ensaios de tipo nos corpos-de-prova multiplicados por um fator de escala específico. O fator de escala é igual à relação entre o valor de tensão residual máximo garantido pelo fabricante e o valor de tensão residual medido na seção sob ensaio, para a mesma forma de onda.

Notas:

1. Nos casos em que o corpo-de-prova é o pára-raios completo o fator de escala é igual a 1 (um).
2. Quando são utilizadas seções representativas, o cálculo da tensão residual para o pára-raios completo deve considerar a tensão residual do desligador automático.
3. Os valores de tensão de referência podem também ser utilizados para o cálculo do fator de escala.
4. Em ensaios de recebimento, apenas a tensão residual a impulso atmosférico é verificada e o número de amostras ensaiadas definido conforme Tabela 7.4.

#### 7.3.9.2. Ensaio de Tensão Residual a Impulso de Corrente Íngreme

Deve ser aplicado, a cada um dos três corpos-de-prova, um impulso de corrente íngreme com valor de crista igual à corrente de descarga nominal do pára-raios, com tolerância de 5%. O valor de crista e a forma do impulso de tensão resultante nos três corpos-de-prova devem ser registrados em oscilogramas. Caso necessário, os efeitos indutivos associados aos circuitos de medição e ensaio e à geometria do corpo-de-prova devem ser corrigidos conforme a seguir:

Deve ser aplicado um impulso de corrente íngreme, conforme já descrito, a um bloco de material metálico com as mesmas dimensões do corpo-de-prova e o valor de crista e a forma da tensão residual devem ser registrados. Caso este valor de crista de tensão residual esteja compreendido entre 2% e 20% do valor de crista da tensão residual no corpo-de-prova sob ensaio, a amplitude da tensão no bloco metálico deve ser subtraída da amplitude de cada uma das tensões residuais dos corpos-de-prova sob ensaio e os valores de crista resultantes devem ser assumidos como sendo os valores corrigidos de tensão para os corpos-de-prova sob ensaio. Se o valor de crista da tensão residual no bloco metálico for menor que 2% do valor de crista da tensão residual no corpo-de-prova sob ensaio não há a necessidade de

correção e se for maior que 20%, a geometria entre o circuito de medição de tensão residual e o corpo-de-prova deve ser melhorada.

Nos casos de corpos-de-prova constituídos por pára-raios completos, o valor de crista mais elevado dos três é a tensão residual a impulso de corrente íngreme.

Quando os corpos-de-prova forem seções representativas, o valor de crista mais elevado dos três corpos-de-prova sob ensaio deve ser utilizado para determinar a tensão residual para corrente íngreme do pára-raios completo, conforme a seguir.

1. Multiplicar o valor de crista da tensão residual do corpo-de-prova sob ensaio pelo fator de escala conforme 7.3.9.1.
2. Determinar a queda de tensão indutiva entre os terminais do pára-raios usando a equação a seguir:

$$U_L = L'h \frac{I_n}{T_f} \quad [7.1]$$

onde:

$U_L$  = valor de crista da queda de tensão Indutiva (kV);

$L'$  = indutância por unidade de comprimento do pára-raios, igual a 1 $\mu$ H/m para pára-raios de uso externo;

$h$  = distância entre os terminais do pára-raios (m);

$I_n$  = corrente de descarga nominal do pára-raios, igual a 10kA para esta especificação;

$T_f$  = tempo de frente do impulso de corrente, igual a 1 $\mu$ s para corrente íngreme.

3. O valor da tensão residual para impulso de corrente íngreme do pára-raios é a soma dos resultados obtidos nas alíneas a e b.

O projeto é considerado aprovado neste ensaio se a máxima tensão residual medida não ultrapassar o valor aplicável entre os máximos admissíveis apresentados na coluna 4 da Tabela 8.1 desta especificação. No caso de ensaio complementar, a máxima tensão residual medida não deve ultrapassar o valor máximo de tensão residual garantido pelo fabricante no relatório de ensaio de tipo.

Nota:

O tempo de resposta do circuito de medição deve estar de acordo com a Norma NBR6937.

### 7.3.9.3. Ensaio de tensão residual a impulso atmosférico

Devem ser aplicados a cada um dos corpos-de-prova, impulsos de corrente com valores de crista iguais a 50, 100 e 200% da corrente de descarga nominal do pára-raios admitindo-se uma tolerância de 5%. A forma de onda do impulso é 8/20 $\mu$ s sendo que o tempo virtual de frente deve estar entre 7 $\mu$ s e 9 $\mu$ s e o tempo de cauda não deve ultrapassar 25 $\mu$ s.

Os valores máximos das tensões residuais dos pára-raios completos, calculados conforme 7.3.9.1, devem ser utilizados para o levantamento da curva característica "Tensão residual x corrente de descarga". A tensão residual obtida dessa curva a partir da corrente de descarga nominal é definida como sendo o nível de proteção a impulso atmosférico do pára-raios.

O projeto é considerado aprovado neste ensaio se a máxima tensão residual medida não ultrapassar o valor aplicável entre os máximos admissíveis apresentados na coluna 5 da Tabela 8.1 desta especificação, ou no caso de ensaio complementar, se a máxima tensão residual medida não ultrapassar o valor máximo de tensão residual garantido pelo fabricante no relatório de ensaio de tipo.

Quando se tratar de ensaio de recebimento apenas um valor de crista da corrente é utilizado e em função das limitações laboratoriais, pode ser inferior a 5kA chegando até um mínimo de 100A. Neste caso, este valor de corrente deve ter sido também utilizado nos ensaios de tipo e conseqüentemente, constar do relatório. Os pára-raios são considerados aprovados nos ensaios de recebimento se as tensões residuais máximas medidas não ultrapassarem os respectivos valores garantidos apresentados nos ensaios de tipo.

#### **7.3.9.4. Ensaio de tensão residual a impulso de corrente de manobra**

Este ensaio deve ser realizado com impulsos de corrente de manobra de 125A e 500A de crista, com tolerância de 5%, aplicados aos três corpos-de-prova.

As tensões residuais dos pára-raios completos são calculadas conforme 7.3.9.1 e a tensão residual a impulso de corrente de manobra do pára-raios é definida como sendo o maior dos três valores de crista de tensão, para cada um dos impulsos acima. O nível de proteção a impulso de manobra do pára-raios, sob uma corrente especificada, é definido como a maior tensão residual medida no ensaio.

O projeto é considerado aprovado neste ensaio se a máxima tensão residual medida não ultrapassar o valor aplicável entre os máximos admissíveis apresentados na coluna 6 da Tabela 8.1 desta especificação, ou no caso de ensaio complementar, se a máxima tensão residual medida não ultrapassar o valor máximo de tensão residual garantido pelo fabricante no relatório de ensaio de tipo.

#### **7.3.10. Ensaio de Corrente Suportável de Impulso de Longa Duração**

##### **7.3.10.1. Generalidades**

Este ensaio tem por finalidade verificar a capacidade dos pára-raios de escoar as correntes de descarga de longa duração e deve ser efetuado em três corpos-de-prova novos, selecionados conforme 7.3.1 e que tenham apresentado a menor tensão de referência, medida conforme 7.3.7.

Os corpos-de-prova devem ter o desligador automático acoplado em condições de operar e podem ser pára-raios completos, seções representativas ou resistores, com tensão nominal de no mínimo 3 kV, não necessitando ultrapassar os 12 kV.

Para fins de avaliação, antes do ensaio deve ser medida em cada corpo-de-prova a tensão residual a impulso atmosférico na corrente de descarga nominal.

Notas:

1. Não havendo limitações do circuito de ensaios, é recomendável que o corpo-de-prova possua pelo menos dois resistores não lineares a óxido metálico;
2. Durante os ensaios, os resistores podem ser expostos ao ar livre com temperaturas de 5°C a 40°C.

##### **7.3.10.2. Procedimento**

Este ensaio consiste em submeter os corpos-de-prova a dezoito aplicações, divididas em seis grupos de três, de impulsos de corrente simulando descargas de linhas de transmissão. Os intervalos de tempo entre aplicações devem ser de 50s a 60s, e entre grupos de acordo com o tempo necessário para resfriamento dos corpos-de-prova até próximo da temperatura ambiente. Deverão ser efetuados em cada corpo-de-prova registros oscilográficos da tensão e corrente em pelo menos uma aplicação do primeiro e do último grupo, com preferência para a primeira e para a última aplicação.

O gerador de impulso a ser utilizado deve ser do tipo “constantes distribuídas”, conforme princípio geral apresentado no anexo I da IEC 60099-4, com os parâmetros de acordo com a Tabela 5.1.

A energia ( $W$ ) absorvida pelo corpo-de-prova é determinada pela equação:

$$W = U_{RES} (U_L - U_{RES}) \frac{T}{Z} \quad [7.2]$$

onde:

$U_{RES}$  = menor valor de tensão residual a impulso de corrente de manobra medido nos três corpos-de-prova para a corrente de 125A (kV);

$U_L$  = tensão de carga (kV<sub>cc</sub>);

$T$  = Duração virtual de Crista ( $\mu$ s);

$Z$  = Impedância de surto do gerador ( $\Omega$ ).

O ensaio pode ser realizado com um gerador que atenda os seguintes requisitos:

- A duração virtual de crista do impulso de corrente deve estar entre 100% a 120% do valor especificado na Tabela 5.1.
- A duração virtual total do impulso de corrente não deve exceder de 150% da duração virtual de crista do impulso de corrente.
- As oscilações ou iniciais sobre elevações na forma de onda não devem ser superiores a 10% do valor de crista da corrente. Caso ocorram oscilações, uma curva média deve ser definida para a determinação do valor de crista da corrente.
- A energia de cada impulso de corrente aplicado a cada corpo-de-prova deve estar compreendida entre 90% e 110% da calculada conforme equação acima para o primeiro impulso, e entre 100% e 110% para os demais.

O gerador deverá ser desligado do corpo-de-prova após um período compreendido entre 1 e 2 vezes a duração total do impulso de corrente.

Os valores de energia dissipados em cada corpo-de-prova durante uma operação no primeiro e no sexto grupos, com preferência para a primeira e última aplicação, devem ser determinados através dos oscilogramas de tensão e corrente e registrados no relatório de ensaio.

Os corpos-de-prova devem ser considerados aprovados se:

- a variação dos valores da tensão residual, medidos antes e após o ensaio, não superar  $\pm 5\%$ ;
- a inspeção visual externa dos corpos-de-prova não revelar descarga disruptiva nem qualquer quebra de componentes;
- a inspeção visual interna dos corpos-de-prova não revelar trincas ou perfuração nos resistores.

Nota:

Nos casos de projetos de pára-raios que apresentem dificuldades no processo de retirada do invólucro de forma a possibilitar danos aos resistores não-lineares, a inspeção visual interna pode ser substituída pela aplicação de um impulso adicional de longa duração após o resfriamento do corpo-de-prova até a temperatura ambiente. Conseqüentemente a aprovação fica condicionada à verificação da suportabilidade do corpo-de-prova a este impulso adicional pela análise de oscilogramas,

### 7.3.11. Ensaio de Ciclo de Operação

#### 7.3.11.1. Generalidades

As condições de serviço dos pára-raios são simuladas neste ensaio através da aplicação de impulsos atmosféricos em corpos-de-prova energizados com tensão de frequência industrial.

Os procedimentos do ensaio podem ser divididos em 4 etapas conforme indicado a seguir:

- a. Medições iniciais.
- b. Ensaio de condicionamento.
- c. Aplicação de impulsos.
- d. Medições finais e inspeção visual.

A Tabela 7.2 apresenta esquematicamente o detalhamento dos procedimentos.

**Tabela 7.2 - Procedimentos para Ensaio de Ciclo de Operação**

Etapas	Procedimentos	Item	Tensão de Frequência Industrial	Impulso					
				Crista (kA)	Onda (µs)	Número Aplicações			
Medição Inicial	Temperatura ambiente 20±15°C - Medição da tensão residual	7.3.11.4		10	8/20	1			
	Intervalo								
Condicionamento	Temperatura ambiente 20±15°C: - Aplicação de impulsos: 4 grupos de 5 Tempo entre aplicações: 50s a 60s Tempo entre grupos: 25min a 30 min.	7.3.11.5	1,2 x $U_C^*$	10	8/20	20 = 4 x 5			
	Intervalo								
Aplicação de Impulsos de Corrente Elevada	Temperatura ambiente 20±15°C: - Aplicação de Impulso	7.3.11.6		100	4/10	1			
	Aquecimento dos corpos-de-prova								
	Resistores a 60 ± 3°C: - Aplicação de Impulso						100	4/10	1
	Tempo máximo 100ms								
	Aplicação por 10s: - Tensão nominal corrigida						$U_N^*$		
	Aplicação por 30 min.: - Tensão de operação contínua corrigida						$U_C^*$		
	Intervalo: Tempo para resfriamento								
Medição e Inspeção Final	Temperatura ambiente 20±15°C: - Medição da tensão residual	7.3.11.7		10	8/20	1			
	Inspeção visual externa								
	Inspeção visual interna								

Para que o ensaio reproduza o mais fielmente possível as condições de serviço, alguns cuidados devem ser tomados com relação às tensões de frequência industrial utilizadas nas diversas etapas:

- a. as medidas devem ser efetuadas com incerteza de medição de até 3%;
- b. a variação entre os valores de crista nas condições em vazio e de plena carga não deve superar 1%;
- c. a relação entre o valor de crista dividido por  $\sqrt{2}$  e o valor eficaz não deve diferir em mais de 2%;
- d. durante todo o ensaio não deve ocorrer variação superior a 1% em relação aos valores especificados;
- e. os valores aplicados devem ser corrigidos conforme item 7.3.11.3.

#### 7.3.11.2. Corpos-de-prova

O ensaio deve ser realizado em três corpos-de-prova novos, selecionados conforme 7.3.1 e que não tenham sido submetidos previamente a qualquer ensaio exceto aqueles aqui especificados para fins de avaliação.

Os corpos-de-prova devem ser pára-raios completos ou, havendo limitação de circuito, corpos-de-prova de no mínimo 12 kV, construídos com os mesmos materiais e dimensões e que contenham todos os elementos estruturais do projeto de pára-raios sob ensaio, de forma tal que possam ser considerados equivalentes termicamente ao pára-raios completo.

Assim, quando se tratar de corpos-de-prova que não sejam pára-raios completos, alguns requisitos são exigidos:

- a. A ausência de alguns dos elementos estruturais nos corpos-de-prova somente é aceitável se demonstrado que esses elementos são necessários para a manutenção da rigidez dielétrica do conjunto ou que dificultem os processos de dissipação de calor.
- b. As conexões elétricas internas aos corpos-de-prova devem ser efetuadas com condutores de cobre de diâmetro máximo de 3 mm.
- c. O diâmetro interno do invólucro do corpo-de-prova deve ser igual ao do pára-raios com tolerância de  $\pm 5\%$ .
- d. A massa total do corpo-de-prova não deve exceder em 10% a massa da seção média do invólucro do pára-raios que está sendo representado.

No caso de dúvidas quanto à equivalência térmica, deve ser realizado o ensaio descrito no anexo B da IEC 60099-4.

A tensão de operação contínua ( $U_C$ ) e a tensão nominal ( $U_N$ ) dos corpos-de-prova devem ser aquelas definidas para o pára-raios completo dividido pelo fator  $n$  calculado conforme 7.3.1.

#### 7.3.11.3. Correção das Tensões de Ensaio

O principal requisito para aprovação do pára-raios no ensaio de ciclo de operação é a capacidade de dissipação de perdas dos resistores não lineares.

Considerando que neste ensaio são utilizados corpos-de-prova novos, para melhor representar uma situação real, faz-se necessário que as tensões de frequência industrial aplicadas tenham seus valores de amplitude corrigidos, de forma que os resistores novos tenham a capacidade de dissipação de perdas semelhante aquelas de resistores de pára-raios em uso e, portanto, já submetidos à tensão de frequência industrial por um longo período.

Assim, as tensões de frequência industrial utilizadas neste ensaio serão a tensão de operação contínua corrigida ( $U_C^*$ ) e a tensão nominal corrigida ( $U_N^*$ ) as quais devem ser calculadas pelas equações 7.3 e 7.4 respectivamente.

$$U_C^* = K_1 \frac{U_C}{n} \quad [7.3]$$

$$U_N^* = K_1 \frac{U_N}{n} \quad [7.4]$$

onde:

$K_1$  = fator de correção obtido através do ensaio de envelhecimento acelerado conforme item 8.5.2 da IEC 60099-4;

$U_C$  = tensão de operação contínua do pára-raios completo;

$U_N$  = tensão nominal do pára-raios completo;

$n$  = fator calculado conforme item 7.3.1.

Nota:

Mediante acordo prévio entre FECOERGS e fabricante e/ou fornecedor o fator  $K_1$  pode ser substituído pela aplicação de fator de correção da tensão de ensaio em função da relação entre a tensão de referência do corpo-de-prova e a tensão de referência mínima declarada.

#### 7.3.11.4. Medições Iniciais

A primeira parte do ensaio de ciclo de operação consiste da medição da tensão residual sob corrente de descarga nominal nos três corpos-de-prova, à temperatura ambiente, que também deve ser registrada, para referência futura.

#### 7.3.11.5. Condicionamento dos Corpos-de-Prova

Após as medições iniciais os três corpos-de-prova devem ser submetidos ao procedimento de condicionamento que consiste em 20 impulsos de corrente com forma 8/20 com o valor de crista igual à 10kA. Os impulsos devem ser aplicados com o corpo-de-prova submetido a uma tensão eficaz de frequência industrial de valor igual a 1,2 vezes a sua tensão de operação contínua corrigida ( $U_C^*$ ).

Os 20 impulsos devem ser aplicados em 4 grupos de 5 impulsos. O intervalo entre os impulsos deve ser de 50s a 60s e o intervalo entre grupos de 25min a 30min. Não é necessário que o corpo-de-prova permaneça energizado no intervalo entre grupos de impulsos. A polaridade do impulso de corrente deve ser aquela relativa ao meio ciclo da tensão de frequência industrial que estiver sendo aplicada no instante do impulso, devendo estar entre  $60 \pm 15$  graus elétricos antes da crista da tensão de frequência industrial.

O condicionamento deve ser feito à temperatura ambiente de  $20 \pm 15^\circ\text{C}$  e o valor de crista do impulso de corrente deve estar na faixa de 90% a 110% do valor de crista especificado.

Após o condicionamento, os corpos-de-prova são armazenados para uso na etapa seguinte do ensaio de ciclo de operação.

#### 7.3.11.6. Aplicação de Impulsos

Devem ser aplicados dois impulsos de corrente elevada com valores de crista de 100kA e forma de onda de 4/10 $\mu\text{s}$ . No primeiro os corpos-de-prova devem apresentar temperatura entre  $20 \pm 15^\circ\text{C}$ . A segunda aplicação do impulso deve ser feita após o aquecimento dos corpos-de-prova em estufa, de forma que os resistores não lineares estejam a uma temperatura de  $60 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Para verificar a estabilidade térmica dos corpos-de-prova, em um intervalo de tempo máximo de 100ms após o segundo impulso de corrente elevada, deve-se aplicar uma tensão de frequência industrial com o valor da tensão nominal corrigida ( $U_N^*$ ) por um período de 10s e

passando em seguida para o valor da tensão de operação contínua corrigida ( $U_C^*$ ) por um período de 30min, no qual, a corrente deve ser registrada continuamente.

Os impulsos de corrente devem ser registrados por meio de oscilogramas e não devem evidenciar nenhum dano aos resistores não lineares, tais como perfuração ou descarga externa.

A temperatura dos resistores, a componente resistiva da corrente ou a potência dissipada devem ser monitoradas durante a aplicação das tensões de frequência industrial a fim de comprovar a estabilidade térmica dos corpos-de-prova.

Os corpos-de-prova são considerados termicamente estáveis e aprovados se o valor de crista da componente resistiva da corrente de fuga, ou a potência dissipada, ou a temperatura dos resistores não lineares decrescerem de forma contínua pelo menos durante os últimos quinze minutos da aplicação da tensão  $U_C^*$ .

Nos casos em que não existam indícios suficientes para um julgamento seguro sobre a estabilidade térmica dos corpos-de-prova ao final do período de aplicação de tensão  $U_C^*$ , o tempo de aplicação desta deve ser estendido até que o comportamento da componente resistiva da corrente, ou da potência dissipada ou ainda da temperatura esteja suficientemente claro. Se uma tendência de acréscimo da corrente, potência ou temperatura não for observada dentro do período de 3 h de aplicação da tensão  $U_C^*$ , a estabilidade está comprovada.

Conforme norma NBR 6936, os equipamentos devem ser ajustados de forma que as tolerâncias nos valores medidos dos impulsos de corrente estejam dentro dos seguintes limites:

- de 90% a 110% do valor de crista especificado;
- de 3,6 $\mu$ s a 4,4 $\mu$ s no tempo virtual de frente;
- de 9 $\mu$ s a 11 $\mu$ s no tempo virtual de cauda;
- o valor de crista de qualquer impulso de corrente de polaridade oposta deve ser menor do que 20% do valor de crista da corrente especificada;
- pequenas oscilações são permitidas no impulso desde que a sua amplitude nas vizinhanças da crista do impulso seja menor que 5% do valor de crista. Nessas condições, para fins de medição, uma curva média é aceita para determinação do valor de crista.

Notas:

1. Os impulsos do ensaio de condicionamento e de corrente elevada devem ser aplicados com a mesma polaridade.
2. De modo a reproduzir as condições reais do sistema, o segundo impulso de corrente elevada deve ser, preferencialmente, aplicado enquanto o corpo-de-prova estiver energizado a  $U_N^*$ . Os 100ms são permitidos apenas em virtude de limitações práticas no circuito de ensaio.
3. O anexo H da IEC 60099-4 apresenta um circuito típico para o ensaio de ciclo de operação em pára-raios classe distribuição.

### 7.3.11.7. Medições Finais e Inspeção Visual

Após a aplicação dos impulsos e respectivo tempo de monitoramento deve-se aguardar o resfriamento dos corpos-de-prova até a temperatura ambiente, nas mesmas condições previstas em 7.3.11.5, para em seguida medir a tensão residual sob corrente de descarga nominal.

A variação dos valores da tensão residual, medidos antes e depois do ciclo de operação, não deve ser superior a  $\pm 5\%$ ;

Os procedimentos seguintes são a inspeção visual externa e interna dos corpos-de-prova que são considerados aprovados quando:

- a. a inspeção visual externa não revelar descarga disruptiva nem qualquer quebra de componentes;
- b. a inspeção visual interna não revelar trincas ou perfuração nos resistores.

Notas:

Nos casos de projetos de pára-raios que apresentem dificuldades no processo de retirada do invólucro de forma a possibilitar danos aos resistores não-lineares, a inspeção visual interna pode ser substituída pela aplicação de 2 (dois) impulsos de 10kA com onda 8/20 $\mu$ s em cada corpo-de-prova. O primeiro impulso deverá ser aplicado após intervalo de tempo suficiente para que os corpos-de-prova se resfriem até a temperatura ambiente e o segundo entre 50s a 60s após. Conseqüentemente a aprovação fica condicionada à verificação da suportabilidade dos corpos-de-prova a estes impulsos adicionais pela análise dos oscilogramas de tensão e corrente e a não constatação de diferença entre qualquer valor de tensão residual medido superior a  $\pm$  5%.

### 7.3.12. Característica da Tensão Suportável de Freqüência Industrial em Função do Tempo

Este ensaio tem como objetivo a verificação experimental das características de suportabilidade dos pára-raios às tensões temporárias de freqüência industrial, que devem ser fornecidas pelo fabricante conforme item 5.2.4.

Os procedimentos para o ensaio estão resumidos na Tabela 7.3

Notas:

1. As características dos equipamentos e os procedimentos deste ensaio devem ser os mesmos recomendados para o ensaio de ciclo de operação, conforme item 7.3.11.6.
2. Pelo menos três pontos da curva da tensão suportável de freqüência industrial versus tempo devem ser verificados.
3. Os valores de tensão declarados na curva devem ser corrigidos conforme item 7.3.11.3.
4. O impulso de corrente elevada é aplicado para a definição da curva característica com energia prévia.

**Tabela 7.3 – Procedimentos para Verificação da Curva de Tensão Suportável de Freqüência Industrial Versus Tempo**

Procedimentos	Obs.	Tensão de Freqüência Industrial	Impulso		
			Crista (kA)	Onda ( $\mu$ s)	Número
Aquecimento do corpo-de-prova					
Corpo-de-prova a $60 \pm 3^\circ\text{C}$ : - Aplicação de Impulso	Notas: 1 e 4		100	4/10	1
Tempo máximo 100ms					
Aplicação: - Tensões x tempos declarados	Notas 1 a 3	$U^*$			
Aplicação: - Tensão de operação contínua corrigida - Tempo: 30 min.	Nota 1	$U_C^*$			

### 7.3.13. Ensaio de Desligador Automático

#### 7.3.13.1. Generalidades

Este ensaio tem por objetivo verificar se o desligador automático cumpre efetivamente a função para o qual foi projetado. Para isto, é necessário que este dispositivo, além de ter comprovada sua suportabilidade às solicitações térmicas e mecânicas previstas para os pára-raios, apresente as características de proteção de sobrecorrente exigidas em 5.2.13.

Assim, os desligadores devem ser submetidos aos seguintes ensaios:

- a. Como parte integrante do pára-raios (pára-raios completos ou seções representativas):
  - corrente suportável de longa duração;
  - ciclo de operação.
- b. Em procedimento específico:
  - característica tempo x corrente.

Se por algum motivo os desligadores não tiverem sido submetidos aos ensaios de corrente suportável de longa duração e ciclo de operação junto com os pára-raios, estes deverão ser executados separadamente de acordo com os procedimentos descritos em 7.3.10 e 7.3.11.

#### 7.3.13.2. Procedimentos para o Ensaio de Característica Tempo x Corrente

A curva característica tempo x corrente do desligador automático deve ser obtida considerando-se no mínimo os valores eficazes de 20A, 80A, 200A e 800A, com tolerâncias de  $\pm 10\%$ . Devem ser ensaiados no mínimo cinco corpos-de-prova novos, constituídos por pára-raios completos ou somente pelos desligadores, para cada um dos valores de corrente.

Projetos em que o aquecimento interno do pára-raios pode afetar a operação do desligador automático devem ser ensaiados com os resistores curto-circuitados por um condutor de cobre nu com um diâmetro entre 0,08 mm e 0,13 mm, de modo a iniciar o arco interno.

Desligadores instalados externamente ou que não são afetados pelo aquecimento interno produzido pelo pára-raios, devem ser ensaiados com os resistores curto-circuitados ou substituídos por um condutor de seção apropriada para evitar a sua fusão durante o ensaio. Alternativamente nestes casos, os desligadores podem ser ensaiados sem a presença dos pára-raios.

Os corpos-de-prova devem ser montados, o mais próximo possível da condição real de operação e a conexão ao aterramento deve ser efetuada por meio de cordoalha flexível de 25mm<sup>2</sup> de seção e 300 mm de comprimento, instalada de tal modo que permita um movimento livre do desligador automático durante a sua operação.

A tensão de ensaio deve ser suficiente para manter, pelo tempo necessário, a plena corrente de arco que curto-circuita os elementos do pára-raios, e para dar origem e manter o arco em qualquer eventual centelhador do qual dependa a operação do desligador. A tensão de ensaio não deve exceder a tensão do pára-raios de menor tensão nominal para o qual o desligador automático foi projetado.

O desenho 8.2 mostra um circuito típico para este ensaio. Os parâmetros deste circuito devem ser inicialmente ajustados com o corpo-de-prova curto-circuitado por meio de um condutor de impedância desprezível, de modo a produzir o valor de corrente desejado. O sistema de fechamento do circuito deve ser sincronizado de forma que se possa prover a energização do circuito de ensaio com uma diferença de poucos graus elétricos do ponto em que se verifica a crista da tensão e produzir uma corrente aproximadamente simétrica. Caso necessário, o tempo de circulação da corrente através do corpo-de-prova pode ser ajustado por meio de uma chave de abertura. O condutor que curto-circuita o corpo-de-prova deve ser

removido após o ajuste dos parâmetros do circuito. A corrente deve ser mantida no valor desejado até ocorrer a operação do desligador automático.

Deve ser registrado em gráfico, para todos os corpos-de-prova, o valor eficaz e a duração da corrente através do desligador sob ensaio, até o instante de operação do desligador. A característica tempo-corrente do desligador deve ser traçada pelos pontos de máxima duração como uma curva contínua e devem ser utilizados somente os valores correspondentes às operações efetivas dos corpos-de-prova considerados nos ensaios.

O projeto do desligador é considerado aprovado se todas as seguintes condições forem atendidas:

- a. não ocorrer atuação de nenhuma amostra nos ensaios de ciclo de operação e corrente suportável de longa duração;
- b. ficarem evidentes as efetivas separações entre o cabo de aterramento e o pára-raios em todas as aplicações;
- c. a curva característica levantada atender o exigido no item 5.2.13.

Nota:

Se ocorrer falha em apenas um dos corpos-de-prova, para um determinado nível de corrente, repete-se o ensaio neste nível de corrente com o mesmo número de corpos-de-prova novos. Neste caso devem ocorrer operações efetivas para todos os corpos-de-prova.

### 7.3.14. Ensaios de Curto-Circuito

#### 7.3.14.1. Generalidades

O Objetivo deste ensaio é verificar o comportamento do pára-raios no momento em que ocorre avalanche térmica dos resistores não lineares. Para a segurança de profissionais, transeuntes, materiais ou equipamentos, a falha do pára-raios não pode resultar em fragmentação violenta do invólucro nem pode haver propagação de chamas.

Este ensaio deve ser executado baseado na corrente nominal de curto-circuito ( $I_{SC}$ ) definida em 5.2.6 e nas condições determinadas em 7.3.1.1.

Os procedimentos a seguir apresentados seguem as orientações do item 8.7 da IEC 60099-4, especificamente para pára-raios classe distribuição, projeto tipo B (tipo sólido) com invólucro polimérico.

Quatro amostras de pára-raios devem ser ensaiadas em diferentes níveis de corrente de curto circuito. Para os pára-raios objetos desta especificação, a IEC 60099-4 recomenda os seguintes valores de corrente:

- a. Altas correntes de curto-circuito:
  - 10kA (100% de  $I_{SC}$ );
  - 6kA (60% de  $I_{SC}$ );
  - 3kA (30% de  $I_{SC}$ );
- b. Baixa corrente de curto-circuito:
  - $600 \pm 200A_{eficaz}$

Para simular as condições reais em que ocorre a falha do pára-raios, os ensaios com correntes elevadas de curto-circuito devem ser efetuados com valores de tensão próximos da tensão nominal do pára-raios. No entanto, considerando-se as possíveis limitações impostas por laboratórios, dois procedimentos alternativos podem ser utilizados:

- ensaio com alta corrente de curto-circuito à tensão plena ( $77\% \leq U_N \leq 107\%$ );
- ensaio com alta corrente de curto-circuito à tensão reduzida ( $U_N \leq 77\%$ ).

### 7.3.14.2. Corpos-de-Prova

Exceto pelo desligador automático, que deve ser retirado, os corpos-de-prova devem ser pára-raios completos, pré-falhados eletricamente por uma sobretensão de frequência industrial, com valor superior  $1,15U_C$ , a ser indicado pelo fabricante.

A pré-falha é efetuada com a aplicação da sobretensão recomendada sobre a unidade de ensaio completamente montada e deve ocorrer dentro de um tempo de  $5 \pm 3$  min. Considera-se a falha do pára-raios, quando a tensão sobre os resistores cair abaixo de 10% da tensão inicialmente aplicada. A corrente de curto-circuito do circuito de ensaio de pré-falha não deve exceder 30A e o tempo entre a pré-falha e o ensaio de corrente de curto-circuito nominal não deve exceder 15min. Após a pré-falha até a aplicação das correntes de curto-circuito o corpo-de-prova não poderá sofrer qualquer alteração física.

O desenho 8.3 mostra esquematicamente a montagem para este ensaio. O corpo-de-prova deve ser montado verticalmente em cruzeta não metálica, através das ferragens comuns à sua instalação, na posição central de um cercado feito de material não metálico. Para a finalidade deste ensaio, o suporte de montagem do pára-raios deve ser considerado como parte da sua base e a parte inferior do mesmo deve estar a uma altura igual à altura do cercado. Este conjunto deve estar apoiado sobre uma plataforma isolante e o cabo de ligação entre o corpo-de-prova e o sensor de corrente deverá ser isolado para no mínimo 1000V. A distância de arco entre o topo do pára-raios e qualquer outro objeto metálico (flutuante ou aterrado), com exceção das ferragens da base, deverá ser de no mínimo 1,6 vezes a sua altura, porém não inferior a 0,9m. O cercado não deve abrir ou se mover durante o ensaio.

Notas:

1. A pré-falha pode ser obtida por meio da aplicação de uma fonte de tensão ou de uma fonte de corrente sobre os corpos-de-prova.
  - a. Método da fonte de tensão: tipicamente, a corrente inicial deve estar entre 5 e  $10\text{mA}/\text{cm}^2$  e a corrente de curto-circuito entre 1A e 30A.
  - b. Método da fonte de corrente: a densidade de corrente em torno de  $15\text{mA}/\text{cm}^2$  com variação de  $\pm 50\%$ , resultará na falha dos resistores na faixa de tempo especificada. Tipicamente a corrente de curto-circuito deve estar entre 10A e 30A.
2. A direção dos condutores na montagem do pára-raios deve representar a condição mais desfavorável da instalação no campo.
3. Nos pára-raios poliméricos, o condutor de aterramento deve ser posicionado na direção oposta ao condutor de entrada. Deste modo, o arco ficará perto do pára-raios durante toda a duração da corrente de curto-circuito, criando a condição mais desfavorável com relação ao risco de fogo.
4. Caso limitações físicas de espaço no laboratório não permitam um cercado do tamanho especificado, o fabricante pode escolher um cercado de menor dimensão.

### 7.3.14.3. Ensaio com Alta Corrente de Curto-Circuito à Tensão Plena

Três corpos-de-prova preparados e montados de acordo com 7.3.14.2 devem ser ensaiados em 3 diferentes valores de corrente conforme descrito em 7.3.14.1.

O ensaio deve ser realizado em um circuito monofásico, com uma tensão de ensaio de circuito aberto entre 77% e 107% da tensão nominal do corpo-de-prova e a duração total da medida do fluxo decorrente no circuito deve ser igual ou maior que 0,2s.

A corrente presumida deve ser medida primeiramente realizando-se uma aplicação com o pára-raios curto-circuitado ou substituído por uma ligação sólida de impedância desprezível. Para todos os valores de corrente de ensaio, o valor de crista do primeiro semiciclo da corrente presumida deve ser no mínimo igual a  $\sqrt{2}$  vezes o valor eficaz desta corrente.

Após a verificação da corrente presumida, a ligação sólida deve ser removida e o corpo-de-prova deve ser ensaiado com os mesmos parâmetros do circuito.

Nota:

A relação  $X/R$  da impedância do circuito de ensaio, sem o pára-raios conectado, deve ser preferencialmente, no mínimo, 15. Em casos onde a relação  $X/R$  da impedância do circuito de ensaio é menor que 15, a tensão de ensaio pode ser aumentada, ou a impedância reduzida, de forma que para a corrente de curto-circuito nominal, o valor de crista do primeiro semi-ciclo da corrente presumida atinja o valor mínimo requerido.

#### 7.3.14.4. Ensaio com Alta Corrente de Curto-Circuito à Tensão Reduzida

Da mesma forma que no ensaio à tensão plena, três corpos-de-prova preparados e montados de acordo com 7.3.14.2 devem ser ensaiados nos valores de corrente descritos em 7.3.14.1.

Neste caso a tensão de ensaio é inferior a 77% da tensão nominal do corpo-de-prova, e os parâmetros do circuito de ensaio devem ser ajustados de tal forma que o valor eficaz da parte simétrica da corrente real de ensaio seja igual ou superior ao nível de corrente requerido.

Para todos os valores de corrente de ensaio, o valor de crista do primeiro semi-ciclo da corrente presumida deve ser no mínimo igual a  $\sqrt{2}$  vezes o valor eficaz desta corrente.

Nota:

1. Para a obtenção dos níveis mínimos de corrente exigidos, pode ser necessária a utilização de recursos especiais de laboratório. Os corpos-de-prova pré-falhados podem apresentar resistência de arco considerável, o que limita a parte simétrica da corrente. É recomendado, portanto, realizar o ensaio de curto-circuito após a pré-falha tão logo quanto possível, preferencialmente antes dos corpos-de-prova esfriarem.
2. Para assegurar que o pára-raios represente uma impedância suficientemente baixa, antes da aplicação da corrente de curto-circuito pode-se optar pela reaplicação do circuito de pré-falha, ou similar, durante 2s no máximo, imediatamente antes da aplicação da corrente de curto-circuito. Neste caso é aceitável aumentar a corrente de curto-circuito do circuito de pré-falha até  $300A_{\text{eficaz}}$ , porém a sua duração máxima não deve exceder o seguinte valor:

$$t_{rpf} \leq \frac{Q_{rpf}}{I_{rpf}} \quad [7.5]$$

onde:

$t_{rpf}$  = tempo da segunda pré-falha (s);

$Q_{rpf}$  = carga da segunda pré-falha, igual a 60 As;

$I_{rpf}$  = corrente da segunda pré-falha ( $A_{\text{eficaz}}$ ).

#### 7.3.14.5. Ensaio com Baixa Corrente de Curto-Circuito

Este ensaio deve ser feito com qualquer circuito de ensaio que produza uma corrente através do corpo-de-prova de  $600 \pm 200A_{\text{eficaz}}$  medidos a aproximadamente 0,1s após o início da circulação da corrente. A corrente deve fluir por 1s.

Nota:

Se o pára-raios não aliviou a pressão dos gases visivelmente ao término do ensaio, precauções devem ser tomadas, pois o invólucro pode permanecer pressurizado depois do ensaio. Este cuidado é aplicável a todos os níveis de corrente de ensaio, porém de particular relevância para o ensaio baixa corrente de curto-circuito.

#### 7.3.14.6. Avaliação dos Resultados

O corpo-de-prova é considerado aprovado se atendidos os seguintes critérios:

- a. não ocorrer fragmentação violenta do corpo-de-prova;
- b. qualquer chama aberta (dentro ou fora do cercado) se auto-extinguir durante os 2 minutos seguintes ao fim do ensaio.

Notas:

1. Considera-se que não ocorre fragmentação violenta do corpo-de-prova, quando apenas fragmentos dos blocos resistores ou pequenas partes do invólucro, com no máximo 60g cada, são encontrados além do cercado.
2. Para pára-raios usados em aplicações especiais, onde maior resistência mecânica à falha é requerida, diferentes procedimentos de ensaio e avaliações podem ser estabelecidos.

### 7.3.15. Ensaio de descargas parciais

O ensaio deve ser executado em unidades de pára-raios completos com a maior tensão específica por unidade de comprimento da série sob ensaio, e devem ser previamente submetidos a uma aplicação de tensão residual a impulso atmosférico com corrente nominal de descarga.

A tensão de frequência industrial deve ser elevada até a tensão nominal do corpo-de-prova e mantida por um período compreendido entre 2 a 10 segundos e após isso, reduzida a 1,05 vezes a tensão de operação contínua no qual o nível de descargas parciais deve então ser medido, de acordo com a NBR 6940.

Os níveis medidos para descargas parciais internas não devem exceder a 10pC.

### 7.3.16. Ensaio de estanqueidade

#### 7.3.16.1. Generalidades

Este ensaio tem como objetivo verificar a capacidade dos pára-raios em resistir à penetração de umidade e está de acordo com os procedimentos descritos no item 10.8.13 da IEC 60099-4.

Quando utilizado como ensaio de recebimento, uma metodologia simplificada deve ser utilizada conforme item 7.3.16.7.

#### 7.3.16.2. Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova devem ser pára-raios completos com a maior tensão entre as unidades da série sob ensaio. Uma mesma unidade deverá ser submetida a todas as etapas do ensaio.

#### 7.3.16.3. Medições Preliminares

Antes de qualquer procedimento de ensaio, devem ser feitas as seguintes medições, na seqüência indicada:

- Medição das perdas resistivas, medidas a  $U_c$  e a temperatura ambiente;
- Medição da tensão residual para impulso atmosférico à corrente nominal de descarga. No caso de ensaio de recebimento, um valor menor de corrente nominal de descarga pode ser utilizado, conforme descrito em 7.3.8.2;
- Medição do nível de descargas parciais, após o resfriamento à temperatura ambiente, conforme 7.3.15.

#### 7.3.16.4. Pré-condicionamento

Os corpos-de-prova devem ser submetidos a ensaios de pré-condicionamento conforme segue:

- a. Torque de instalação:  
os corpos-de-prova devem ser submetidos ao ensaio de torque de instalação, conforme item 7.3.5.
- b. Pré-condicionamento termo-mecânico:  
Os corpos-de-prova devem ser submetidos simultaneamente a variações térmicas e a esforços de flexão, conforme esquema indicado no desenho 8.4, em um ambiente de ensaio sem qualquer condicionamento.
- As variações térmicas consistem de 2 (dois) ciclos de 48 horas de aquecimento e resfriamento e as temperatura devem ser sustentadas pelo menos, por um período de 16 horas. Um momento fletor de 4,4daN deve ser aplicado em quatro direções ortogonais, com mudança de posição a cada 24 horas.
- O ensaio pode ser interrompido para manutenções do sistema por uma duração total de até 4 (quatro) horas sem invalidar o ciclo.
- Em caso de ocorrência de deformação permanente medida em relação à posição inicial sem carga, essa deformação deve constar no relatório de ensaio.

#### 7.3.16.5. Imersão em água:

Os corpos-de-prova devem ser mantidos imersos em uma cuba, com água fervente desmineralizada com  $1\text{kg/m}^3$  de NaCl, durante 42 horas. Ao final da ebulição, os pára-raios devem permanecer na cuba até a água resfriar a aproximadamente  $50^\circ\text{C}$  e ser mantidos nessa temperatura até o início dos ensaios de verificação.

O desenho 8.5 mostra o ciclo de imersão em água, conforme sugerido pela IEC 60099-4.

Notas:

1. Mediante acordo entre fabricante e comprador a temperatura de ebulição da água pode ser reduzida a  $80^\circ\text{C}$  (com duração mínima de 52 horas), caso o fabricante declare que o material de vedação não é capaz de suportar a temperatura de ebulição da água durante 42 horas.
2. A permanência dos corpos-de-prova na temperatura de  $50^\circ\text{C}$  não é necessária se os ensaios de verificação iniciarem logo após o final da imersão em água.

#### 7.3.16.6. Ensaios de verificação

Todos os ensaios de verificação devem ser realizados na seqüência indicada a seguir, dentro de um tempo máximo de 8 horas.

- a. Inspeção visual:
- o invólucro deve ser inspecionado para verificação quanto a ocorrência de trincas, fissuras, exposição do material de vedação ou qualquer alteração mecânica, as quais devem ser registradas;
  - o desligador automático, deve ser desmontado, não sendo permitida a presença de umidade em seu interior;
- b. Medição das perdas resistivas, conforme 7.3.16.3:  
a medição não pode indicar um aumento em relação ao valor inicial superior a 20%.
- c. Medição da tensão residual, conforme 7.3.16.3:  
deve ser efetuada no mesmo valor de corrente usado na medição inicial e a variação em relação ao valor medido inicialmente não deve exceder 5% e os oscilogramas de tensão e corrente não devem revelar nenhuma falha do corpo-de-prova.

- d. Medição do nível de descargas parciais, conforme 7.3.16.3:  
a medição do nível de descargas parciais após o resfriamento do corpo-de-prova à temperatura ambiente não deve resultar em valor superior a 10pC.,

Notas:

1. Na verificação das perdas resistivas, a diferença entre as temperaturas ambientes das medições, final e inicial, não deve superar  $\pm 3^\circ\text{C}$ .
2. Trincas e fissuras que expõem a parte interna do pára-raios são objetos de reprovação.

#### 7.3.16.7. Procedimento para Ensaio de Recebimento

Antes da realização do ensaio de estanqueidade no recebimento de pára-raios, as amostras devem ser submetidas as medições preliminares conforme 7.3.16.3 e ao pré-condicionamento do torque de instalação conforme 7.3.16.4, alínea "a".

Em seguida, os pára-raios devem ser submetidos ao ensaio de choque térmico cujo procedimento está descrito a seguir:

- a. Os pára-raios devem ser aquecidos em uma estufa à temperatura T1, durante 1h. Em seguida devem ser retirados e dentro de 20s, mergulhados em água à temperatura ambiente T2, durante 1h.
- b. A combinação do aquecimento e da imersão em água constitui um ciclo, com duração total de duas (2) horas. A diferença entre T2 e T1 deve ser de  $60 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- c. Os ciclos devem ser repetidos continuamente até o final do quarto ciclo, quando os corpos-de-prova devem ser imersos em água e mantidos por um período mínimo de 12 (doze) horas. Após este período, outros quatro ciclos completos devem ser executados.
- d. Após completos os oito ciclos, os pára-raios devem ser aquecidos durante uma (1) hora à temperatura T1, e energizados à temperatura ambiente através de uma fonte de tensão de frequência industrial à tensão  $U_C$  durante duas (2) horas.

A avaliação dos resultados deverá ser de acordo com o item 7.3.16.6.

#### 7.3.17. Ensaio de Envelhecimento Sob Tensão de Operação Simulando Condições Ambientais

##### 7.3.17.1. Generalidades

Esse ensaio tem por objetivo verificar a capacidade dos pára-raios poliméricos de suportar condições ambientais.

Para simular estas condições ambientais, o ensaio é realizado de acordo com os procedimentos descritos no item 10.8.14 da IEC 60099-4, referentes ao ciclo de 5000h.

Para esse ensaio a fonte de tensão em frequência industrial deve possuir uma impedância definida de forma a não apresentar uma queda de tensão superior a 5% sob uma corrente resistiva de  $250\text{mA}_{\text{eficaz}}$ . O nível de proteção para a tensão do corpo-de-prova deve ser ajustado para  $1A_{\text{eficaz}}$ .

##### 7.3.17.2. Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova devem ser pára-raios completos, com a maior tensão nominal, da série sob ensaio, admitida pelo laboratório de ensaio.

Os corpos-de-prova devem ser previamente lavados com água potável e montados na posição vertical, suficientemente distantes do teto e de paredes a fim de evitar perturbações de campo elétrico.

### 7.3.17.3. Ensaios Preliminares

Antes da execução desse ensaio os corpos-de-prova devem ser submetidos aos seguintes ensaios:

- Tensão de referência, conforme 7.3.7;
- Descargas parciais, conforme 7.3.15.

### 7.3.17.4. Procedimento de ensaio

Este ensaio tem uma duração total de 5000h e consiste da aplicação, de forma cíclica e simultânea à tensão de operação contínua ( $U_c$ ), as seguintes solicitações:

- simulação de radiação solar;
- chuva artificial;
- calor úmido (próximo da saturação);
- calor seco;
- alta umidade na temperatura ambiente (até a saturação ser obtida);
- névoa salina com baixa concentração;

Exemplos de ciclos de envelhecimento acelerado sob tensão, recomendados pela NBR 15122 e IEC 60099-4, estão apresentados nos desenhos 8.6 e 8.7. Outros ciclos não apresentados nesta especificação podem ser utilizados mediante acordo fabricante e FECOERGS.

### 7.3.17.5. Critério de Avaliação

O pára-raios será considerado aprovado no ensaio quando os corpos-de-prova ensaiados atenderem às seguintes condições:

- não ocorrer trilhamento elétrico, conforme NBR 15122;
- a erosão sobre o invólucro não expor as partes internas dos corpos-de-prova, tais como blocos, fibras ou outras interfaces;
- não ocorrer perfurações no corpo do invólucro ou nas saias;
- a tensão de referência medida antes e após o ensaio não apresentar redução superior a 5%;
- os níveis de descargas parciais medidos antes e após o ensaio não superarem 10pC.

### 7.4. Relatórios de Ensaio

Os relatórios dos ensaios devem ser em formulários com as indicações necessárias à sua perfeita compreensão e interpretação conforme indicado a seguir:

- nome do ensaio;
- nome FECOERGS e nome da cooperativa do sistema;
- nome ou marca do fabricante;
- número e item da ordem de compra (se existente) da cooperativa e número da ordem de fabricação do fornecedor;
- identificação, modelo e quantidade dos equipamentos submetidos a ensaio;
- descrição sumária do processo de ensaio indicando as constantes, métodos e instrumentos empregados;
- valores obtidos no ensaio;

- resumo das características (garantidas x medidas);
- atestado com informação clara dos resultados do ensaio;
- nome do inspetor e do responsável pelos ensaios;
- data e local dos ensaios.

Os pára-raios somente serão liberados pelo inspetor após a entrega de três vias dos relatórios dos ensaios e da verificação da embalagem e sua respectiva marcação.

## 7.5. Planos de Amostragem

### 7.5.1. Ensaios de Tipo e Complementares

As amostras para os ensaios de tipo e complementares, devem ser formadas por 3 unidades, as quais devem ser selecionadas aleatoriamente do lote sob inspeção, quando se tratar de ensaio complementar.

Quando não definido na própria metodologia do ensaio, as amostras devem ser distintas para cada ensaio.

As amostras para ensaios executados em corpos de prova devem estar de acordo com o prescrito nas metodologias específicas de cada ensaio.

Eventualmente o número de unidades das amostras para os ensaios de tipo ou complementares poderão ser definidas através de acordo entre fornecedor e FECOERGS.

### 7.5.2. Ensaios de Recebimento

Os planos de amostragem aqui indicados referem-se a regime de inspeção normal. Nos casos em que a FECOERGS optar por outro regime de inspeção, serão seguidas as recomendações da NBR 5426.

As amostras para os ensaios de recebimento devem ser selecionadas conforme Tabela 7.4.

## 7.6. Critérios de Aceitação e Rejeição

A aceitação dos pára-raios pela FECOERGS, seja pela comprovação dos valores, seja por eventual dispensa de inspeção, não eximirá o fornecedor de sua responsabilidade em entregar os equipamentos em plena concordância com a ordem de compra e com esta especificação, nem invalidará qualquer reclamação que a FECOERGS venha a fazer baseada na existência de pára-raios inadequados ou defeituosos.

Por outro lado, a rejeição de pára-raios em virtude de falhas constatadas pela inspeção, durante os ensaios ou em virtude de discordância com a ordem de compra ou com esta especificação, não eximirá o fornecedor de sua responsabilidade em entregar os pára-raios na data prometida. Se no entender da FECOERGS, a rejeição tornar impraticável a entrega na data previamente acertada, ou se tudo indicar que o fornecedor será incapaz de satisfazer os requisitos exigidos, a FECOERGS reserva-se o direito de rescindir todas as suas obrigações e adquirir os equipamentos em outra fonte, sendo o fornecedor considerado como infrator da ordem de compra, estando sujeito às penalidades aplicáveis ao caso.

As unidades defeituosas constantes de amostras aprovadas nos ensaios devem ser substituídas por novas, o mesmo ocorrendo com o total das amostras aprovadas em ensaios destrutivos.

**Tabela 7.4 – Planos de Amostragem para Ensaios de Recebimento**

Ensaios	7.3.2 – Inspeção Geral 7.3.3 – Verificação Dimensional 7.3.5 – Verificação do Torque de Instalação				7.3.7 – Medição da Tensão de Referência 7.3.9 – Tensão residual 7.3.15 – Descargas Parciais				7.3.4 – Verificação da Espessura da Camada de Estanho 7.3.6 – Verificação do Esforço de Tração		
	II				S4				S3		
Amostragem	Dupla				Dupla				Simples		
NQA	4%				2,5 %				4%		
Tamanho do Lote	Amostra		Ac	Re	Amostra		Ac	Re	Amostra	Ac	Re
	Seqüência	Tamanho			Seqüência	Tamanho					
Até 90	-	3	0	1	-	5	0	1	3	0	1
91 a 150	1ª	8	0	2	1ª	13	0	2	13	1	2
	2ª	8	1	2							
151 a 280	1ª	8	0	2	1ª	13	0	2	13	1	2
	2ª	8	1	2							
281 a 500	1ª	13	0	3	1ª	13	0	2	13	1	2
	2ª	13	3	4							
501 a 1.200	1ª	20	1	4	1ª	13	0	2	13	1	2
	2ª	20	4	5							
1.201 a 3.200	1ª	32	2	5	1ª	20	0	3	13	1	2
	2ª	32	6	7							
3.201 a 10.000	1ª	50	3	7	1ª	20	0	3	20	2	3
	2ª	50	8	9							
10.001 a 35.000	1ª	80	5	9	1ª	32	1	4	20	2	3
	2ª	80	12	13							

Notas:

1. Ac = número máximo de unidades defeituosas que ainda permite aceitar o lote.  
Re = número mínimo de unidades defeituosas que implica rejeição do lote.
2. Procedimento para a amostragem dupla: Ensaiar a primeira amostra; se o número de unidades defeituosas estiver entre Ac e Re (excluindo esses dois valores), ensaiar a segunda amostra. O número total de unidades defeituosas, depois de ensaiadas as duas amostras, deve ser igual ou inferior ao maior Ac especificado, para permitir a aceitação do lote.

#### 7.6.1. Critérios para Aceitação ou Rejeição nos Ensaios de Tipo e Complementares

O projeto deve ser aceito se todos os pára-raios ensaiados apresentarem comportamento satisfatório. Se ocorrer alguma falha em qualquer ensaio, este pode ser repetido em uma nova amostra com o dobro de unidades da primeira. Nesse caso, se houver um novo resultado insatisfatório, o projeto será rejeitado.

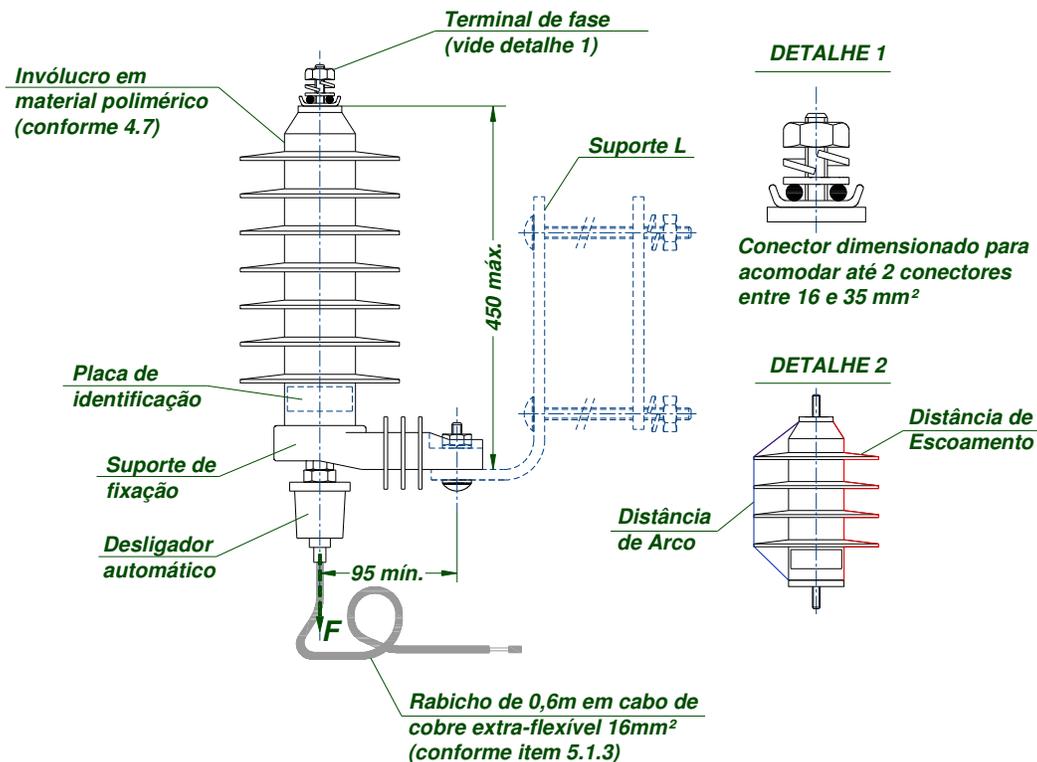
Se duas ou mais unidades falharem em qualquer dos ensaios, o projeto será rejeitado.

#### 7.6.2. Critérios para Aceitação ou Rejeição nos Ensaios de Recebimento

As quantidades de pára-raios de cada amostra, cujas falhas determinam a aceitação ou a rejeição do lote, para cada ensaio, são as constantes da Tabela 7.4.

## 8. Desenhos

### 8.1. Padrão E-29: Pára-Raios de Distribuição



Corrente de Descarga Nominal ( $I_N$ ): 10kA

Corrente Suportável Nominal de Curto-Circuito ( $I_{SC}$ ): 10 kA

Tabela 8.1 – Características Elétricas dos Pára-Raios

Código	Tensão Nominal ( $U_N$ ) (kV)	Máxima Tensão de Operação Contínua ( $U_C$ ) (Valores mínimos em kV)	Tensões Residuais de Impulso ( $U_R$ ) (Valores máximos em kV)		
			Íngreme	Atmosférico	Manobra
1	2	3	4	5	6
E-29/1	12	9,6	48	43	35
E-29/2	15	12	60	54	44
E-29/3	21	16,8	84	76	61
E-29/4	24	19,2	96	86	70
E-29/5	27	21,8	108	97	78
E-29/6	33	27	122	109	88

Notas:

- Os códigos apresentados na tabela 8.1 foram obtidos a partir das referências ABNT, particularizadas para o sistema FECOERGS.
- As partes não cotadas são de caráter orientativo, outras formas são aceitas.
- Dimensões em milímetros.

8.2. Circuito Típico para o Ensaio de Desligador Automático

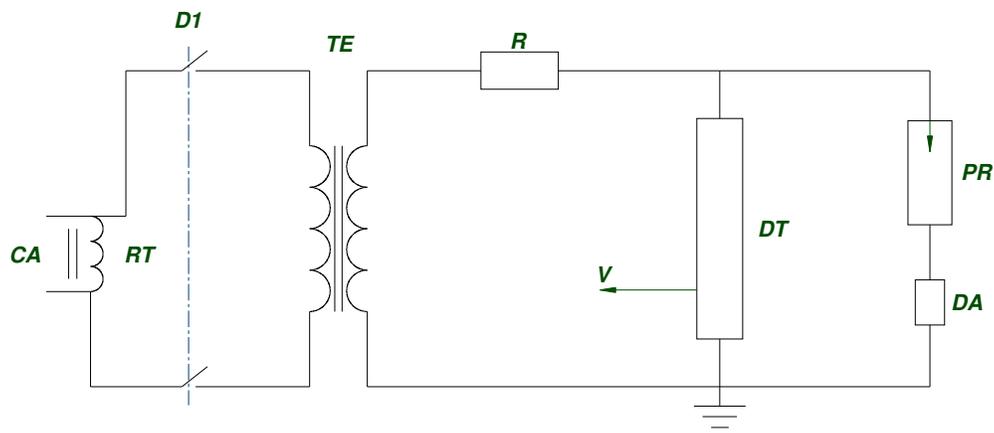
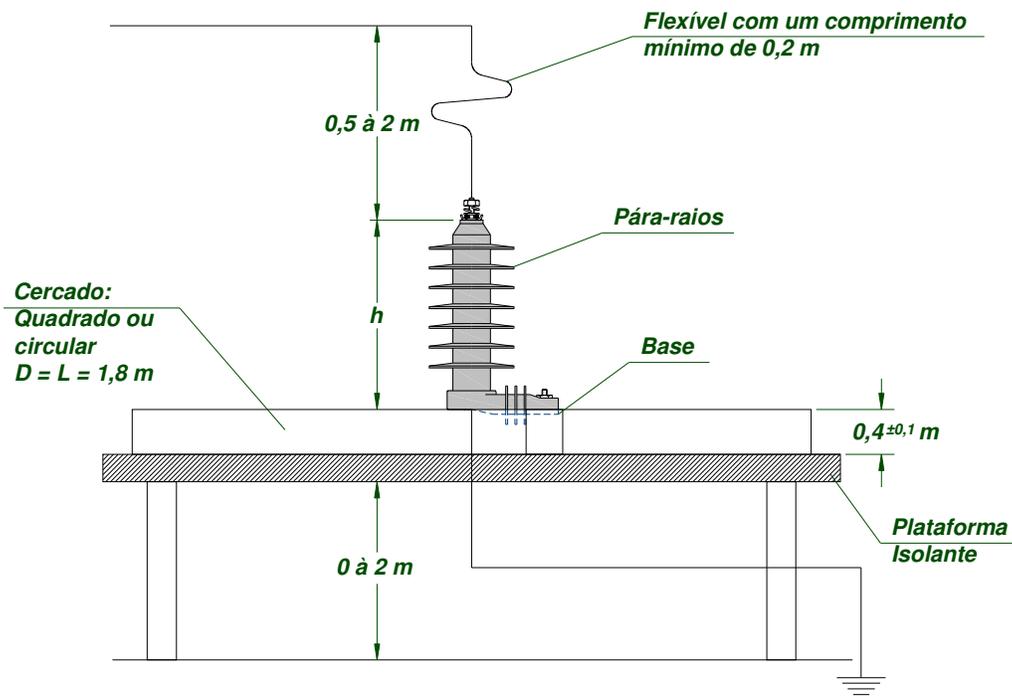


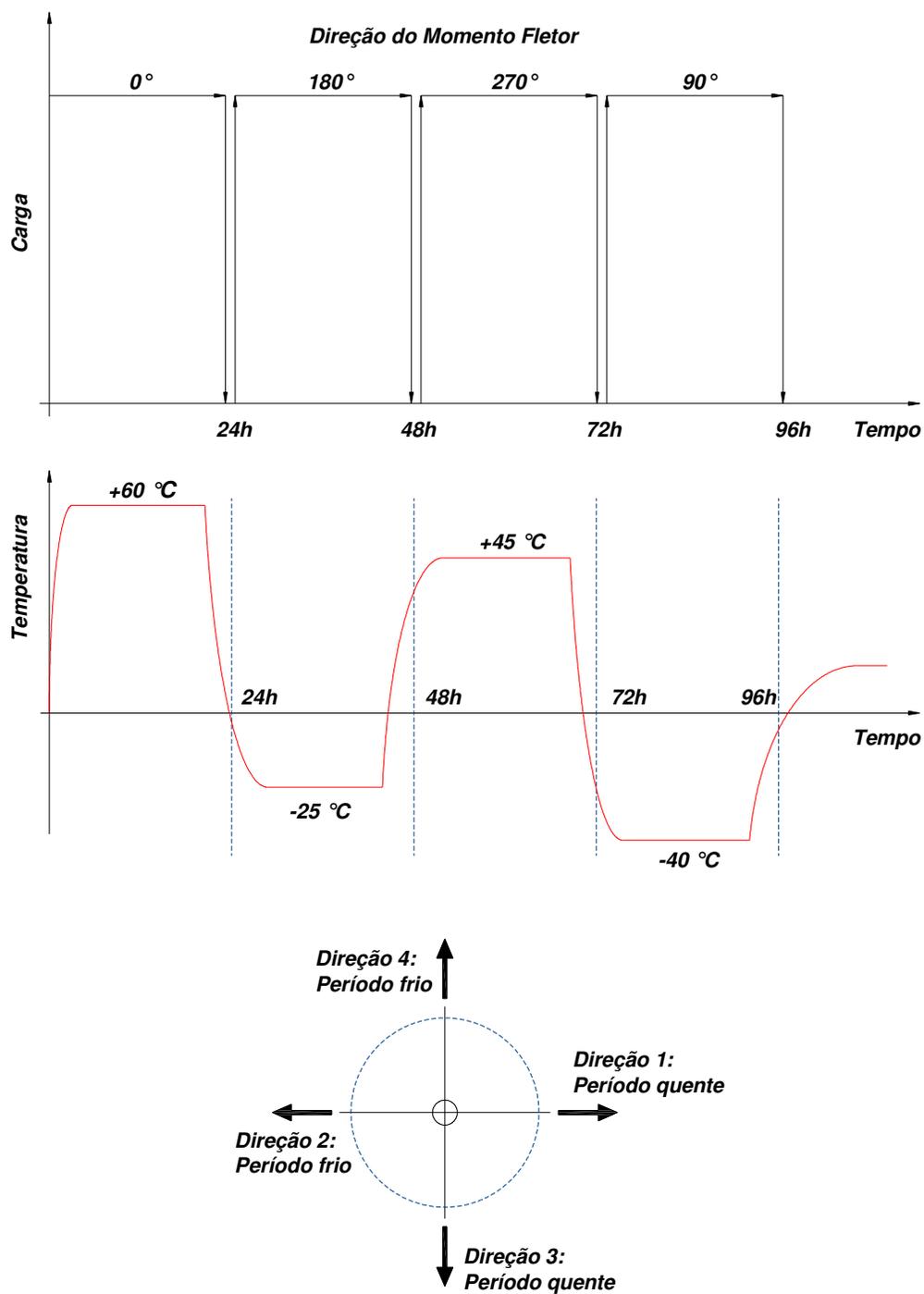
Tabela 8.2 - Legenda

CA	Fonte senoidal de tensão de freqüência industrial
RT	Regulador de tensão
D1	Disjuntor de abertura
TE	Transformador elevador
DT	Divisor de tensão
PR	Pára-raios (quando previsto)
DA	Desligador automático sob ensaio
R	Resistor limitador de corrente, se necessário
V	Osciloscópio

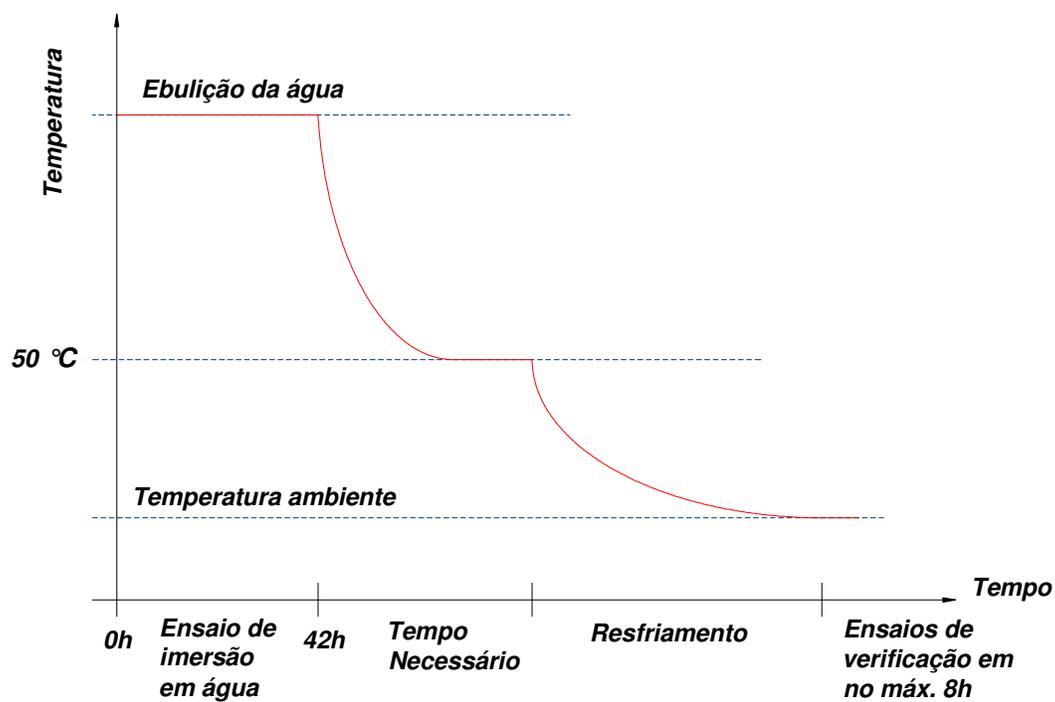
### 8.3. Montagem Recomendada para o Ensaio de Curto-Circuito



### 8.4. Ciclo Termomecânico



### 8.5. Ciclo de Imersão em Água



### 8.6. Ciclo Diário de Envelhecimento Acelerado Sob Tensão Conforme NBR 15122

Tempo ( h )	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Tensão de ensaio	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação
Chuva	Fora de operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação
Aquecimento (50°C)	Fora de operação	Fora de operação	Em operação									
Umidade Relativa (95%)	Fora de operação	Fora de operação	Em operação									
Névoa Salina (7kg/m <sup>3</sup> )	Fora de operação	Fora de operação	Em operação									
Radiação Solar (UV)	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação	Em operação

 Em operação

 Fora de operação

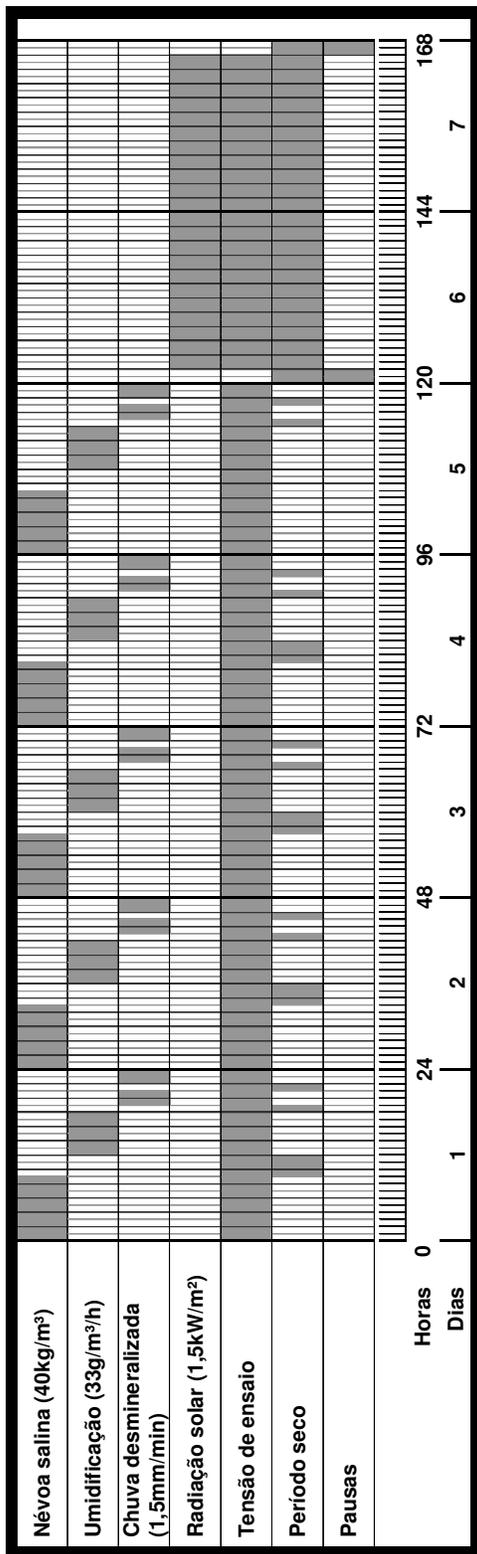
#### Observações:

- Cada ciclo tem a duração de 24h com mudanças programadas a cada 2h.
- Durante o tempo em que não há umidificação nem aquecimento, os pára-raios devem permanecer sob uma temperatura ambiente na câmara de ensaio entre 15 e 25°C e umidade relativa entre 30 e 60%.
- A elevação de temperatura desde a ambiente até 50°C deve ocorrer em um intervalo de tempo inferior a 15 minutos.
- A umidificação deve atingir uma umidade relativa de 95% em um intervalo de tempo inferior a 15 minutos e em no máximo mais 10 minutos a umidade deve atingir o valor requerido de pelo menos 98%;
- A saturação do ar, que causa a condensação sobre o corpo-de-prova até o gotejamento, é obtida por meio de resfriamento natural da câmara de ensaio após uma seqüência com 50°C e umidade relativa de 98%. Nesse processo não deve haver convecção forçada e o tempo para retorno da temperatura até a ambiente deve ser de aproximadamente 2 horas.
- A chuva e a névoa salina devem estar de acordo com a NBR 15122.
- A simulação da radiação solar, obtida por lâmpadas de arco de xenônio, deve ser no mínimo 90mW/cm<sup>2</sup> sobre o invólucro, de forma a reproduzir as condições de potência e espectro solar recebidos em uma área de clima moderado, ao meio dia de um dia de verão.

#### Nota:

Com respeito à radiação solar, a superfície do invólucro a ser considerada é obtida a partir do diâmetro equivalente, conforme descrito na ABNT IEC/TR 60815, e do comprimento do invólucro.

8.7. Ciclo Semanal de Envelhecimento Acelerado Sob Tensão Conforme IEC 60099-4



Observações:

- A névoa salina não deve ser pulverizada diretamente sobre a amostra sob ensaio.
- Semanalmente, o tempo total de aplicação de cada solicitação deve ser aproximadamente o mesmo, porém cada tipo de solicitação concentrado em um único período por dia a fim de limitar as intervenções na câmara de teste.
- A aplicação semanal da radiação UV é feita em um único período contínuo de aproximadamente 48h.
- O calor deve ser obtido pelas mesmas lâmpadas que emitem a radiação ultravioleta. Estas lâmpadas devem ser selecionadas e posicionadas de forma a obter a potência de radiação requerida e temperatura não superior a 60°C sobre a superfície do corpo-de-teste.