

Primeira edição
26.11.2007

Válida a partir de
26.12.2007

**Sistemas para adução de água, coletores-tronco, emissários de esgoto sanitário e águas pluviais – Tubos e conexões de plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV)
Parte 1: Tubos e juntas para adução de água**

Plastic piping systems for water main systems, trunk collectors and emissaries of sewerage and pluvial water – Glass reinforced pipes and fittings (GRP)

Part 1 : Pipes and joints for water main systems

Palavras-chave: Tubos. Conexões. Junta. PRFV. Infra-estrutura.
Descriptors: Pipes. Fittings. Joints. GRP. Infra-structure.

ICS 23.040.50



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 15536-1:2007
96 páginas

©ABNT 2007.

© ABNT 2007

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

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 2220-1762

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Impresso no Brasil

Sumário

Página

Prefácio.....	vii
1 Escopo.....	1
2 Referências normativas.....	1
3 Termos e definições.....	2
4 Requisitos.....	7
4.1 Tubos.....	7
4.1.1 Classificação.....	7
4.1.2 Materiais.....	7
4.1.3 Classes de pressão.....	8
4.1.4 Aspectos visuais.....	8
4.1.5 Acabamentos.....	8
4.1.6 Dimensões.....	9
4.1.7 Resistência à pressão hidrostática interna de longa duração.....	11
4.1.8 Verificação da estanqueidade do tubo.....	11
4.1.9 Deformação por compressão circunferencial de longa duração.....	11
4.1.10 Resistência à tração circunferencial.....	12
4.1.11 Resistência à tração axial.....	12
4.1.12 Verificação da classe de rigidez.....	13
4.1.13 Resistência à compressão axial.....	14
4.1.14 Verificação do efeito sobre água.....	16
4.2 Sistemas de junta.....	16
4.2.1 Tipos de sistema de junta.....	16
4.2.2 Junta elástica deslizante com vedação em anel de borracha (JE).....	16
4.2.3 Junta elástica travada (JT).....	19
4.2.4 Junta rígida.....	19
4.2.5 Dimensões de bolsa.....	21
4.2.6 Verificação da estanqueidade da junta.....	21
5 Inspeção.....	22
5.1 Generalidades.....	22
5.2 Ensaio não destrutivo dos tubos de PRFV.....	23
5.3 Ensaio destrutivo dos tubos de PRFV.....	23
5.3.1 Ensaio de determinação da classe de rigidez.....	24
5.3.2 Ensaio de resistência à tração axial.....	24
5.3.3 Ensaio de resistência à tração circunferencial.....	24
5.4 Relatório da inspeção de recebimento.....	24
6 Amostragem.....	24
6.1 Definição da unidade de produto.....	24
6.2 Cálculo do tamanho de lote e definição do tamanho da amostra.....	25
6.3 Aceitação e rejeição dos lotes.....	26
7 Marcação e caracterização dos tubos.....	27
7.1 Marcação.....	27
7.2 Instruções de caracterização.....	27
Anexo A (normativo) Verificação dimensional.....	28
A.1 Princípio.....	28
A.2 Verificação da espessura total de parede (et).....	28
A.2.1 Aparelhagem.....	28
A.2.2 Preparação dos corpos-de-prova.....	28
A.2.3 Procedimento.....	28
A.2.4 Expressão dos resultados.....	28
A.2.5 Relatório de ensaio.....	28

Exemplar autorizado para uso exclusivo - EDRA DO BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO LTDA. - 45 773.967/0001-44

ABNT NBR 15536-1:2007

A.3	Verificação da espessura de parede do reforço e do liner	29
A.3.1	Aparelhagem	29
A.3.2	Preparação dos corpos-de-prova	29
A.3.3	Procedimento	29
A.3.4	Expressão dos resultados	29
A.3.5	Relatório do ensaio	29
A.4	Verificação do diâmetro externo médio (D)	30
A.4.1	Aparelhagem	30
A.4.2	Preparação dos corpos-de-prova	30
A.4.3	Procedimento	30
A.4.4	Expressão dos resultados	30
A.4.5	Relatório do ensaio	30
A.5	Determinação da ovalização	30
A.5.1	Aparelhagem	30
A.5.2	Preparação dos corpos-de-prova	30
A.5.3	Procedimento	31
A.5.4	Expresão dos resultados	31
A.5.5	Relatório do ensaio	31
A.6	Cálculo do diâmetro interno	31
A.7	Determinação do comprimento útil do tubo	31
A.7.1	Aparelhagem	31
A.7.2	Preparação dos corpos-de-prova	31
7.3	Procedimento	32
A.7.3	Expressão dos resultados	32
A.7.4	Relatório do ensaio	32
Anexo B (normativo) Ensaio de verificação da estanqueidade dos tubos		33
B.1	Princípio	33
B.2	Aparelhagem	33
B.3	Preparação dos corpos-de-prova	33
B.4	Procedimento	34
B.5	Relatório do ensaio	34
Anexo C (normativo) Ensaio para determinação da rigidez		35
C.1	Princípio	35
C.2	Aparelhagem	35
C.3	Preparação dos corpos-de-prova	35
C.4	Procedimento	35
C.5	Expressão dos resultados	36
C.6	Relatório do ensaio	37
Anexo D (normativo) Ensaio de resistência à tração circunferencial		38
D.1	Princípio	38
D.2	Método A - Ensaio por tracionamento de anel	38
D.2.1	Aparelhagem	38
D.2.2	Preparação dos corpos-de-prova	38
D.2.3	Procedimento	39
D.2.4	Relatório do ensaio	39
D.3	Método B - Ensaio hidrostático	40
D.3.1	Aparelhagem	40
D.3.2	Preparação dos corpos-de-prova	40
D.3.3	Procedimento	40
D.3.4	Relatório do ensaio	41
Anexo E (normativo) Ensaio de resistência à compressão axial		42
E.1	Princípio	42
E.2	Método A	42
E.2.1	Aparelhagem	42
E.2.2	Preparação dos corpos-de-prova	42
E.2.3	Procedimento	45
E.2.4	Expressão dos resultados	45
E.2.5	Relatório do ensaio	46
E.3	Método B	46
		47

ABNT NBR 15536-1:2007

J.4.5	Cálculo de variância	75
J.4.6	Cálculo e intervalos de confiança.....	77
Anexo K (informativo) Exemplo numérico de regressão linear através do método dos mínimos quadrados		
K.1	Geral.....	79
K.2	Soma dos mínimos quadrados	80
K.3	Coefficiente de correlação	80
K.4	Relações funcionais	80
K.5	Variâncias calculadas	80
K.6	Limites de confiança e previsão	80
Anexo L (informativo) Tubos de PRFV - Exemplo de aplicação da inspeção por recebimento		
L.1	Princípio	81
L.2	Exemplo de aplicação do processo de inspeção.....	81
L.2.1	Definição da unidade de produto.....	81
L.2.2	Cálculo do tamanho de lote.....	81
L.2.3	Tamanho da amostra e análise de aceitação e rejeição do lote.....	81
L.2.4	Realização dos ensaios não destrutivos dos tubos	83
L.2.5	Realização dos ensaios destrutivos dos tubos	85
L.2.6	Aceitação/rejeição do lote	87
L.2.7	Relatório de inspeção	87
Anexo M (normativo) Metodologia para comprovação da composição dos tubos de PRFV		
M.1	Princípio	88
M.2	Avaliação dos parâmetros da composição dos tubos	88
M.2.1	Espessura.....	88
M.2.2	Ângulo de enrolamento.....	88
M.2.3	Número de camadas.....	88
M.2.4	Teores de fibras, de resina e de areia	89
M.2.5	Tipo de resina	89
Anexo N (normativo) Efeito sobre água – Estireno residual		
N.1	Princípio	90
N.2	Aparelhagem	90
N.3	Preparação dos corpos-de-prova	90
N.4	Procedimento.....	90
N.4.1	Preparação dos padrões.....	90
N.4.2	Preparação das amostras.....	90
N.4.3	Análise cromatográfica	91
N.5	Relatório do ensaio	91
Anexo O (normativo) Efeito sobre água – Migração específica		
O.1	Princípio	92
O.2	Reagentes.....	92
O.3	Aparelhagem	92
O.4	Preparação dos corpos-de-prova	92
O.5	Procedimento.....	92
O.6	Relatório do ensaio	93
Anexo P (normativo) Requisitos para avaliação do liner de PVC		
P.1	Princípio	94
P.2	Espessura.....	94
P.3	Teor de cinzas.....	94
P.4	Temperatura de amolecimento "Vicat"	94
P.5	Densidade.....	94
P.6	Estabilidade dimensional	94
P.7	Efeito sobre a água.....	95
P.8	Resistência ao cloreto de metileno (grau de gelificação)	95
Anexo Q (informativo) Controle do processo de fabricação dos tubos		
Q.1	Princípio	96
Q.2	Verificação do controle do processo de fabricação	96
Q.3	Ensaio durante a fabricação.....	96

E.3.1	Aparelhagem	47
E.3.2	Preparação dos corpos-de-prova	47
E.3.3	Procedimento	47
E.3.4	Relatório do ensaio	47
Anexo F	(normativo) Ensaio de verificação da estanqueidade da junta	48
F.1	Propósito do ensaio	48
F.2	Aparelhagem	48
F.3	Preparação dos corpos-de-prova	49
F.4	Procedimento	49
F.4.1	Aplicação de uma pressão hidrostática interna com deflexão angular da junta	49
F.4.2	Aplicação de uma pressão hidrostática interna com carga distribuída no corpo-de-prova	50
F.4.3	Aplicação do vácuo parcial interno ou pressão hidrostática externa com deflexão da junta e carga distribuída no corpo-de-prova	51
F.5	Relatório do ensaio	51
Anexo G	(normativo) Ensaio de resistência à tração axial	52
G.1	Princípio	52
G.2	Método A	52
G.2.1	Aparelhagem	52
G.2.2	Preparação dos corpos-de-prova	53
G.2.3	Procedimento	54
G.2.4	Expressão dos resultados	55
G.2.5	Relatório do ensaio	55
G.3	Método B	56
G.3.1	Aparelhagem	56
G.3.2	Preparação dos corpos-de-prova	56
G.3.3	Procedimento	57
G.3.4	Expressão dos resultados	57
G.3.5	Relatório do ensaio	58
G.4	Método C	58
G.4.1	Aparelhagem	58
G.4.2	Preparação dos corpos-de-prova	58
G.4.3	Procedimento	60
G.4.4	Expressão dos resultados	60
G.4.5	Relatório do ensaio	61
Anexo H	(normativo) Resistência à pressão hidrostática interna de longa duração	62
H.1	Princípio	62
H.2	Aparelhagem	62
H.3	Preparação dos corpos-de-prova	62
H.4	Procedimento	63
H.5	Relatório do ensaio	66
Anexo I	(normativo) Deformação por compressão circunferencial de longa duração	67
I.1	Princípio	67
I.2	Aparelhagem	67
I.3	Preparação dos corpos-de-prova	68
I.4	Procedimento	68
I.5	Expressão dos resultados	70
I.6	Reconfirmação do S_b	71
I.7	Relatório do ensaio	72
Anexo J	(informativo) Método dos mínimos quadrados para o cálculo dos parâmetros HDB ou S_b	73
J.1	Geral	73
J.2	Procedimento de análise dos dados	73
J.3	Atribuição de variáveis	73
J.4	Equações das relações funcionais e método de cálculo	74
J.4.1	Base estatística e símbolos	74
J.4.2	Soma dos mínimos quadrados	74
J.4.3	Correlação dos dados	74
J.4.4	Relações funcionais	75

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais Temporárias (ABNT/CEET), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da Diretivas ABNT, Parte 2.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) chama atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos deste documento podem ser objeto de direito de patente. A ABNT não deve ser considerada responsável pela identificação de quaisquer direitos de patentes.

A ABNT NBR 15536-1 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Construção Civil (ABNT/CB-02), pela Comissão de Estudo de Tubos Plásticos Reforçados com Fibra de Vidro (PRFV) (CE-02:111.50). O seu 1º Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 11, de 01.11.2006, com o número de Projeto 02:111.50-001. O seu 2º Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 06, de 22.05.2007 a 21.06.2007, com o número de 2º Projeto 02:111.50-001.

A ABNT NBR 15536, sob o título geral "Sistemas para adução de água, coletores-tronco, emissários de esgoto sanitário e águas pluviais – Tubos e conexões de plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV)", tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Tubos e juntas para adução de água;
- Parte 2: Tubos e juntas para coletores-tronco, emissários de esgoto sanitário e águas pluviais;
- Parte 3: Conexões;
- Parte 4: Anéis de borracha.

S 1 41

Óleos — Determinação de cinza sulfatada — 2007

1 Escopo

Esta parte da ABNT NBR 15536-1 estabelece sistemas de classificação para os tubos de plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) e seus sistemas de junta para uso em sistemas para adução de água, com diâmetros nominais entre 100 mm e 3 600 mm. Esta parte da ABNT NBR 15536 também especifica métodos de ensaio para os tubos de plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) para todas as aplicações abrangidas por esta Norma.

NOTA Os tubos de liner com resina termofixa reforçados com fibras de vidro, bem como os tubos de liner de PVC, são conhecidos como tubos de plástico reforçados com fibra de vidro, sendo designados tubos de PRFV. Nesta designação são abrangidos os sistemas de resinas de poliéster e epóxi. O material de reforço de fibra de vidro encontrado na parede do tubo é constituído por fibras de vidro de grau comercial. Os materiais do liner incorporado são constituídos de resinas termofixas ou de PVC, reforçadas ou não, com ou sem cargas.

2 Referências normativas

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

Portaria ANVISA nº 518 de 25/03/2004, *Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências*

Resolução ANVISA nº 105 de 19/05/1999, *Aprova os regulamentos técnicos: Disposições gerais para embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos e seus Anexos. O Anexo VII estabelece os critérios gerais para equipamentos fixos de provisão, armazenamento e distribuição de água potável*

ABNT NBR 5426:1985, *Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos*

ABNT NBR 7665:2007, *Sistemas para adução e distribuição de água – Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica – Requisitos*

ABNT NBR 8219:1999, *Tubos e conexões de PVC - Verificação do efeito sobre a água*

ABNT NBR 9633:1986, *Plásticos – Terminologia*

ABNT NBR 10848:1988, *Assentamento de tubulação de poliéster reforçado com fibras de vidro*

ABNT NBR 13212:2004, *Posto de serviço – Construção de tanque atmosférico subterrâneo com resina termofixa reforçada com fibra de vidro, de parede simples ou dupla*

ABNT NBR NM 82:2005, *Tubos e conexões de PVC – Determinação da temperatura de amolecimento "Vicat"*

ABNT NBR NM 83:2005, *Tubos e conexões de PVC – Determinação da densidade*

ABNT NBR NM 84:2005, *Tubos e conexões de PVC – Determinação do teor de cinzas*

ABNT NBR NM 85:2005, *Tubos de PVC – Verificação dimensional*

Handwritten mark

3 Termos e definições

Para os efeitos desta parte da ABNT NBR 15536, aplicam-se os termos e definições da ABNT NBR 9633 e os seguintes.

3.1

agregados

qualquer material inerte que tenha compatibilidade com os demais materiais componentes do PRFV

3.2

amostra

uma ou mais unidades de um produto, selecionadas aleatoriamente, que representam o lote

3.3

área ou ponto seco de resina

local com fibras de vidro sem impregnação de resina na superfície ou no interior da parede do tubo/conexão

3.4

bandagem

reforço de fibras de vidro anisotrópico ou balanceado, obtido de *rovings* tecidos em forma de cinta

3.5

bolha

bolsa de ar presa no interior da parede do tubo/conexão

3.6

laminado estrutural

conjunto de lâminas que assegura ao tubo as propriedades estruturais exigidas no projeto

3.7

cavidade

depressão que causa descontinuidade na superfície interna ou externa da parede do tubo/conexão

3.8

classe de pressão (Pc)

máxima pressão interna sustentada por um tubo, em regime hidráulico permanente, na ausência de outras solicitações. É definida pelo HDB obtido no ensaio de pressão hidrostática interna de longa duração (Anexo H). A classe de pressão se determina conforme especificado em 4.1.3

3.9

rigidez

define-se rigidez como:

$$R = \frac{EI}{D^3}$$

Onde:

R é a rigidez, em Newtons por metro quadrado;

E é o módulo de elástico circunferencial de flexão, em Newtons por metro quadrado;

I é o momento de inércia na direção circunferencial por metro de comprimento, em metros a quarta potência sobre metro:

$$I = \frac{e_t^3}{12}$$

e_t é a espessura total da parede do tubo, em metros;

D é o diâmetro médio do tubo, em metros.

A classe de rigidez (CR) do tubo é um número adimensional e é o máximo valor especificado na Tabela 6, que seja inferior ao mínimo valor atingido pela amostra quando ensaiada conforme o Anexo C. Esta parte da ABNT NBR 15536 pode ter sua aplicação estendida a outras classes de rigidez.

A rigidez do tubo tem influência marcante na resistência ao colapso dos tubos enterrados. O usuário deve escolher a classe de rigidez levando em conta as condições de assentamento e trabalho da tubulação, conforme especificado pela ABNT NBR 10848.

3.10

compósito

classe de material heterogêneo, multifásico, podendo ou não ser polimérico, em que um dos componentes, descontínuo, é responsável pela principal resistência ao esforço (componente estrutural) e o outro, contínuo, é o meio de transferência deste esforço (componente matricial). A interface entre estes materiais tem característica dominante sobre suas características individuais

3.11

delaminação

separação entre uma ou mais camadas do laminado do tubo/conexão

3.12

diâmetro nominal (DN)

simple número que serve como designação para projeto e para classificar, em dimensões, os elementos de tubulação (tubos, conexões, anéis de borracha e acessórios) e que corresponde, aproximadamente, ao diâmetro interno dos tubos, em milímetros

NOTA O diâmetro nominal (DN) não deve ser objeto de medição nem ser utilizado para fins de cálculo.

3.13

exatidão de um instrumento de medição

aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro

3.14

exsudação

percolação visível de líquido através da parede do tubo até a sua superfície externa

3.15

fabricante

entidade que fabrica os produtos e os fornece ao comprador diretamente ou através de um fornecedor

3.16

fibras de vidro

produto de filamento de vidro com um tratamento químico superficial, tornando-o compatível com a resina de impregnação. Podem ser utilizados vidros tipo E e C, ou outros com propriedades químicas e mecânicas equivalentes ou superiores a estas:

- a) tipo E – Compreende principalmente óxidos de silício, alumínio e cálcio (vidro alumino-calossilicato) ou óxidos de silício, alumínio e boro (vidro alumino-borossilicato);

W

- b) tipo C – Compreende principalmente óxidos de silício, sódio, potássio, cálcio e boro (vidro de metal alcalino e cálcio com um teor elevado de trióxido de boro), o qual se destina à aplicação onde é desejável uma maior resistência química (usado principalmente em véu de superfície).

Em cada um destes tipos de vidro estão presentes pequenas quantidades de óxidos de outros metais

3.17

fissura/trinca

fratura ou fenda ou agrupamento de fraturas, que se estende através da espessura ou na superfície interna ou externa da parede do tubo/conexão

3.18

fornecedor

entidade que atua como um distribuidor de produtos para o fabricante, podendo o próprio fabricante atuar como fornecedor de seus produtos

3.19

furo

orifício que pode ou não atravessar a parede do tubo/conexão

3.20

pressão hidrostática de projeto

hydrostatic design basis

HDB

resultado do ensaio de pressão hidrostática interna de longa duração, que representa a tensão ou alongamento admissível de tração, com alto grau de certeza, extrapolado para 50 anos

3.21

alongamento de flexão

strain basis

Sb

resultado do ensaio de deformação por compressão circunferencial de longa duração que representa o alongamento de flexão, extrapolada para 50 anos

3.22

incrustação

objeto estranho embutido no interior do laminado do tubo/conexão, como, por exemplo, inseto ou cerda de pincel

3.23

junta elástica

JE

sistema de união utilizado em tubo, com a capacidade de suportar as tensões internas de ação radial, mas não suportar os esforços de tensão longitudinal

3.24

junta rígida

JR

sistema de união utilizado em tubo, com a capacidade de suportar a ação da pressão interna mediante os esforços de tensão longitudinal e radial

3.25

liner

camada de PVC ou resina termofixa, com ou sem carga, reforçada ou não, que forma a superfície interna do tubo

3.26**lote**

conjunto de tubos de mesmo diâmetro nominal, mesma classe de pressão e mesma classe de rigidez, produzidos em série, sob as mesmas condições

NOTA O lote corresponde a múltiplos da unidade de produto (comprimento equivalente aos corpos-de-prova suficientes para realização do ensaio de estanqueidade dos tubos).

3.27**manta**

material fibroso constituído de filamentos de fio de vidro cortados ou filamentos de fios de vidro contínuos, arranjados aleatoriamente

3.28**mecha****roving**

conjunto de filamentos ou fios de vidro paralelos, entrelaçados mecanicamente, cobertos com um agente de união para melhorar a compatibilidade com as resinas

3.29**pressão de trabalho****Pt**

máxima pressão interna na qual o sistema pode ser operado continuamente, excluindo o golpe de ariete

3.30**pite****pinhole**

cratera na superfície interna ou externa da parede do tubo/conexão, cujo diâmetro e profundidade têm aproximadamente a mesma dimensão

3.31**rebarba**

fibra de vidro aparente e/ou excesso de resina nas superfícies do tubo/conexão

3.32**resina****R**

polímero insaturado de alto peso molecular, que se apresenta no estado sólido quando não diluído em estireno

3.33**resina epóxi****RE [termofixa]**

polímero que contém dois ou mais anéis triangulares, cada um consistente de um átomo de oxigênio e dois carbonos. O polímero é curado por interligações com um endurecedor tipo amina ou tipo anidro, com ou sem calor, catalisador ou ambos

3.34**resina éster-vinilica****VER [termofixa]**

polímero resultante de modificações químicas na estrutura inicial de epóxi, adicionando-se duplas ligações vinílicas ao agrupamento éster

3.35**resina poliéster****UP [termofixa]**

polímero etilênico insaturado com dois ou mais grupos ésteres, diluído em um solvente reativo com insaturações vinílicas. O polímero é curado através de interligações obtidas por meio de um mecanismo de cura iniciado por radicais livres, assim como catalisadores peróxidos e calor

3.36

resolução

menor diferença entre indicações de um dispositivo de um mostrador que pode ser significativamente percebida

3.37

ressalto

elevação (degrau) sobre a camada interna ou externa do tubo/conexão

3.38

rigidez

R

capacidade do tubo de resistir a solicitações externas.

3.39

sobrepessão

Ps

incremento de pressão, acima da pressão de trabalho (Pt), que pode ocorrer em uma rede devido a um golpe de aríete

3.40

tecido roving

tecido de fibras de vidro usado para reforço, obtido a partir da tecelagem de *roving*

3.41

tela de vidro

tecido bidirecional feito a partir de uma malha trançada

3.42

tubo de PRFV

tubo constituído de um liner PVC ou de resina termofixa, uma estrutura externa reforçada com fibras de vidro impregnadas com resina termofixa curada. A estrutura composta pode conter agregados, cargas granulares, escamas de vidro, agentes tixotrópicos e pigmentos ou corantes

3.43

tubos controlados pelo diâmetro interno

tubos cujo controle de produção é realizado pelo diâmetro interno

3.44

tubos controlados pelo diâmetro externo

tubos cujo controle de produção é realizado pelo diâmetro externo

3.45

unidade de produto

corresponde ao comprimento equivalente aos corpos-de-prova suficientes para realização do ensaio de estanqueidade dos tubos

3.46

vêu de superfície

vêu de fibras de vidro ou de termoplástico, usado principalmente para produzir uma superfície rica em resina

4 Requisitos

4.1 Tubos

4.1.1 Classificação

- a) quanto aos processos de fabricação, podem ser classificados:
- filamento contínuo (FC);
 - centrifugação (CT);
 - laminação manual ou projeção (LM);
- b) quanto aos materiais componentes da estrutura, podem ser classificados como:
- resina epóxi reforçado com fibras de vidro (ER);
 - resina poliéster reforçado com fibras de vidro (PR);
 - resina éster-vinílica reforçada com fibras de vidro (VR);
 - argamassa de epóxi reforçado (AE);
 - argamassa de poliéster reforçado (AP);
 - argamassa de éster-vinílica reforçada (AV);
- c) quanto ao liner, uma estrutura tubular pode apresentar liner ou não, pode ter liner de PVC ou de resina termofixa e o liner pode ser reforçado ou sem reforço. A classificação do liner pode ser adotada:
- sem liner (SL);
 - com liner de PVC (LP);
 - com liner termofixo (LF);
 - com liner termofixo reforçado (LR).

4.1.2 Materiais

4.1.2.1 As resinas, reforços, corantes, cargas e outros materiais, quando se combinam para formar uma estrutura composta, devem produzir tubos que atendam aos requisitos desta parte da ABNT NBR 15536.

4.1.2.2 A composição das matérias-primas utilizadas na produção de tubos que são empregados no transporte de água potável deve estar em conformidade com as exigências da legislação vigente e não pode alterar as características básicas da água.

4.1.2.3 No caso dos tubos com liner de PVC, o composto do liner deve ser branco e atender aos requisitos especificados no Anexo P.

NOTA Fica facultado ao comprador acompanhar os ensaios, dispor de amostra para realização de ensaio conforme Anexo P ou analisar os relatórios de ensaio referente ao lote que está sendo usado.

4.1.3 Classes de pressão

As classes de pressão-padrão para tubos de PRFV, em megapascals, são 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5 e 3,2. Esta parte da ABNT NBR 15536 pode ser aplicada a outras classes de pressão. A classe de pressão é determinada de acordo com 4.1.7, pelo ensaio de pressão hidrostática interna de longa duração, utilizando-se um fator de segurança 1,8, conforme a equação a seguir:

$$P_c = \left(\frac{HDB}{FS} \right) \times \left(\frac{2 \cdot e_R}{D} \right)$$

Onde:

P_c é a classe de pressão do tubo, expressa em megapascals (MPa);

HDB é a pressão hidrostática de projeto, expressa em megapascals (MPa);

FS é o fator de segurança;

e_R é a espessura de parede do reforço do tubo, expressa em milímetros (mm);

D é o diâmetro médio do tubo, expresso em milímetros (mm), que é o diâmetro externo subtraído de uma vez a média da espessura de parede total ou diâmetro interno somado a uma vez a média da espessura de parede total.

NOTA O tubo objeto desta parte da ABNT NBR 15536 é projetado para ser utilizado em temperaturas de até 35 °C. Se for utilizado em outras condições o fabricante deve informar o fator de redução da classe de pressão.

Tubos com características diferentes de classe de pressão das especificadas nesta parte da ABNT NBR 15536 devem ser objeto de acordo prévio entre fabricante e comprador, e estar de acordo com os requisitos especificados nesta parte da ABNT NBR 15536.

4.1.4 Aspectos visuais

Os tubos devem apresentar-se livres de defeitos como ressaltos, rebarbas, delaminações, bolhas, incrustações, fissuras, trincas, cavidades, furos, pites ou áreas ou pontos secos de resina.

4.1.5 Acabamentos

As pontas dos tubos devem ser chanfradas com ângulo de $(30 \pm 2)^\circ$, conforme ilustrado na Figura 1. Deve ser realizado um acabamento superficial de resina na região chanfrada e a extremidade inferior do chanfro deve estar acima da extremidade superior do liner (o liner não deve ser cortado na execução do chanfro).

Após acordo prévio entre fabricante e comprador os tubos podem ser reparados, a fim de remover imperfeições de superfície e defeitos localizados que não afetem a espessura de parede, desde que os tubos reparados estejam em conformidade com todos os requisitos desta Norma.

A superfície externa dos tubos deve ser lisa, permitindo a intercambiabilidade e garantindo a estanqueidade em qualquer ponto ao longo do seu comprimento.

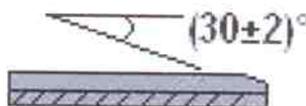


Figura 1 — Chanfro

4.1.6 Dimensões

4.1.6.1 Diâmetros

Os tubos de PRFV devem ter a produção controlada pelo diâmetro externo. Os diâmetros externos e respectivas tolerâncias devem estar de acordo com a Tabela 1, em função dos diâmetros nominais. A padronização do diâmetro externo deve garantir a intercambiabilidade entre os tubos de PRFV produzidos por diferentes fabricantes ou por diferentes processos, assim como com os tubos de ferro fundido através da sua bolsa.

Tabela 1 — Diâmetros externos e tolerâncias para os tubos

Diâmetro nominal DN	Diâmetro externo	Tolerância	
		Limite superior	Limite inferior
mm			
100	118,0	+ 1,0	- 2,8
150	170,0	+ 1,0	- 2,9
200	222,0	+ 1,0	- 3,0
250	274,0	+ 1,0	- 3,1
✓ 300 2	326,0	+ 1,0	- 3,3
× 350 1	378,0	+ 1,0	- 3,4
✓ 400 2	429,0	+ 1,0	- 3,5
✓ 450	480,0	+ 1,0	- 3,6
✓ 500 2	532,0	+ 1,0	- 3,8
× 600 3	635,0	+ 1,0	- 4,0
✓ 700 2	738,0	+ 1,0	- 4,3
✓ 800 3	842,0	+ 1,0	- 4,5
✓ 900 2	945,0	+ 1,0	- 4,8
× 1 000 1	1 048,0	+ 1,0	- 5,0
✓ 1 200	1 255,0	+ 1,0	- 5,5
✓ 1 400	1 462,0	+ 1,0	- 6,0
✓ 1 600	1 668,0	+ 1,0	- 7,4
× 1 800 1	1 875,0	+ 1,0	- 8,2
✓ 2 000	2 082,0	+ 1,0	- 9,0

Conforme acordo entre fabricante e comprador, podem ser fabricados tubos com diâmetros nominais ímpares entre DN 1 200 e DN 2 000 e outros diâmetros nominais entre DN 2 000 e DN 3 600, desde que estes tubos atendam aos requisitos de desempenho especificados por esta parte da ABNT NBR 15536. Neste caso os diâmetros externos e respectivas tolerâncias devem estar de acordo com a Tabela 2, em função dos diâmetros nominais.

Tabela 2 — Diâmetros externos e tolerâncias para os tubos

Diâmetro nominal DN	Diâmetro externo	Tolerância	
		Limite superior	Limite inferior
		mm	
1 300 ∇	1331,0	+ 1,0	- 2,8
1 500 ∇	1535,0	+ 1,0	- 2,8
1 700 ∇	1739,0	+ 1,0	- 3,0
1 900	1943,0	+ 1,0	- 3,0
2 100	2147,0	+ 1,0	- 3,2
2 200 \checkmark	2250,0	+ 1,0	- 3,2
2 300	2351,0	+ 1,0	- 3,4
2 400 \checkmark	2453,0	+ 1,0	- 3,4
2 500	2555,0	+ 1,0	- 3,6
2 600 \times	2658,0	+ 1,0	- 3,6
2 700	2759,0	+ 1,0	- 3,8
2 800	2861,0	+ 1,0	- 3,8
2 900	2963,0	+ 1,0	- 4,0
3 000	3066,0	+ 1,0	- 4,0
3 100	3167,0	+ 1,0	- 4,2
3 200	3270,0	+ 1,0	- 4,2
3 300	3371,0	+ 1,0	- 4,4
3 400	3474,0	+ 1,0	- 4,4
3 500	3575,0	+ 1,0	- 4,6
3 600	3678,0	+ 1,0	- 4,6

4.1.6.2 Comprimentos

Os tubos devem ser fornecidos nos comprimentos úteis constantes na Tabela 3. Outros comprimentos úteis podem ser acordados entre o comprador e o fabricante. No máximo 15 % dos tubos fornecidos podem ser entregues com comprimentos diferentes dos especificados, sendo que o comprimento destes tubos não pode ser inferior a 75 % do comprimento útil especificado.

O comprimento total a ser fornecido não deve ser inferior ao especificado. Exemplo de determinação do comprimento útil é apresentado na Figura 2.

Tabela 3 — Comprimentos úteis e tolerâncias

Comprimento útil m	Tolerância do comprimento %
3	± 2,0 %
6	± 1,0 %
9	± 1,0 %
12	± 1,0 %
14	± 1,0 %
18	± 1,0 %



Figura 2 — Exemplo de determinação de comprimento útil

4.1.6.3 Espessura de parede

A espessura média de parede do tubo não deve ser menor que a espessura nominal declarada pelo fabricante. A espessura mínima, em qualquer ponto, não deve ser menor que 87,5 % da espessura nominal, medida de acordo com o Anexo A.

4.1.6.4 Ovalização

A ovalização do tubo deve ser inferior ou igual aos valores apresentados na Tabela 4, medida de acordo com o Anexo A.

Tabela 4 — Tolerâncias para ovalização dos tubos

Diâmetro nominal DN	Tolerância para ovalização (máx)
DN ≤ 150	1,5 mm
150 < DN ≤ 600	3,0 mm
DN > 600	0,005 x DN

4.1.7 Resistência à pressão hidrostática interna de longa duração

As classes de pressão devem ser estabelecidas com base nos resultados dos ensaios de resistência à pressão hidrostática interna de longa duração, extrapolados para o período de 438 000 h, de acordo com o Anexo H. Este ensaio deve ser realizado uma única vez para cada tipo de tubo e deve ser refeito quando houver mudança significativa do produto. Considera-se que ocorre uma mudança significativa quando houver qualquer mudança no material, no processo de manufatura, construção ou a redução na espessura do liner.

4.1.8 Verificação da estanqueidade do tubo

O tubo não deve apresentar rupturas, furos, vazamentos ou exsudações quando ensaiado à temperatura ambiente de acordo com o Anexo B. Neste ensaio deve ser mantida uma pressão igual a duas vezes a classe de pressão durante 30 s.

4.1.9 Deformação por compressão circunferencial de longa duração

A deformação de flexão circunferencial devido à compressão diametral de longo prazo (S_b) é determinada para detectar qualquer redução abrupta e significativa das propriedades mecânicas do material ao longo da vida útil. Os dados dos ensaios devem ser extrapolados estatisticamente para o período de 438 000 h. O valor de S_b deve ser determinado pelo ensaio conforme o Anexo I, utilizando-se água com pH entre 5 e 9. Este ensaio deve ser realizado uma única vez para cada tipo de tubo e deve ser refeito quando houver mudança significativa do produto. Considera-se que ocorre uma mudança significativa quando houver qualquer mudança no material, no processo de manufatura, construção ou a redução na espessura do liner.

4.1.10 Resistência à tração circunferencial

O ensaio de tração circunferencial deve ser realizado em conformidade com o Anexo D. O corpo-de-prova deve atingir ou exceder a mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento calculada pelas equações (1) e (2) abaixo, a que for maior. Se utilizado o método A, a velocidade do ensaio deve ser de 12,0 mm/min ± 0,5 mm/min.

$$F = Si/Sr \times (P \times r) \quad (1)$$

$$F = 4,0 \times (P \times r) \quad (2)$$

Onde:

F é a mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento, expressa em quilonewtons por metro (kn/m);

Si é a tensão circunferencial inicial de ruptura, expressa em quilonewtons por metro quadrado (kn/m²);

Sr é a tensão circunferencial na classe de pressão, expressa em quilonewtons por metro quadrado (kn/m²);

P é a classe de pressão especificada, expressa em quilonewtons por metro quadrado ((kn/m²);

r é o raio médio do tubo em metros = (diâmetro externo – espessura de parede total)/2.

Os valores de Si e Sr devem ser estabelecidos conforme o ensaio de pressão hidrostática de longa duração (conforme 4.1.7). O valor de Si deve ser obtido da reta de regressão para o nível inferior de confiança de 95 %, extrapolando-se para 0,1 h. O valor de Sr é determinado pela tensão circunferencial obtida para a classe de pressão do tubo.

4.1.11 Resistência à tração axial

4.1.11.1 A resistência à tração axial deve ser determinada conforme o Anexo G, podendo ser utilizado o método A, o método B, ou o método C, para determinação da carga de ruptura. Para determinação do alongamento na ruptura só podem ser usados os métodos A ou B. Os tubos devem apresentar alongamento longitudinal mínimo de 0,25 % na ruptura e a força axial por unidade de comprimento circunferencial na ruptura deve atingir ou exceder os valores de resistência à tração axial apresentados na Tabela 5.

4.1.11.2 Os valores fornecidos pela Tabela 5 são os valores mínimos para produtos abrangidos por esta Norma e estão baseados em tubos enterrados, completamente restringidos na direção axial devido ao atrito do solo.

NOTA Para tubos aéreos, deve ser consultado o fabricante.

Tabela 5 — Valores mínimos de resistência à tração axial
kN/m de circunferência

Diâmetro nominal DN	Classe de pressão MPa								
	≤ 0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,2
50	50	55	60	60	65	70	80	90	105
80	65	70	70	70	75	80	90	100	115
100	70	75	80	80	85	90	100	110	125
150	80	85	95	100	105	110	120	130	145
200	85	95	105	110	115	120	130	140	155
250	90	105	115	125	130	135	150	165	190
300	95	115	130	140	145	150	170	190	220
350	100	125	140	155	160	170	190	215	250
400	105	130	145	160	170	185	210	240	285
450	110	140	160	175	185	205	230	265	315
500	115	150	170	190	200	220	250	290	345
600	125	165	195	220	235	255	295	345	415
700	135	180	215	250	265	290	340	395	475
800	150	200	240	280	295	325	380	450	545
900	165	215	265	310	325	355	425	505	620
1 000	185	230	285	340	360	390	465	555	685
1 200	205	260	320	380	410	460	-	-	-
1 400	225	290	355	420	460	530	-	-	-
1 600	250	320	390	460	510	600	-	-	-
1 800	275	350	425	500	560	670	-	-	-
2 000	300	380	460	540	610	740	-	-	-
2 200	325	410	495	580	660	810	-	-	-
2 400	350	440	530	620	710	880	-	-	-
2 600	375	470	565	660	-	-	-	-	-
2 800	400	505	605	705	-	-	-	-	-
3 000	430	540	645	750	-	-	-	-	-
3 200	460	575	685	795	-	-	-	-	-
3 400	490	610	725	840	-	-	-	-	-
3 600	520	645	765	885	-	-	-	-	-

4.1.12 Verificação da classe de rigidez

4.1.12.1 Os valores das classes de rigidez são adimensionais e correspondem aos valores de rigidez em Newtons por metro quadrado. Os valores das classes de rigidez especificados por esta parte da ABNT NBR 15536 são 2 500, 3 750, 5 000, 7 500 e 10 000. A rigidez deve ser medida pelo Anexo C na deformação diametral de 5 % do diâmetro médio do corpo-de-prova. A classe de rigidez do tubo corresponde ao valor especificado na Tabela 6 igual ou imediatamente inferior ao menor valor medido na amostra.

NOTA O uso desta parte da ABNT NBR 15536 pode ter sua aplicação estendida a outras classes de rigidez.

Tabela 6 — Valor mínimo de rigidez em Newtons por metro quadrado requerido para 5 % de deformação diametral

Diâmetro nominal DN	Classe de rigidez				
	2 500	3 750	5 000	7 500	10 000
50 a 600	-	-	5 000	7 500	10 000
700 a 3 600	2 500	3 750	5 000	7 500	10 000

4.1.12.2 Após definida a classe de rigidez, os corpos-de-prova devem suportar os níveis de deformação diametral apresentados na Tabela 7, sem apresentar falhas, como especificado para cada nível a seguir:

- nível A – os corpos-de-prova não devem apresentar evidências visuais, a olho nu, de fissuras, fendas ou ruptura das superfícies interna e externa;
- nível B – os corpos-de-prova não devem apresentar evidências visuais, a olho nu, de dano estrutural da parede, tais como: separação interlaminar, ruptura do reforço de fibra de vidro, fratura ou colapso da parede do tubo. Neste nível, trincas na superfície interna não são consideradas falhas.

A rigidez de um tubo não deve ser inferior à classe de rigidez especificada. Nas condições em que ela for superior à classe de rigidez, os níveis de deformação diametral A e B para o ensaio devem ser calculados conforme as equações a seguir, com três algarismos significativos:

$$\text{Nível A} = \frac{194}{R^3} (\%)$$

$$\text{Nível B} = \frac{324}{R^3} (\%)$$

Onde:

R é a rigidez do tubo, em Newtons por metro quadrado.

Tabela 7 — Deformações diametraes dos níveis A e B, em percentagem

Nível de deflexão	Classe de rigidez				
	2 500	3 750	5 000	7 500	10 000
A	14,3	12,5	11,3	9,9	9,0
B	23,9	20,9	18,9	16,6	15,0

4.1.13 Resistência à compressão axial

O ensaio deve ser realizado conforme o Anexo E, podendo ser utilizado o método A ou o método B, considerando que:

- o método A pode ser utilizado para quaisquer diâmetros. Neste método os corpos-de-prova devem atingir ou exceder a mínima força de compressão axial especificada na Tabela 8 e atender ao requisito de tração axial especificado em 4.1.11;
- o método B pode ser utilizado para tubos com diâmetros nominaes até DN 700, sendo que os corpos-de-prova devem suportar sem ruptura a ação simultânea da carga de viga listada na Tabela 9.

Este ensaio deve ser realizado uma única vez para cada tipo de tubo e deve ser refeito quando houver mudança significativa do produto. Considera-se que ocorre uma mudança significativa quando a resistência à tração axial, determinada conforme 4.1.11, sofrer um decréscimo maior que 15 %.

Tabela 8 — Requisitos para resistência à compressão utilizando o método A (mínima força de compressão axial)

Diâmetro nominal DN	Mínima força de compressão axial kN/m de circunferência
50-150	63
200-800	102
900	122
1 000	137
1 200	161
1 400	182
1 600	210
1 800	238
2 000	260
2 200	280
2 400	322
2 600	340
2 800	360
3 000	400
3 200	420
3 400	440
3 600	480

Tabela 9 — Requisitos para resistência de viga utilizando o método B

Diâmetro nominal DN	Carga de viga <i>P</i> kN
50	0,20
80	0,44
100	0,82
150	1,9
200	3,6
250	5,3
300	7,1
350	9,8
400	13,3
450	17,8
500	19,6
600	28,5
700	35,6

4.1.14 Verificação do efeito sobre água

Os tubos de PRFV aplicados para adução e distribuição de água devem preservar o padrão de potabilidade da água que passa pelo interior da tubulação.

Os tubos de PRFV que não possuem liner de PVC devem atender aos requisitos da Resolução nº 105 da ANVISA, não apresentando uma concentração de estireno residual em sua matéria plástica superior a 2 500 mg/kg de amostra, quando ensaiados conforme descrito no Anexo N.

Conforme a Portaria nº 518, da ANVISA, os tubos de PRFV não devem transmitir sabor ou odor, ou provocar alteração de cor ou turvamento da água, que também não deve apresentar concentrações de estireno ou diclorometano superiores a 20 µg/L. O ensaio de migração específica de estireno e diclorometano deve ser realizado conforme o Anexo O.

Para os tubos de PRFV que possuem liner de PVC, este deve atender aos requisitos de efeito sobre a água estabelecidos no Anexo P.

4.2 Sistemas de junta

4.2.1 Tipos de sistema de junta

Existem diversos tipos de uniões, também denominados juntas, desenvolvidos para tubos, pressurizados ou não, fabricados a partir de materiais compósitos. A escolha de um sistema de união depende de sua aplicação em uma situação específica. Conceitualmente, os sistemas de uniões podem ser divididos em três grupos:

- a) no primeiro grupo os sistemas de junta são desenvolvidos para tubos enterrados, contando com o atrito integral do solo. O objetivo desta junta é garantir estanqueidade e flexibilidade. Este tipo de união é denominado junta elástica deslizante;
- b) no segundo grupo os sistemas de junta, denominados juntas rígidas, são projetados para oferecer resistência às solicitações longitudinais do tubo;
- c) no terceiro grupo encontram-se os sistemas de junta mistos, do tipo ponta e bolsa com vedação de borracha porém com restrições ao deslocamento longitudinal do tubo, também denominado junta elástica travada.

Qualquer que seja o sistema de junta utilizado, este deve garantir a estanqueidade ao fluido ao longo da vida útil da tubulação segundo as condições de operação. Os tipos de junta mais usuais estão descritos em 4.2.2 a 4.2.4.

4.2.2 Junta elástica deslizante com vedação em anel de borracha (JE)

A principal característica da junta elástica deslizante (JE) é o conceito desenvolvido de que estes sistemas são projetados para garantir uma união flexível que seja capaz de se adaptar à topografia ondulada do terreno e absorver recalques diferenciais de solo, além de facilitar a montagem. O atrito do tubo com o solo faz com que o tubo se mantenha montado, no entanto as curvas e conexões de PRFV precisam ser devidamente ancoradas. A montagem é simples e realizada de forma deslizante, utilizando-se uma pasta lubrificante para facilitar o encaixe.

A junta elástica deslizante pode utilizar anel integrado na bolsa, sendo neste caso denominada de junta elástica integrada (JEI).

4.2.2.1 Junta elástica tipo ponta – bolsa e anel (PBA)

A Figura 3 ilustra um exemplo de sistema de união tipo ponta e bolsa com anel de vedação localizado na bolsa. A junta assim constituída tem o anel de vedação alojado em um alojamento apropriado, situado na bolsa de um tubo ou de uma conexão, que permite receber a ponta do tubo, conexão ou peça especial.

As dimensões da bolsa dos tubos de PRFV com liner de PVC que adotam junta do tipo ponta – bolsa e anel (PBA) devem estar de acordo com a Figura 4 e Tabela 10.



Figura 3 — Junta elástica – PBA

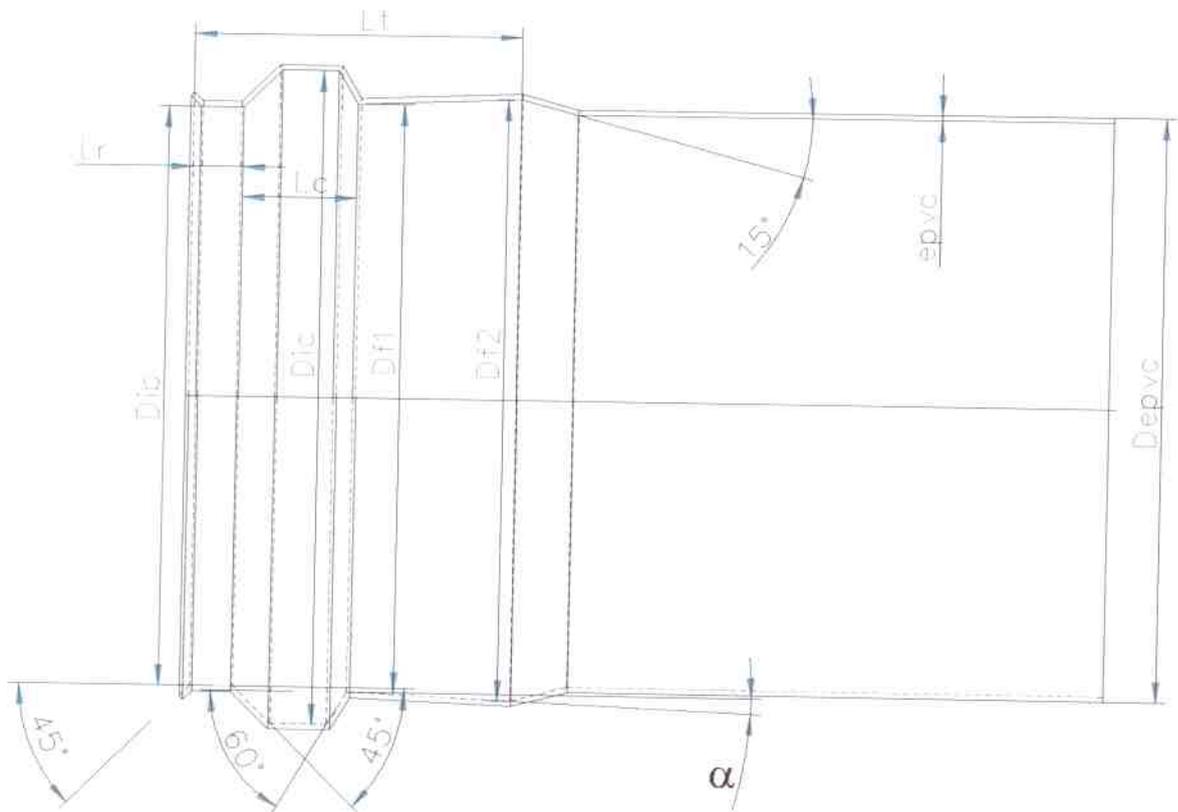


Figura 4 — Dimensões da bolsa dos tubos de PRFV

Exemplar autorizado para uso exclusivo - EDRA DO BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO LTDA. - 45.773.967/0001-44

Tabela 10 — Dimensões das bolsas dos tubos de PRFV

DN	Corpo do liner de PVC				Entrada da bolsa		Canaleta		Saída da canaleta		Comprimentos da bolsa				Ângulo da bolsa
	D_{epvc}	ΔDe	e_{pvc}	Δe_{pvc}	D_{ib}	ΔD_{ib}	D_{ic}	ΔD_{ic}	D_{f1}	ΔD_{f1}	L_r	L_c	ΔL_c	L_t	α
	mm														
100	114,70	± 0,15	1,80	± 0,20	121,00	± 0,40	151,55	± 0,70	123,30	± 0,40	16,60	34,35	± 0,70	129,95	1,95
150	165,30	± 0,20	1,90	± 0,20	173,00	± 0,40	205,20	± 0,70	175,45	± 0,40	18,40	36,30	± 0,70	137,70	1,95
200	215,95	± 0,20	2,00	± 0,20	225,00	± 0,40	258,80	± 0,70	227,55	± 0,40	20,20	38,10	± 0,70	145,30	1,95
250	266,45	± 0,25	2,50	± 0,25	277,00	± 0,50	312,70	± 0,80	279,70	± 0,50	22,15	40,30	± 0,80	153,45	1,95
300	317,00	± 0,30	3,00	± 0,25	329,00	± 0,50	366,20	± 0,80	331,80	± 0,50	23,85	41,95	± 0,80	160,80	1,95
350	367,60	± 0,35	3,50	± 0,30	381,00	± 0,60	420,60	± 1,00	384,00	± 0,60	26,00	44,55	± 1,00	169,55	1,95
400	417,20	± 0,35	4,00	± 0,30	432,00	± 0,60	472,95	± 1,00	435,00	± 0,60	27,65	46,10	± 1,00	176,75	1,95
450	466,80	± 0,40	4,50	± 0,35	483,00	± 0,70	526,25	± 1,10	486,25	± 0,70	29,70	48,60	± 1,10	185,30	1,95
500	517,40	± 0,45	4,50	± 0,35	535,00	± 0,70	581,90	± 1,10	538,50	± 0,70	32,35	52,50	± 1,10	195,85	1,95
600	617,60	± 0,50	5,00	± 0,35	638,00	± 0,70	688,30	± 1,10	641,45	± 0,70	36,00	56,35	± 1,10	211,35	1,75
700	717,75	± 0,60	5,00	± 0,35	741,00	± 0,70	795,45	± 1,10	744,70	± 0,70	39,90	60,90	± 1,10	227,80	1,75

4.2.2.2 Junta elástica tipo ponta - anel e bolsa (PAB)

A Figura 5 ilustra um exemplo de sistema de união tipo ponta e bolsa com anel de vedação localizado na ponta. A junta assim constituída pode ter um ou dois anéis de vedação alojados em uma canaleta apropriada, situada na ponta de um tubo ou de uma conexão. Para permitir a união dos tubos com este tipo de junta com os tubos de PRFV com outros sistemas de junta ou com os tubos de PVC DEFOFO ou de ferro fundido, é necessária a remoção da ponta e/ou da bolsa e, quando necessário, deve ser utilizado um acessório no lugar da bolsa.

O diâmetro externo da ponta do tubo, especificamente na região referente à localização dos alojamentos dos anéis, deve apresentar-se com as dimensões especificadas no catálogo do fabricante.

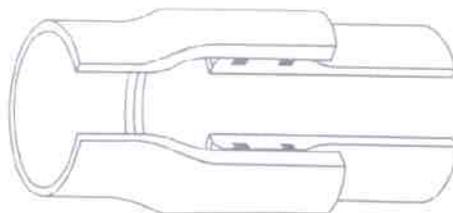


Figura 5 — Junta Elástica – P

4.2.2.3 Luva elástica de montagem ou luva tipo Reka

Este sistema, mostrado esquematicamente na Figura 6, é composto por uma luva de acoplamento tipo junta elástica dotada de dois anéis de vedação nas extremidades da luva (Figura 6a) ou anel integrado (Figura 6b). Cada uma das extremidades das barras de tubos que forem unidos é então introduzida em um lado da luva de acoplamento Reka. Depois de montada, a luva passa a funcionar como uma bolsa. O sistema utiliza dois conceitos de vedação: vedação labial e vedação por compressão, resultando na estanqueidade em situações de pressões positivas ou pressões negativas (vácuo).

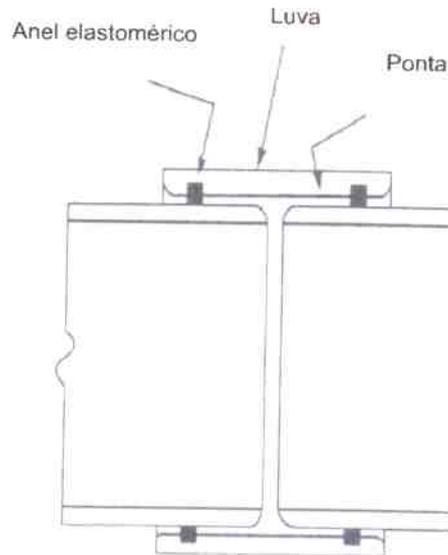


Figura 6a

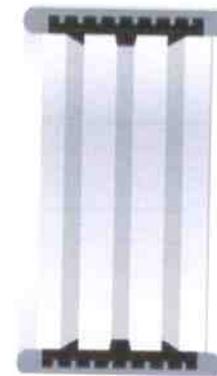


Figura 6b

Figura 6 — Luva elástica de montagem ou tipo Reka

4.2.3 Junta elástica travada (JT)

A Figura 7 ilustra um sistema de união com junta elástica travada. Neste sistema, além do anel de borracha, é necessário o uso complementar de um sistema de trava, composto por uma ponta e um anel de PRFV colados na bolsa. A junta elástica travada permite que se obtenham ângulos de deflexão inferiores aos das juntas elásticas - PBA.

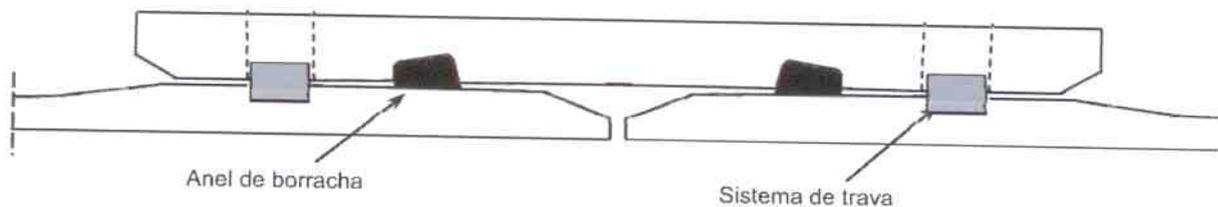


Figura 7 — Junta elástica travada

4.2.4 Junta rígida

São uniões especialmente projetadas para garantir estanqueidade, além de oferecer resistência aos esforços longitudinais a que o tubo ou conexão possa estar submetido em condições normais de trabalho.

4.2.4.1 Ponta - bolsa e anel com junta rígida (PBA-R)

A Figura 8 apresenta uma das diversas modalidades de um sistema de união tipo PBA-R, onde a vedação é feita por anéis de borracha e a restrição aos movimentos axiais é absorvida por uma rosca quadrada ou trapezoidal.

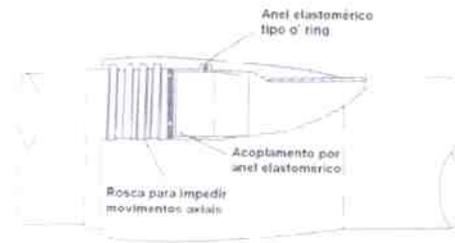


Figura 8 — Ponta - bolsa e anel com junta rígida

NOTA Caso este tipo de junta seja utilizada, a rosca deve ser padronizada.

4.2.4.2 Outros tipos de união

Outros tipos de uniões com junta rígida são ilustrados nas Figuras 9, 10 e 11.

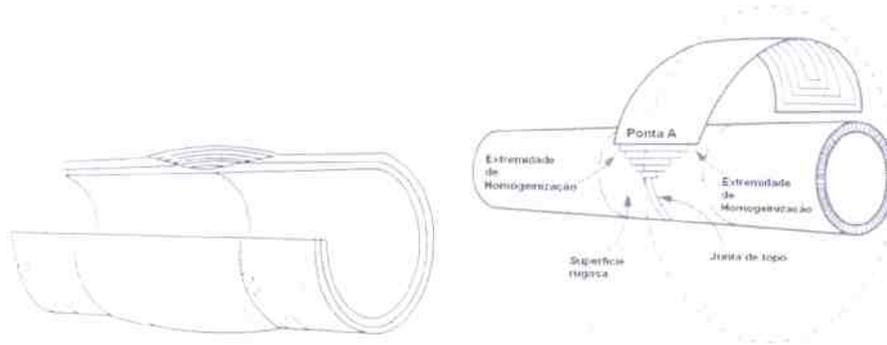


Figura 9 — União de topo com laminado de recobrimento (JR-LT)

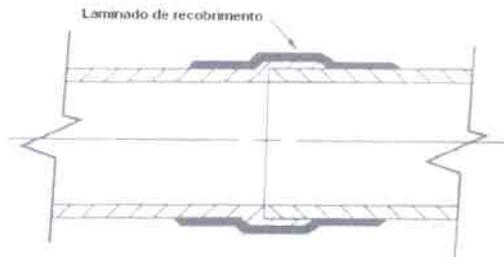


Figura 10 — União ponta/bolsa com laminado de recobrimento

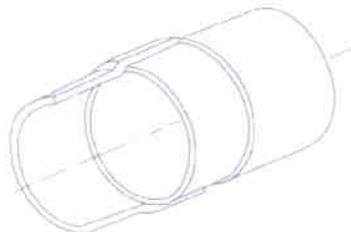


Figura 11 — União ponta/bolsa colada

4.2.4.3 União flangeada (JR-F)

A união flangeada representada na Figura 12 é um sistema de junta desmontável com auxílio de parafusos, porcas e arruelas, e que utiliza um sistema de vedação de borracha, cortada em forma de um disco. O flange de PRFV tem a face de vedação plana e pode ou não ser dotado de ranhuras. As Figuras 13 e 14 ilustram um flange fabricado em filamento contínuo para montagem por colagem.



Figura 12 — Flange



Figura 13 – Flange em filamento contínuo

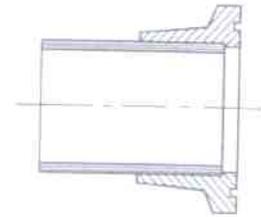


Figura 14 – Esquema do flange colado (montado)

4.2.5 Dimensões de bolsa

As dimensões da bolsa dos tubos de PRFV com liner de PVC que adotam junta do tipo ponta – bolsa e anel (PBA) devem estar de acordo com 4.2.2.1.

4.2.6 Verificação da estanqueidade da junta

A junta dos tubos de PRFV deve ser submetida às situações 1, 2 e 3 apresentadas na Tabela 11, quando ensaiada conforme o método especificado no Anexo F. Este ensaio deve ser realizado uma única vez para cada tipo de junta e deve ser refeito no caso de quaisquer alterações nas dimensões do sistema de junta dos tubos de PRFV.

As juntas rígidas ou juntas elásticas travadas devem ser ensaiadas com dispositivos de fechamento das extremidades, não restringidos na direção longitudinal, e as juntas elásticas devem ser ensaiadas com dispositivos de fechamento das extremidades restringidos quanto ao deslocamento longitudinal. As juntas rígidas ou juntas elásticas travadas são isentas da situação de deflexão angular.

Caso algum dos corpos-de-prova apresente em qualquer uma das três situações de ensaio alguma ocorrência de rupturas, furos, vazamentos ou exsudações, o ensaio completo deve ser repetido em uma nova amostra. Em caso de nova falha, considerar que a amostra não atende a este requisito. Neste caso devem ser realizadas alterações no projeto da junta e o ensaio deve ser repetido. O relatório de ensaio da junta dos tubos de PRFV deve informar as características dimensionais (diâmetro interno da bolsa, diâmetro externo da ponta e respectivas tolerâncias) e de projeto da junta ensaiada, informações que devem ser disponibilizadas ao comprador para avaliação dimensional das juntas fornecidas.

Tabela 11 — Desempenho da junta

Situação de ensaio	Deflexão/carga distribuída	Especificação
1 - Pressão hidrostática interna	Deflexão angular da junta de: 3 ° para: DN ≤ 500 2 ° para: 500 < DN ≤ 900 1 ° para: 900 < DN ≤ 1 800 0,5 ° para: DN > 1 800	Pressão hidrostática interna de duas vezes a classe de pressão para tubulações pressurizadas ou de 200 kPa para tubulações não pressurizadas, durante 10 min Nenhum dos corpos-de-prova deve apresentar rupturas, furos, vazamentos ou exsudações
2 - Pressão hidrostática interna	Carga distribuída de 17,5 kN/m no diâmetro	Pressão hidrostática interna de duas vezes a classe de pressão para tubulações pressurizadas ou de 200 kPa para tubulações não pressurizadas, durante 10 min Nenhum dos corpos-de-prova deve apresentar rupturas, furos, vazamentos ou exsudações
3 - Vácuo parcial interno ou pressão hidrostática externa	Deflexão angular e carga distribuída simultâneas, conforme as situações 1 e 2	Pressão hidrostática externa de 80 kPa ou vácuo parcial interno de - 80 kPa, durante 10 min No caso de aplicação de vácuo, o máximo incremento de pressão no interior dos corpos-de-prova deve ser de 0,7 kPa No caso de aplicação de pressão hidrostática externa, a máxima redução de pressão no interior dos corpos-de-prova deve ser de 0,7 kPa

5 Inspeção

5.1 Generalidades

A inspeção de recebimento do produto acabado deve ser feita em fábrica, podendo ser realizada em outro local, conforme acordo prévio entre o comprador e o fabricante, desde que o último reúna recursos para realização da inspeção.

Por acordo prévio entre fabricante e comprador, com o objetivo de se avaliarem as características relevantes de cada tipo de liner, para recebimento de tubos com liner de PVC, tubos com liner termofixo ou tubos com liner termofixo reforçado, conforme indicado na Tabela 12, alternativamente ao ensaio de verificação da estanqueidade dos tubos, pode ser realizado o ensaio hidrostático de resistência à tração circunferencial (Anexo D - método B).

No caso da realização do ensaio hidrostático de resistência à tração circunferencial (Anexo D - método B), deve ser avaliado durante ele a ocorrência ou não de exsudação dos corpos-de-prova. Caso algum corpo-de-prova apresente exsudação durante a realização deste ensaio, uma nova amostra deve ser coletada e deve ser realizado o ensaio de estanqueidade dos tubos conforme o Anexo B.

Durante as operações de recebimento realizadas em fábrica, o fabricante deve colocar à disposição do comprador os laboratórios, equipamentos e o pessoal especializado para execução da análise visual, verificação dimensional e ensaios. Todos os equipamentos utilizados devem estar em conformidade com os requisitos dos métodos de ensaio que forem realizados, devem estar devidamente calibrados e com os respectivos certificados de calibração. No caso dos tubos com liner de PVC, o fabricante deve manter e colocar à disposição do comprador os registros dos exames e ensaios de recebimento dos tubos de PVC utilizados como liner, conforme especificado em 4.1.2.3.

O comprador ou seu representante deve ser informado com a antecedência mínima acordada com o fabricante da data na qual devem ter início as operações de recebimento. Caso o comprador não compareça ou se manifeste neste período, o fabricante deve tomar as providências necessárias para a entrega dos produtos, dos lotes aceitos, com os correspondentes relatórios de inspeção.

NOTA Destaca-se que o Anexo L apresenta um exemplo de aplicação da inspeção por recebimento para os tubos de PRFV.

Tabela 12 — Verificação em função da classificação do liner

Tipo de liner	Ensaio de estanqueidade dos tubos (conforme Anexo B)	Ensaio hidrostático de resistência à tração circunferencial (conforme Anexo D, método B)
Tubo sem liner (SL)	Recomendado	-
Com liner termoplástico (LP)	-	Recomendado
Com liner termofixo (LF)	-	Recomendado
Com liner termofixo reforçado (LR)	-	Recomendado

5.2 Ensaios não destrutivos dos tubos de PRFV

Os lotes dos tubos devem ser submetidos à análise visual indicada em 4.1.4 e 4.1.5 e a verificação dimensional indicada em 4.1.6. Em função de sua caracterização conforme 5.1, os lotes dos tubos devem ser submetidos ao ensaio de estanqueidade indicado em 4.1.8 ou ao ensaio hidrostático de resistência à tração circunferencial (Anexo D - método B), indicado em 4.1.10. Estas análises e ensaios devem ser realizados em fábrica. Os ensaios não destrutivos (análise visual, verificações dimensionais e ensaio de estanqueidade dos tubos) devem ser realizados em amostra indicada na Tabela 14.

O ensaio de estanqueidade dos tubos pode ser realizado em segmentos de tubo ou no tubo inteiro. No caso da realização do ensaio no tubo inteiro, deve-se assegurar que o comprimento total relativo ao número de tubos ensaiados (em metros) seja superior ao exigido para o tamanho da amostra em múltiplos de unidade de produto (em metros).

Caso seja realizado o ensaio hidrostático de resistência à tração circunferencial (Anexo D - método B), a amostra deste ensaio, que é destrutivo, deve ser aquela indicada na Tabela 15 e deve ser suprimida a realização deste ensaio, conforme 5.3.3.

A realização do ensaio de estanqueidade dos tubos pode ser dispensada, caso o fabricante apresente comprovação da realização deste ensaio em 100 % dos tubos, durante a produção.

O resultado final deve ser analisado de acordo com 6.3, considerando que uma unidade de produto que tenha sido reprovada em qualquer um destes requisitos deve ser considerada unidade defeituosa na avaliação da aceitação ou rejeição do lote.

5.3 Ensaios destrutivos dos tubos de PRFV

Os lotes que forem aprovados na análise realizada conforme 6.3 quanto aos ensaios não destrutivos previstos em 5.2 devem ser submetidos aos ensaios previstos em 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3, de acordo com os requisitos indicados na Seção 4. Os ensaios destrutivos devem ser realizados na amostra definida na Tabela 15 conforme 6.2, que deve ser extraída entre as unidades de produto aprovadas quanto aos ensaios não destrutivos, e o resultado final deve ser analisado de acordo com 6.3, considerando que uma unidade de produto que tenha sido reprovada em qualquer um destes ensaios será considerada unidade defeituosa na avaliação de aceitação ou rejeição do lote.

Antes da realização dos ensaios, as unidades de produto devem ser identificadas de modo a garantir a rastreabilidade de todas as informações e operacionalização do fluxograma de ensaios, dado que na reprovação de qualquer um dos ensaios a unidade de produto será reprovada, não havendo necessidade da realização dos ensaios subsequentes, caso aplicável.

5.3.1 Ensaio de determinação da classe de rigidez

As unidades de produto aprovadas nos ensaios não destrutivos dos tubos devem ser submetidas ao ensaio de determinação da classe de rigidez, de acordo com 4.1.12. De qualquer um dos corpos-de-prova das unidades de produto aprovadas quanto aos ensaios não destrutivos, devem ser extraídos os corpos-de-prova para realização do ensaio de determinação da classe de rigidez. Estes ensaios podem ser realizados na fábrica ou em local externo, sendo que os corpos-de-prova para realização destes ensaios devem ser confeccionados pela fábrica inspecionada.

5.3.2 Ensaio de resistência à tração axial

As unidades de produto aprovadas quanto ao requisito de determinação da classe de rigidez devem ser submetidas ao ensaio de resistência à tração axial, de acordo com 4.1.11. De qualquer um dos corpos-de-prova das unidades de produto aprovadas quanto aos ensaios não destrutivos devem ser extraídos os corpos-de-prova para realização do ensaio de resistência à tração axial. Estes ensaios podem ser realizados na fábrica ou em local externo, sendo que os corpos-de-prova para realização destes ensaios devem ser confeccionados pela fábrica inspecionada.

5.3.3 Ensaio de resistência à tração circunferencial

As unidades de produto aprovadas quanto ao requisito de resistência à tração axial devem ser submetidas ao ensaio de verificação da resistência à tração circunferencial, de acordo com 4.1.10. De qualquer um dos corpos-de-prova das unidades de produto aprovadas quanto aos ensaios não destrutivos devem ser extraídos os corpos-de-prova para realização do ensaio de resistência à tração circunferencial. Estes ensaios podem ser realizados na fábrica ou em local externo, sendo que os corpos-de-prova para realização destes ensaios devem ser confeccionados pela fábrica inspecionada.

5.4 Relatório da inspeção de recebimento

Para cada lote inspecionado, deve ser elaborado um relatório que deve conter no mínimo o seguinte:

- a) identificação completa do lote;
- b) quantidade de tubos fornecidos;
- c) unidade de produto adotada;
- d) tamanho do lote calculado;
- e) declaração sobre a situação do lote em relação às especificações desta Norma.

6 Amostragem

6.1 Definição da unidade de produto

A inspeção dos tubos de PRFV limita-se ao produto acabado, devendo ser efetuada em fornecimentos de mesmo diâmetro nominal, mesma classe de pressão e mesma classe de rigidez, produzidos em série, sob as mesmas condições. A unidade de produto dos tubos de PRFV, em metros, é apresentada na Tabela 13 em função dos respectivos diâmetros nominais. Cada unidade de produto é composta por três segmentos com dimensões suficientes para realização do ensaio de verificação da estanqueidade dos tubos, conforme Anexo B.

Tabela 13 — Unidade de produto (comprimento mínimo)

Diâmetro nominal DN	Unidade de produto ¹⁾ m
50 a 100	3 x 0,500
150	3 x 0,750
200	3 x 0,760
250	3 x 0,760
300	3 x 0,900
350	3 x 1,050
400	3 x 1,200
450	3 x 1,350
500	3 x 1,500
600	3 x 1,600
700	3 x 1,700
800	3 x 1,800
900	3 x 1,900
1 000	3 x 2,000
1 200	3 x 2,200
1 400	3 x 2,400
1 600	3 x 2,600
1 800	3 x 2,800
2 000	3 x 3,000
2 200	3 x 3,200
2 400	3 x 3,400
2 600	3 x 3,600
2 800	3 x 3,800
3 000	3 x 4,000
3 200	3 x 4,200
3 400	3 x 4,400
3 600	3 x 4,600

¹⁾ Os comprimentos apresentados nesta Tabela são os mínimos entre dispositivos de fechamento das extremidades, especificados pelo Anexo B, para realização do ensaio de estanqueidade dos tubos. Estes comprimentos podem ser majorados conforme os dispositivos de fechamento utilizados.

6.2 Cálculo do tamanho de lote e definição do tamanho da amostra

O tamanho do lote em unidades de produto é calculado dividindo-se o comprimento total do fornecimento (em metros) pela unidade de produto adotada (em metros), conforme 6.1, respeitando-se os limites mínimos especificados na Tabela 13. O fornecimento deve ser então avaliado por inspeção por amostragem de acordo com a Tabela 14 (conforme ABNT NBR 5426, para amostragem dupla normal, NQA de 6,5 e nível de inspeção geral II), em função do tamanho de lote calculado, para a realização dos ensaios não destrutivos dos tubos de PRFV. De cada lote a ser inspecionado, deve ser retirada uma amostragem com a quantidade de unidades de produto especificada (em múltiplos da unidade de produto), de forma representativa, sendo a escolha por parte do inspetor aleatória e não intencional.

De cada lote aprovado quanto aos ensaios não destrutivos dos tubos, deve ser extraída da amostra inicial uma nova amostragem, de acordo com a Tabela 15 (conforme ABNT NBR 5426, para amostragem dupla normal, NQA de 6,5 e nível de inspeção S3), para a realização dos ensaios destrutivos dos tubos de PRFV.

Para efeito das inspeções de lotes dos tubos de PRFV, um tamanho de amostra maior do que o especificado pelas Tabelas 14 e 15 pode ser utilizado, desde que seja objeto de acordo prévio entre comprador e fabricante ou fornecedor.

Tabela 14 — Plano de amostragem para ensaios não destrutivos dos tubos de PRFV¹⁾

Tamanho do lote	Amostragem	Tamanho da amostra acumulado	Aceitação	Rejeição
2 a 15	Única	2	0	1
16 a 50	1º	5	0	2
	2º	10	1	2
51 a 90	1º	8	0	3
	2º	16	3	4
91 a 150	1º	13	1	4
	2º	26	4	5
151 a 280	1º	20	2	5
	2º	40	6	7
281 a 500	1º	32	3	7
	2º	64	8	9
501 a 1 200	1º	50	5	9
	2º	100	12	13
1 201 a 3 200	1º	80	7	11
	2º	160	18	19

¹⁾ valores expressos em unidades de produto.

Tabela 15 — Plano de amostragem para ensaios destrutivos dos tubos de PRFV¹⁾

Tamanho do lote	Amostragem	Tamanho da amostra acumulado	Aceitação	Rejeição
2 a 50	Única	2	0	1
51 a 500	1º	5	0	2
	2º	10	1	2
501 a 3 200	1º	8	0	3
	2º	16	3	4

¹⁾ valores expressos em unidades de produto.

6.3 Aceitação e rejeição dos lotes

Quando efetuada inspeção de recebimento, a aceitação ou rejeição dos lotes deve ser realizada conforme indicado em 6.3.1 e 6.3.2.

6.3.1 Se o número de unidades de produto defeituosas, encontrado na amostragem em relação aos ensaios não destrutivos e aos ensaios destrutivos especificados respectivamente em 5.2 e 5.3, for igual ou menor do que o número de aceitação, o lote deve ser considerado aceito na inspeção por recebimento.

6.3.2 Se o número de unidades de produto defeituosas, encontrado na amostragem em relação aos ensaios não destrutivos e aos ensaios destrutivos especificados respectivamente em 5.2 e 5.3, for igual ou maior do que o número de rejeição, o lote deve ser rejeitado na inspeção por recebimento, devendo esta ser encerrada.

7 Marcação e caracterização dos tubos

7.1 Marcação

O fabricante deve adotar uma identificação a ser aplicada no tubo, que seja legível e indelével, para atender às práticas de manuseio e instalação. Esta parte da ABNT NBR 15536 especifica as informações mínimas de identificação que devem constar no tubo:

- a) diâmetro nominal (DN) e se interno (-I) ou externo (-E) (exemplo: DN 400-E ou DN 400-I);
- b) classe de pressão, em megapascals;
- c) classe de rigidez, em newtons por metro quadrado;
- d) código de rastreabilidade do produto;
- e) nome ou marca de identificação do fabricante;
- f) tipo da resina do liner e do reforço;
- g) água;
- h) número desta parte da ABNT NBR 15536.

7.2 Instruções de caracterização

O fabricante deve fornecer um memorial descritivo do tubo onde devem constar no mínimo os seguintes parâmetros (quando aplicável):

- a) espessura do tubo;
- b) espessura de parede do reforço interno e externo;
- c) espessura da barreira química e liner;
- d) número de camadas, gramatura das camadas;
- e) teor de fibra de vidro;
- f) teor, tipo de resina e espectro de infravermelho;
- g) orientação das fibras de vidro (ângulo de enrolamento);
- h) rigidez.

Também deve constar neste memorial descritivo a resistência à pressão hidrostática interna de longa duração (HDB) e deformação por compressão circunferencial de longa duração (Sb). O Anexo M especifica a metodologia quanto à comprovação da composição do produto, caso necessário.

Anexo A (normativo)

Verificação dimensional

A.1 Princípio

O propósito deste Anexo é especificar um método para verificar se as dimensões dos tubos de PRFV atendem às especificações do produto. Este método abrange a determinação do diâmetro externo, diâmetro interno, espessura de parede total (et), espessura de parede do reforço, espessura de parede do liner (quando aplicável), ovalização e comprimento dos tubos de PRFV.

A.2 Verificação da espessura total de parede (et)

A.2.1 Aparelhagem

Instrumento para medida de espessura (paquímetro ou micrômetro, com resolução de 0,025 mm ou menos), capaz de medir espessuras com exatidão de 5 %.

A.2.2 Preparação dos corpos-de-prova

O corpo-de-prova pode ser um segmento extraído da extremidade de um tubo de PRFV ou de um segmento de tubo extraído para ensaios destrutivos, ou um tubo de PRFV, considerado em perfeitas condições de funcionamento.

A.2.3 Procedimento

A.2.3.1 Numa dada seção transversal do tubo, realizar uma série de no mínimo oito medições igualmente espaçadas ao redor da circunferência do tubo ou do segmento.

A.2.3.2 As medidas podem ser realizadas em qualquer ponto da extremidade do tubo.

A.2.4 Expressão dos resultados

O resultado deve apresentar a média aritmética de no mínimo oito medições realizadas.

A.2.5 Relatório de ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) espessura mínima de parede;
- c) espessura máxima de parede;
- d) média das medições;
- e) data de realização do exame;
- f) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

A.3 Verificação da espessura de parede do reforço e do liner

A.3.1 Aparelhagem

Comparador óptico com escala de ampliação de 7 a 20 vezes e retículo graduado conforme abaixo:

- a) para tubos com espessura de liner inferior a 1,25 mm: resolução de 0,025 mm ou inferior a 10 % da espessura do liner (a menor entre elas);
- b) para tubos com espessura de liner superior ou igual a 1,25 mm: resolução de 0,13 mm ou inferior.

A.3.2 Preparação dos corpos-de-prova

O corpo-de-prova deve ser um segmento extraído da extremidade de tubo de PRFV considerado em perfeitas condições de funcionamento.

A.3.3 Procedimento

A.3.3.1 Cortar o tubo na seção transversal desejada.

A.3.3.2 Remover eventuais rebarbas com uma lixa fina.

A.3.3.3 Lavar com água a seção transversal, com o objetivo de retirar o pó de resina ou fibra de vidro, e secar. Pode-se utilizar vaselina, óleo diesel ou outro produto que facilite a execução da leitura.

A.3.3.4 Efetuar a leitura na interface aparente entre o liner e o reforço em oito pontos equidistantes (45 °), com o retículo do equipamento na maior divisão de escala. Fazer as medições conforme abaixo:

- a) efetuar a leitura da espessura do reforço entre a interface e a superfície externa do tubo;
- b) efetuar a leitura da espessura do liner entre a interface e a superfície interna do tubo.

A.3.4 Expressão dos resultados

O resultado deve apresentar a média aritmética das oito medições realizadas para a espessura do reforço e para a espessura do liner.

A.3.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) mínima e máxima espessuras do reforço;
- c) mínima e máxima espessuras do liner;
- d) média das medições para o reforço e para o liner;
- e) data de realização do exame;
- f) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

A.4 Verificação do diâmetro externo médio (D)

A.4.1 Aparelhagem

Fita circunferencial com resolução de $\pm 0,1$ mm para medição do perímetro.

A.4.2 Preparação dos corpos-de-prova

O corpo-de-prova deve ser um tubo de PRFV considerado em perfeitas condições de funcionamento.

A.4.3 Procedimento

A.4.3.1 Posicionar a fita ortogonalmente ao eixo do tubo e medir o perímetro próximo a cada extremidade, e em três pontos intermediários.

A.4.3.2 Calcular o diâmetro externo médio pela equação abaixo:

$$D = \frac{C_{OD}}{\pi}$$

Onde:

C_{OD} é a média das cinco medições de perímetro, em milímetros.

A.4.4 Expressão dos resultados

O resultado deve apresentar a média aritmética das cinco medições do perímetro.

A.4.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- diâmetro externo mínimo;
- diâmetro externo máximo;
- média aritmética dos diâmetros medidos;
- data de realização do exame;
- referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

A.5 Determinação da ovalização

A.5.1 Aparelhagem

A.5.1.1 Instrumento capaz de medir o diâmetro externo ou o desvio do diâmetro, com exatidão de $\pm 0,25$ % do diâmetro nominal do tubo.

A.5.2 Preparação dos corpos-de-prova

O corpo-de-prova deve ser um tubo de PRFV considerado em perfeitas condições de funcionamento.

A.5.3 Procedimento

A.5.3.1 Realizar três medições do diâmetro externo (uma próxima a cada extremidade e uma no centro do tubo), registrando o maior e o menor valores.

A.5.3.2 Cada medição deve ser realizada em pelo menos quatro pontos equidistantes.

A.5.3.3 Determinar o máximo e o mínimo diâmetro externo ou desvio do diâmetro.

NOTA Para determinar a ovalização em pontos diferentes das extremidades, podem ser utilizados segmentos dos tubos cortados para os ensaios destrutivos.

A.5.4 Expressão dos resultados

O resultado deve apresentar a diferença entre o máximo diâmetro externo e a média dos diâmetros externos, ou a diferença entre a média dos diâmetros externos e o mínimo diâmetro externo (o que for maior).

A.5.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) ovalização encontrada, em milímetros;
- c) data de realização do exame;
- d) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

A.6 Cálculo do diâmetro interno

Calcular a média do diâmetro interno pela equação a seguir:

$$d = D - (2 \times e_t)$$

Onde:

d é a média do diâmetro interno, expressa em milímetros (mm);

D é a média do diâmetro externo, expressa em milímetros (mm) (conforme A.4.4);

e_t é a média da espessura total de parede, expressa em milímetros (mm) (conforme A.2.4).

A.7 Determinação do comprimento útil do tubo

A.7.1 Aparelhagem

Fita de aço ou outro instrumento com resolução de 1 mm.

A.7.2 Preparação dos corpos-de-prova

O corpo-de-prova deve ser uma barra inteira de tubo de PRFV considerada em perfeitas condições de funcionamento.

7.3 Procedimento

A.7.3.1 Colocar o corpo-de-prova em uma superfície plana.

A.7.3.2 Realizar a leitura do comprimento útil (excluindo a bolsa), arredondando para o 1 mm mais próximo.

A.7.3 Expressão dos resultados

O resultado deve ser o comprimento útil de cada barra medida.

A.7.4 Relatório do ensaio

O relatório deve apresentar:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) o comprimento útil de cada barra medida;
- c) data de realização do exame;
- d) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo B (normativo)

Ensaio de verificação da estanqueidade dos tubos

B.1 Princípio

O objetivo deste Anexo é especificar um método para verificar a estanqueidade dos tubos de PRFV quando submetidos a uma pressão hidrostática interna. O corpo-de-prova é monitorado durante um período determinado quanto à evidência de rupturas, furos, vazamentos ou exsudações.

B.2 Aparelhagem

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é descrita em B.2.1 a B.2.4.

B.2.1 Equipamento de pressurização capaz de elevar a pressão hidrostática, sem golpes, e manter durante um período de no mínimo 30 s uma pressão interna de duas vezes a classe de pressão do tubo.

B.2.2 Manômetro com exatidão de $\pm 4\%$.

B.2.3 Dispositivos de fechamento das extremidades que garantam a estanqueidade dos corpos-de-prova, sem exercer esforço de tração ou compressão no sentido longitudinal do corpo-de-prova.

B.2.4 O dispositivo de ensaio deve ser dotado de válvulas, de forma a permitir o enchimento com água da peça a ser ensaiada e a saída de todo o ar de seu interior, antes do ensaio.

B.3 Preparação dos corpos-de-prova

B.3.1 Os corpos-de-prova devem ser tubos inteiros de PRFV ou segmentos, inspecionados visual e dimensionalmente, e considerados em perfeitas condições de funcionamento.

B.3.2 Se utilizados segmentos de tubos, estes devem ter comprimento livre mínimo (entre dispositivos de fechamento das extremidades), conforme indicado na Tabela B.1.

Tabela B.1 — Comprimento mínimo dos corpos-de-prova

Diâmetro nominal	Comprimento mínimo
	mm
$50 \leq DN \leq 150$	5 x DN e não menor que 300
$200 \leq DN \leq 500$	3 x DN e não menor que 760
$DN \geq 600$	DN + 1000

B.3.3 Devem ser ensaiados três corpos-de-prova.

B.4 Procedimento

O corpo-de-prova deve ser montado no dispositivo de ensaio, observando o descrito em B.4.1 a B.4.4.

B.4.1 O eixo do tubo deve passar aproximadamente no centro dos dispositivos de fechamento das extremidades dos corpos-de-prova.

B.4.2 Acoplados os dispositivos de fechamento das extremidades aos corpos-de-prova, procede-se ao enchimento com água e à completa eliminação do ar contido no interior do corpo-de-prova.

B.4.3 Deve-se aplicar a pressão hidrostática no corpo-de-prova de modo constante e progressivo, até o valor de duas vezes a classe de pressão do tubo, mantendo esta pressão durante um período de no mínimo 30 s.

B.4.4 Observar se houve ocorrência de rupturas, furos, vazamentos ou exsudações.

B.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) pressão de ensaio;
- c) duração do ensaio ou tempo de falha, em segundos;
- d) data de realização do ensaio;
- e) dimensões do corpo-de-prova;
- f) número de corpos-de-prova ensaiados;
- g) ocorrência ou não de rupturas, furo, vazamentos ou exsudações sobre a superfície externa do corpo-de-prova;
- h) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo C (normativo)

Ensaio para determinação da rigidez

C.1 Princípio

O propósito deste Anexo é especificar um método definição da classe de rigidez dos tubos de PRFV a partir do cálculo da rigidez na deformação diametral de 5 %, bem como avaliar o comportamento do tubo em outros níveis de deformação.

C.2 Aparelhagem

A aparelhagem necessária para execução do ensaio é descrita em C.2.1 a C.2.6.

C.2.1 Prensa de pratos rígidos paralelos que permita aplicar cargas com velocidade constante de aproximação de $(12,0 \pm 0,5)$ mm/min.

C.2.2 Pratos planos construídos em aço, com espessura suficiente para que não sofram deformações durante o ensaio. O comprimento dos pratos deve contemplar ou exceder o comprimento do corpo-de-prova, e sua largura não deve ser inferior à largura de contato do corpo-de-prova no nível máximo de deflexão.

C.2.3 Dispositivo para leitura de deflexão vertical (Δy), com exatidão de $\pm 0,25$ mm.

C.2.4 Instrumento para medição do comprimento do corpo-de-prova com resolução de 1 mm.

C.2.5 Instrumento para medição do diâmetro externo e espessura com resolução de 0,1 mm.

C.2.6 Célula de carga com resolução mínima de 1 N e com força suficiente para comprimir o corpo-de-prova até a deformação final do ensaio.

C.3 Preparação dos corpos-de-prova

C.3.1 O corpo-de-prova a ser ensaiado deve ser um segmento de tubo de PRFV, isento de bolsa ou ponta, retirado de uma amostra, examinado visual e dimensionalmente, e considerado em perfeitas condições. Os segmentos de tubo devem ter comprimento de três vezes o diâmetro nominal ou 300 mm, o que for menor. Para tubos com diâmetros nominais superiores a 1 500 mm, o comprimento mínimo do corpo-de-prova deve ser igual a 20 % do diâmetro nominal. A tolerância para o comprimento do corpo-de-prova deve ser de ± 5 mm.

C.3.2 Os corpos-de-prova devem ter suas extremidades cortadas em esquadro e estar isentos de rebarbas ou imperfeições que possam alterar o resultado do ensaio.

C.3.3 Devem ser ensaiados no mínimo três corpos-de-prova.

C.3.4 Os corpos-de-prova de superfície externa irregular (controle pelo diâmetro interno) devem ter a superfície de contato com os pratos lixada a mão, sem que haja dano da camada estrutural.

C.4 Procedimento

C.4.1 Os corpos-de-prova devem ser condicionados no ambiente do laboratório em temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ durante no mínimo 1 h.

C.4.2 Determinar o comprimento do corpo-de-prova (L) aproximado para o 1 mm mais próximo, calculando a média de pelo menos quatro medições igualmente espaçadas ao longo do perímetro.

C.4.3 Medir a espessura total de parede (e_t) de cada corpo-de-prova de acordo com o Anexo A, aproximada para o 0,1 mm mais próximo. Realizar no mínimo oito medições ao longo do perímetro e calcular a média da espessura de parede total.

C.4.4 Determinar o diâmetro externo do corpo-de-prova utilizando uma fita perimetral, ou pela média entre o mínimo e o máximo diâmetro externo.

C.4.5 Calcular o diâmetro médio do corpo-de-prova a partir do diâmetro externo, conforme C.4.4, subtraído de uma vez a média da espessura total de parede. Utilizar o diâmetro médio como base para determinar o percentual de deformação diametral para todos os corpos-de-prova.

C.4.6 Posicionar o tubo com o eixo longitudinal paralelamente aos pratos do equipamento de ensaio.

C.4.7 Com o indicador de deflexões posicionado, colocar o prato superior em contato com o corpo-de-prova, utilizando uma carga necessária apenas para posicionar o corpo-de-prova, estabelecendo o ponto de início para medição da deflexão.

C.4.8 Comprimir o corpo-de-prova a uma velocidade de aproximação constante de $(12,0 \pm 0,5)$ mm/min até a deformação diametral de 5 % e os níveis A e B da Tabela 7. Quando o valor da rigidez obtida para o corpo-de-prova for superior ao valor das classes especificadas na Tabela 6, os níveis de deformação diametral A e B devem ser calculados conforme as equações apresentadas em 4.1.12.2. Neste caso, o corpo-de-prova deve ser mantido na deformação de 5 % durante um período máximo de 5 min para que os valores sejam calculados e o ensaio continuado.

C.4.9 Registrar a carga e a deformação diametral em intervalos inferiores a 5 % do diâmetro médio do corpo-de-prova.

C.4.10 Observar e registrar a carga e a deformação na primeira ocorrência de:

- a) ruptura ou trinca do liner;
- b) delaminação de parede;
- c) ruptura do corpo-de-prova.

C.4.11 Registrar o tipo e a posição de cada uma das ocorrências de C.4.10 com a correspondente carga e deflexão.

C.4.12 Interromper o ensaio em qualquer uma das seguintes ocorrências:

- a) a carga no corpo-de-prova não aumenta com o aumento da deflexão;
- b) o corpo-de-prova atingiu a deflexão de 30 % da média do diâmetro médio ou na máxima deflexão requerida.

C.5 Expressão dos resultados

A rigidez do tubo (R) deve ser determinada na deformação de 5 % do diâmetro médio do corpo-de-prova, pela equação abaixo:

$$R = 0,0200 \frac{(F/L)}{\Delta y}$$

Onde:

R é a rigidez, expressa em Newtons por metro quadrado (N/m^2);

F é a carga aplicada, expressa em Newtons (N);

L é o comprimento do corpo-de-prova, expresso em metros;

Δy é a deformação diametral, em metros.

C.6 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) diâmetro médio de cada corpo-de-prova;
- c) data de realização do ensaio;
- d) comprimento do corpo-de-prova;
- e) número de corpos-de-prova ensaiados;
- f) para cada corpo-de-prova:
 - existência ou não de trincas no liner, trincas na parede do tubo, delaminações ou ruptura para cada corpo-de-prova nos níveis de deflexão A e B, especificados na Tabela 7;
 - o valor da rigidez, calculado conforme C.5.1, na deformação diametral de 5 % em relação ao diâmetro médio do corpo-de-prova. Na ocorrência de qualquer delaminação ou ruptura abaixo de 5 % de deformação diametral, calcular a rigidez no percentual de deformação onde ocorreu a delaminação ou ruptura;
- g) a classe de rigidez da amostra determinada conforme 4.1.12;
- h) carga F aplicada, em Newtons, na deformação de 5 %;
- i) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo D (normativo)

Ensaio de resistência à tração circunferencial

D.1 Princípio

O propósito deste Anexo é especificar um método para determinar a mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento devido à tração circunferencial em tubos de PRFV. Este ensaio pode ser realizado por dois métodos. O método A prescreve a determinação da mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento por tracionamento de segmentos anelares de tubos de PRFV, e o método B prescreve a determinação da mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento devido à tração circunferencial por ensaio hidrostático.

D.2 Método A - Ensaio por tracionamento de anel

D.2.1 Aparelhagem

D.2.1.1 Instrumento com resolução de 0,01 mm, capaz de realizar a medição da largura e da espessura do corpo-de-prova.

D.2.1.2 Equipamento de ensaio com indicador de força aplicada, capaz de manter uma velocidade de tração constante de $(12,0 \pm 0,5)$ mm/min.

D.2.1.3 Dispositivo de fixação do corpo-de-prova (ver Figura D.1) para a realização da tração no equipamento de ensaio.

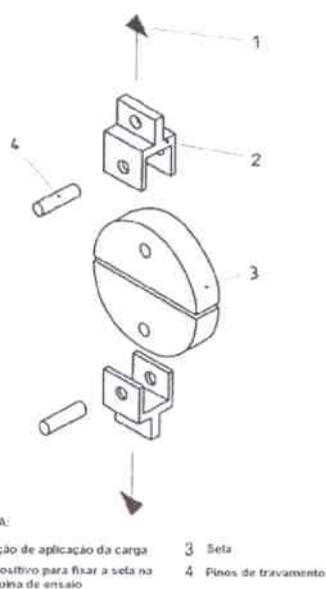


Figura D.1 — Dispositivo para realização do ensaio nos corpos-de-prova

D.2.1.3.1 O diâmetro externo do dispositivo descrito em D.2.1.3 deve ser no máximo 6,4 mm inferior ao diâmetro interno do corpo-de-prova a ser ensaiado. A largura deste dispositivo deve ser no mínimo 2,5 mm superior à largura do corpo-de-prova.

D.2.2 Preparação dos corpos-de-prova

D.2.2.1 Os corpos-de-prova são constituídos por segmentos de anéis confeccionados com uma redução de seção, com as dimensões indicadas na Figura D.2. No segmento inicial que será cortado para confecção destes corpos-de-prova, devem ser indicadas geratrizes de referência espaçadas em 60° ao longo da circunferência. Para cada corpo-de-prova cortado deste segmento inicial, o ponto da redução de seção deve ser fixado em uma das geratrizes indicadas. Os pontos de redução em cada corpo-de-prova devem ser locados em geratrizes distintas, de modo que sejam avaliados os três eixos apresentados na Figura D.2.

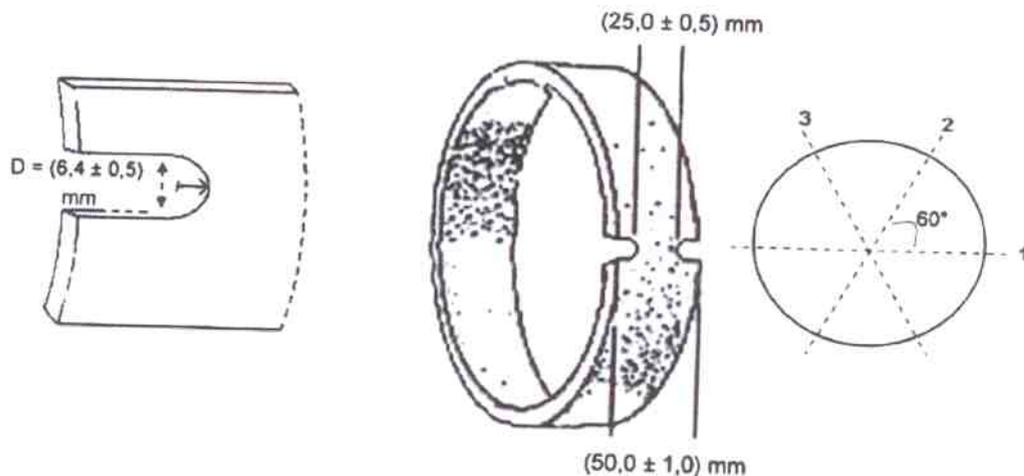


Figura D.2 — Dimensões do corpo-de-prova com redução de seção

D.2.2.2 O corpo-de-prova deve estar isento de rebarbas e ter seção uniforme.

D.2.2.3 Devem ser ensaiados cinco corpos-de-prova.

D.2.3 Procedimento

D.2.3.1 Condicionar os corpos-de-prova e dispositivos à temperatura ambiente de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, no mínimo 1 h antes do início da realização do ensaio.

D.2.3.2 Realizar a medição da largura e espessura do ponto da seção reduzida do corpo-de-prova.

D.2.3.3 Montar o anel no dispositivo de fixação do corpo-de-prova ao equipamento de ensaio (Figura D.1). A geratriz onde está localizada a redução de seção deve ser defasada de $(10 \pm 1) ^\circ$ da linha de separação do dispositivo de fixação do corpo-de-prova ao equipamento de ensaio.

D.2.3.4 Ajustar o controle do equipamento de ensaio para a velocidade de tração de $(12,0 \pm 0,5) \text{ mm/min}$.

D.2.3.5 Registrar o máximo carregamento suportado pelo corpo-de-prova durante o ensaio.

D.2.3.6 Cálculo da tensão circunferencial de ruptura:

$$F = Pb / b$$

Onde:

F é a mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento, expressa em quilonewtons (kn/m) por metro;

P_b é o carregamento máximo, expresso em quilonewtons (kn);

b é a largura da seção reduzida, em metros.

D.2.3.7 O cálculo da mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento, em quilonewtons por metro, deve ser realizado pela média aritmética dos resultados obtidos para cada corpo-de-prova.

D.2.4 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) data de realização do ensaio;
- c) dimensões de cada corpo-de-prova;
- d) velocidade de tração do ensaio;
- e) número de corpos-de-prova ensaiados;
- f) mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento;
- g) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

D.3 Método B - Ensaio hidrostático

D.3.1 Aparelhagem

D.3.1.1 Equipamento de pressurização capaz de elevar sem golpes a pressão hidrostática interna dos corpos-de-prova até a ruptura, no intervalo de tempo compreendido entre 60 s e 180 s para tubos com diâmetro nominal até DN 500. Para tubos com diâmetro nominal superior a DN 500, este intervalo de tempo pode ser superior a 180 s.

D.3.1.2 Manômetro com exatidão de $\pm 2\%$ da pressão aplicada.

D.3.1.3 Dispositivos de fechamento das extremidades do corpo-de-prova, que atuem de modo a induzir uma tensão principalmente na direção circunferencial. Os dispositivos, com ou sem tirantes, não devem transmitir esforços de tração ou compressão longitudinal.

D.3.1.4 Cronômetro.

D.3.2 Preparação dos corpos-de-prova

D.3.2.1 O corpo-de-prova a ser ensaiado deve ser um segmento de tubo de PRFV examinado visual e dimensionalmente, e considerado em perfeitas condições de funcionamento.

D.3.2.2 O comprimento livre (L) de ensaio (entre dispositivos de fechamento das extremidades) deve ser o especificado na Tabela D.1, em função do diâmetro nominal.

Tabela D.1 - Comprimento dos corpos-de-prova

Diâmetro nominal DN	Comprimento mínimo mm
$50 \leq DN \leq 150$	5 x DN e não menor que 300
$200 \leq DN \leq 500$	3 x DN e não menor que 760
$DN \geq 600$	DN + 1 000

D.3.2.3 Devem ser ensaiados três corpos-de-prova, extraídos de três tubos distintos.

D.3.3 Procedimento

D.3.3.1 Condicionar os corpos-de-prova durante no mínimo 1 h em temperatura ambiente de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ou de laboratório.

D.3.3.2 Os dispositivos de fechamento das extremidades devem ser acoplados ao corpo-de-prova.

D.3.3.3 Encher o corpo-de-prova com água, eliminando todo o ar do seu interior.

D.3.3.4 Acoplar o corpo-de-prova ao dispositivo de pressurização.

D.3.3.5 Aumentar continuamente a pressão interna até a ocorrência da ruptura do corpo-de-prova, medindo com o cronômetro o tempo de ocorrência de ruptura. Se o tempo de ocorrência de ruptura for inferior a 60 s, reduzir a taxa de incremento de pressão e repetir o ensaio. O tempo de ocorrência da ruptura deve estar entre 60 s e 180 s para tubos com diâmetro nominal até DN 500. Para tubos com diâmetro nominal superior a DN 500, o tempo de ocorrência de ruptura pode ser superior a 180 s.

D.3.3.6 Registrar a pressão interna e o tempo de ocorrência da ruptura.

D.3.3.7 Cálculo da mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento:

$$F = (P \times D) / 2$$

Onde:

F é a mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento, expressa em quilonewtons por metro (kn/m);

P é a pressão interna, expressa em megapascals (mPa);

D é a média do diâmetro externo, expressa em milímetros (mm).

D.3.3.8 O cálculo da mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento é determinado pela média aritmética dos resultados obtidos para cada corpo-de-prova.

D.3.4 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- pressão interna e tempo de ruptura para cada corpo-de-prova;
- data de realização do ensaio;
- dimensões de cada corpo-de-prova;
- número de corpos-de-prova ensaiados;
- mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento;
- referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo E (normativo)

Ensaio de resistência à compressão axial

E.1 Princípio

O propósito deste Anexo é especificar um método para verificar as propriedades mecânicas dos tubos de PRFV quanto à compressão na direção longitudinal. Este ensaio pode ser realizado por dois métodos. O método A prescreve a determinação da tensão de compressão e da carga de ruptura na compressão, podendo ser utilizado para tubos com quaisquer diâmetros nominais. No método B é verificada visualmente a existência de ruptura dos tubos, quando submetidos a um carregamento de flexão. O método B pode ser utilizado para tubos com diâmetros nominais menores ou iguais a 700 mm.

E.2 Método A

E.2.1 Aparelhagem

E.2.1.1 Equipamento de ensaio capaz de controlar a velocidade de aproximação entre as superfícies de apoio do corpo-de-prova, sendo constituído basicamente por:

- a) mecanismo capaz de movimentar a superfície móvel com uma velocidade constante de aproximação (compressão) controlada em relação à superfície fixa do mecanismo;
- b) indicador de carga capaz de mostrar a carga de compressão à qual o corpo-de-prova é submetido com exatidão de $\pm 1\%$ em relação ao máximo valor atingido no ensaio.

3.2.1.2 Instrumento capaz de determinar a distância entre dois pontos fixos no corpo-de-prova a qualquer instante do intervalo de realização do ensaio, sendo desejável que este instrumento registre automaticamente esta distância em função da carga aplicada no corpo-de-prova.

E.2.1.3 Dispositivo de compressão capaz de aplicar a carga ao corpo-de-prova. Este dispositivo deve ser construído de modo que o carregamento seja axial e o eixo de aplicação da carga tenha desvio máximo de 1:1 000 do eixo axial do corpo-de-prova. As superfícies de apoio do corpo-de-prova devem ser paralelas entre si e lisas com rugosidade máxima de 0,025 mm. As Figuras E.1 e E.2 exemplificam o dispositivo de compressão.

E.2.1.4 Gabarito de suporte do corpo-de-prova, como apresentado nas Figuras E.3 e E.4, para corpos-de-prova com espessura inferior a 3,2 mm ou $DN \leq 200$.

E.2.1.5 Instrumento apropriado para medição da largura, comprimento e espessura do corpo-de-prova, com resolução de 0,01 mm.

E.2.1.6 Ambiente com temperatura de $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$.

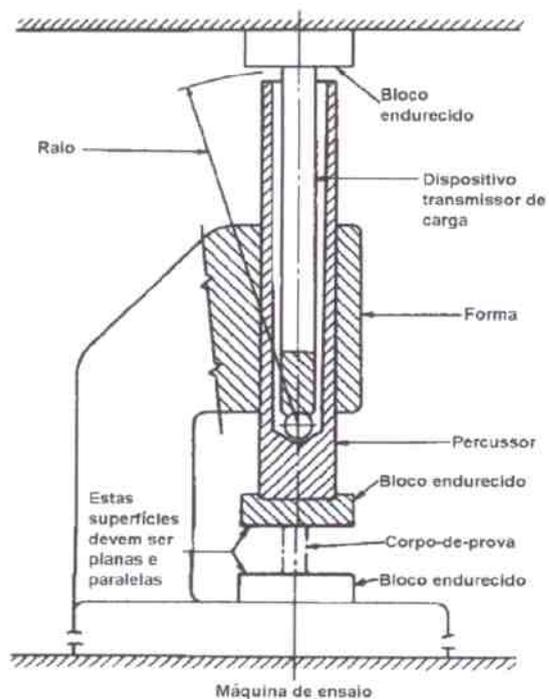


Figura E.1 — Exemplo de dispositivo de compressão

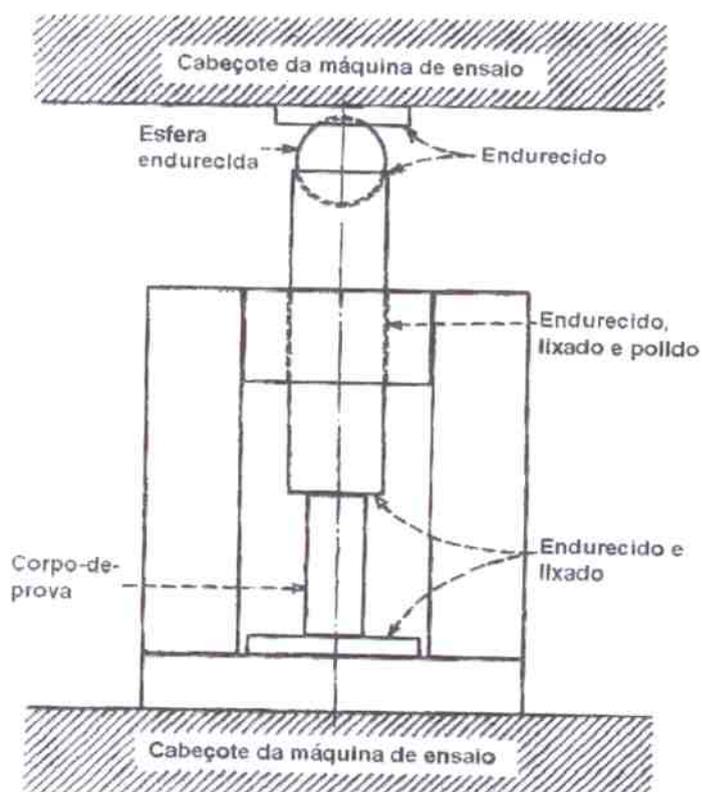


Figura E.2 — Exemplo de dispositivo de compressão

Exemplar autorizado para uso exclusivo - EDRA DO BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA - 45.773.967/0001-44

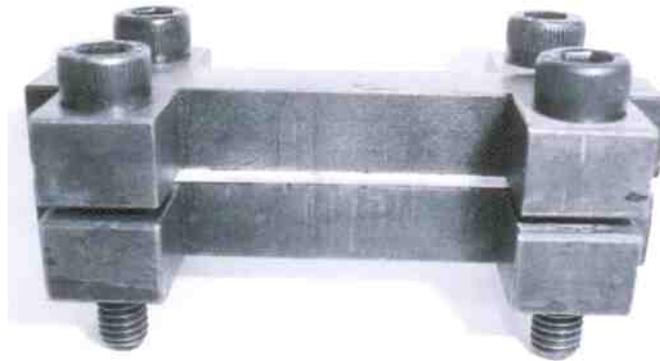
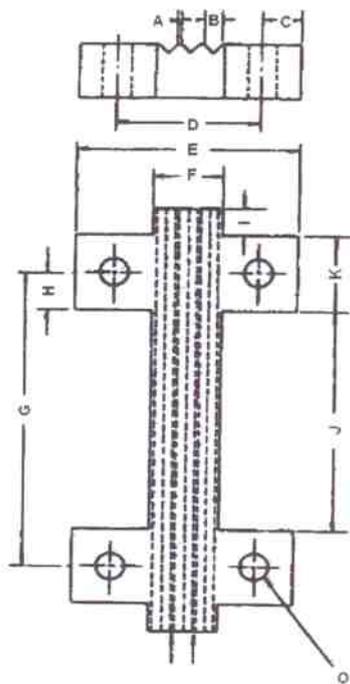


Figura E.3 — Gabarito de suporte



Letra	Dimensão mm
A	0,40
B	3,18
C	6,35
D	23,8
E	36,5
F	11,1
G	50,8
H	6,35
I	4,76
J	38,1
K	12,7
L	730
M	9,53
N	3,58
O	4,76 diâm.

NOTA 1 Aço calandrado a frio.

NOTA 2 Quatro parafusos de aço completos com porcas, cabeças arredondadas, fendidos e com comprimento de 31,75 mm.

NOTA 3 Lixar as superfícies marcadas com "Gr"

Figura E.4 — Detalhamento do gabarito de suporte

E.2.2 Preparação dos corpos-de-prova

E.2.2.1 Para tubos com espessura de parede superior ou igual a 3,2 mm e diâmetro nominal superior a DN 200, o corpo-de-prova consiste em um prisma com seção transversal de $(12,8 \pm 0,1)$ mm de largura, com espessura da seção transversal (e) e comprimento do corpo-de-prova (C) tal que a relação C/e esteja dentro da escala de 11:1 a 16:1.

E.2.2.2 Para tubos com espessura inferior a 3,2 mm e diâmetro nominal inferior ou igual a DN 200, ou quando a relação C/e não permite comprimentos de corpo-de-prova que permita a utilização do dispositivo de E.2.2.1, deve ser utilizado o corpo-de-prova com as dimensões indicadas na Figura E.5. Para estes corpos-de-prova, o gabarito apresentado nas Figuras E.3 e E.4 deve ser utilizado para suporte do corpo-de-prova durante o ensaio.

E.2.2.3 Devem ser ensaiados cinco corpos-de-prova extraídos da direção longitudinal do tubo.

Dimensões em milímetros

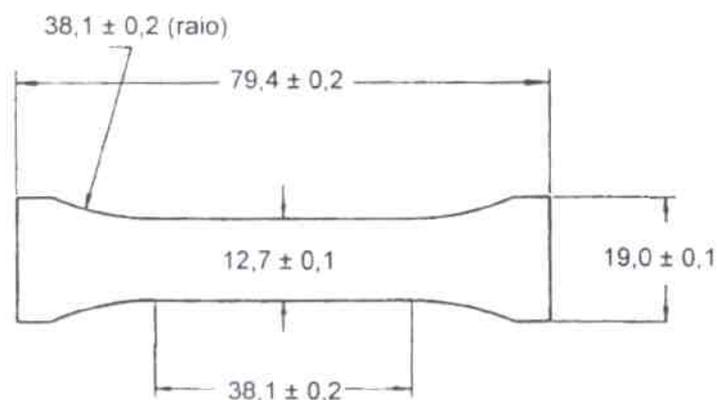


Figura E.5 — Dimensões do corpo-de-prova para espessura de parede inferior a 3,2 mm ou DN \leq 200

E.2.3 Procedimento

E.2.3.1 Os corpos-de-prova devem ser condicionados no mínimo 16 h em ambiente com em temperatura de (23 ± 5) °C.

E.2.3.2 O ensaio deve ser realizado em ambiente com em temperatura de (23 ± 5) °C.

E.2.3.3 A velocidade de aproximação entre as superfícies de contato do dispositivo de compressão deve ser constante e de $(1,3 \pm 0,3)$ mm/min.

E.2.3.4 Determinar a largura do corpo-de-prova aproximando para o 0,01 mm mais próximo em diversos pontos ao longo do comprimento. Registrar o valor mínimo para a largura (L_{MIN}).

E.2.3.5 Medir a espessura e o comprimento do corpo-de-prova e registrar os valores obtidos.

E.2.3.6 Para corpos-de-prova com espessura de parede superior ou igual a 3,2 mm, posicionar o corpo-de-prova entre as superfícies do equipamento de compressão, alinhando o maior eixo do corpo-de-prova com o eixo de aplicação da carga, de modo que as extremidades do corpo-de-prova fiquem paralelas às superfícies de contato do equipamento.

E.2.3.7 Para corpos-de-prova com espessura de parede inferior a 3,2 mm, alojar o corpo-de-prova no gabarito de suporte, de modo que sejam nivelados com a base e centrados. Prender firmemente o corpo-de-prova, colocando o conjunto no dispositivo de compressão.

E.2.3.8 Comprimir o corpo-de-prova a uma velocidade de aproximação constante de $(1,3 \pm 0,3)$ mm/min.

E.2.3.9 Registrar a máxima carga de compressão no momento de ruptura do corpo-de-prova (C_R), com unidade expressa em Newtons.

E.2.4 Expressão dos resultados

E.2.4.1 Força de compressão (F_C) expressando o resultado com três algarismos significativos:

$$F_C = \frac{C_R}{L_{MIN}}$$

Onde:

F_C é a força de compressão, expressa em quilonewtons por metro de circunferência (kN/m);

C_R é a máxima carga de compressão no momento da ruptura, expressa em Newtons (N);

L_{MIN} é a largura mínima da seção transversal do corpo-de-prova (L), expressa em milímetros (mm).

E.2.4.2 Para cada série de ensaios, calcular a média aritmética dos valores obtidos com três algarismos significativos.

E.2.4.3 Calcular o desvio-padrão com a equação abaixo e registrar o valor com dois algarismos significativos:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - nX'^2)/(n-1)}$$

Onde:

s é o desvio-padrão estimado;

X é o valor da força de compressão, expressa em quilonewtons por metro (kN/m);

n é o número de observações;

X' é a média aritmética da tensão de compressão da amostra, expressa em quilonewtons (kN/m) por metro.

E.2.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- data de realização do ensaio;
- dimensões do corpo-de-prova;
- número de corpos-de-prova ensaiados;
- velocidade do ensaio;
- força de compressão média, em quilonewtons por metro, e o desvio-padrão.
- referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

E.3 Método B

E.3.1 Aparelhagem

E.3.1.1 Apoios para o posicionamento das extremidades do corpo-de-prova.

E.3.1.2 Gabaritos ou tampões para as extremidades dos tubos (para evitar deformação durante o ensaio).

E.3.1.3 Selas para aplicação das cargas ao corpo-de-prova, de modo que não ocorram concentrações de tensões nas regiões de aplicação da carga.

E.3.2 Preparação dos corpos-de-prova

E.3.2.1 O corpo-de-prova é um tubo de 6 m de comprimento nominal ou um segmento de 6 m de comprimento com apoios em suas extremidades, conforme apresentado na Figura E.6.

E.3.2.2 Ensaiar um corpo-de-prova.

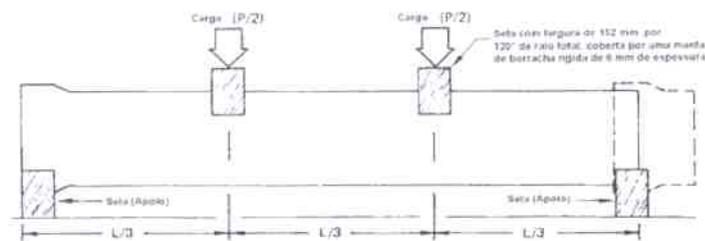


Figura E.6 — Esquema da aparelhagem

E.3.3 Procedimento

E.3.3.1 Posicionar o corpo-de-prova nos apoios.

E.3.3.2 Posicionar as selas para aplicação das cargas e os gabaritos ou tampões de extremidades, de modo que as extremidades não se deformem.

E.3.3.3 Aplicar simultaneamente a carga de $P/2$ nas posições indicadas na Figura E.6, a $1/3 L$ de cada extremidade. A carga P é indicada na Tabela 5, em função do diâmetro nominal do corpo-de-prova.

E.3.3.4 Manter estas cargas simultaneamente aplicadas durante 10 min e observar o corpo-de-prova quanto à ocorrência de falha.

E.3.4 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- data de realização do ensaio;
- período de ensaio;
- carga aplicada, em Newtons;
- ocorrência ou não de falha;
- referência a esta parteda ABNT NBR 15536.

Anexo F (normativo)

Ensaio de verificação da estanqueidade da junta

F.1 Propósito do ensaio

O propósito deste Anexo é especificar um método para verificar a estanqueidade das juntas dos tubos de PRFV, quando montadas de acordo com a instrução dos fabricantes. O corpo-de-prova é monitorado durante um período determinado quanto à ocorrência de rupturas, furos, vazamentos ou exsudações. A verificação do desempenho da junta é realizada através de três situações de ensaio:

- a) pressão hidrostática interna com deflexão angular da junta (F.4.1);
- b) pressão hidrostática interna com aplicação de carga distribuída (F.4.2);
- c) vácuo parcial interno ou pressão hidrostática externa com aplicação simultânea de deflexão da junta e carga distribuída no corpo-de-prova (F.4.3).

F.2 Aparelhagem

F.2.1 Equipamento de pressurização externa ou fonte de vácuo e respectivos reguladores, capaz de atingir sem golpes a pressão ou vácuo requerido.

F.2.2 Vacuômetro ou manômetro com resolução de 0,1 kPa.

F.2.3 Equipamento de pressurização interna capaz de elevar a pressão hidrostática, sem golpes, e manter na duração do ensaio à pressão interna especificada.

F.2.4 Manômetro com resolução de 50 kPa.

F.2.5 Válvulas que permitam o enchimento de água da amostra a ser ensaiada e a saída de todo o ar de seu interior, antes do ensaio.

F.2.6 Dispositivos de fechamento das extremidades dos corpos-de-prova capazes de permitir ou impedir a movimentação longitudinal durante o ensaio e que suportem as pressões atingidas. Os dispositivos não devem induzir os corpos-de-prova à ruptura.

F.2.7 Dispositivo para aplicação de carga distribuída na ponta dos tubos de PRFV, constituída por uma sela conforme detalhamento apresentado na Figura F.1, dotado de mecanismo de aproximação capaz de provocar a carga distribuída requerida no ensaio em função do diâmetro nominal da amostra ensaiada.

F.2.8 Tirantes ou elementos de fixação que possibilitem a restrição quanto ao deslocamento longitudinal no caso das juntas elásticas e que resistam aos esforços resultantes do ensaio.

F.2.9 Dispositivo capaz de sujeitar o corpo-de-prova a uma deflexão angular da junta, conforme 4.2.6.

F.3 Preparação dos corpos-de-prova

F.3.1 Os corpos-de-prova devem ser dois segmentos de tubos de PRFV retirados de um mesmo tubo, inspecionados, visual e dimensionalmente, e considerados em perfeitas condições de funcionamento, sendo um segmento retirado da extremidade isenta de bolsa e outro segmento retirado da extremidade dotada de bolsa ou dois segmentos unidos por luva ou dois segmentos unidos por uma junta rígida.

F.3.2 Com cada par de segmentos deve ser executada a junta conforme recomendações de seu fabricante.

F.3.3 Devem ser ensaiados três corpos-de-prova.

F.4 Procedimento

O corpo-de-prova deve ser montado no dispositivo de ensaio, de modo que se permita o controle do ângulo de deflexão, e deve ser submetido subseqüentemente aos requisitos de estanqueidade de junta especificados em F.4.1 a F.4.3.

F.4.1 Aplicação de uma pressão hidrostática interna com deflexão angular da junta

F.4.1.1 O eixo do tubo deve passar aproximadamente no centro dos dispositivos de fechamento das extremidades dos corpos-de-prova.

F.4.1.2 No caso das juntas elásticas, devem ser utilizados dispositivos de fechamento das extremidades que estejam restringidos quanto ao deslocamento longitudinal.

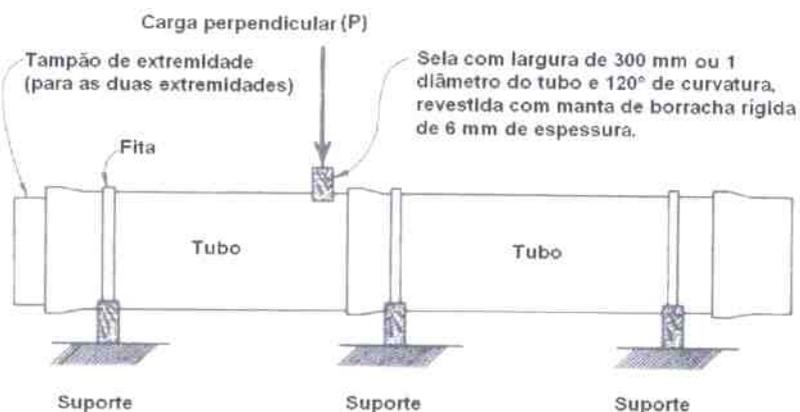
F.4.1.3 Apoiar os corpos-de-prova sobre calços adequados, ajustando a deflexão da junta para o valor especificado em 4.2.6, conforme a Figura F.2. A deflexão da junta é definida pelo ângulo entre os dois eixos longitudinais dos segmentos acoplados conforme o tipo de junta.

F.4.1.4 Encher o corpo-de-prova com água, eliminando todo o ar do seu interior.

F.4.1.5 Acoplar o corpo-de-prova ao equipamento de pressurização interna.

F.4.1.6 Aplicar a pressão hidrostática interna no corpo-de-prova, de modo constante e progressivo, até o valor especificado em 4.2.6, mantendo esta pressão durante o tempo de ensaio.

F.4.1.7 Durante 10 min, observar o corpo-de-prova quanto à evidência de rupturas, furos, vazamentos ou exsudações. Aliviar a pressão hidrostática interna.



NOTA A carga deve ser aplicada perpendicularmente ao eixo do tubo. Pode ser aplicada verticalmente, como apresentado na Figura, ou em qualquer outra posição da circunferência do tubo.

Figura F.1 — Esquema de ensaio com aplicação da carga distribuída

F.4.2 Aplicação de uma pressão hidrostática interna com carga distribuída no corpo-de-prova

F.4.2.1 No corpo-de-prova montado conforme F.4.1, ajustar o ângulo de deflexão da junta para 0°.

F.4.2.2 Se necessário, encher novamente o corpo-de-prova com água, eliminando todo o ar do seu interior.

F.4.2.3 Acoplar o corpo-de-prova ao equipamento de pressurização interna.

F.4.2.4 Acoplar o dispositivo de aplicação da carga distribuída, conforme F.2.7 e aplicar a carga especificada em 4.2.6. A carga deve ser aplicada uniformemente sobre um arco menor ou igual a 120° ao longo de uma distância longitudinal de 1 diâmetro nominal, ou 300 mm, o que for menor, na extremidade imediatamente adjacente à extremidade da bolsa, conforme o esquema apresentado na Figura F.1.

F.4.2.5 Aplicar a pressão hidrostática interna no corpo-de-prova de modo constante e progressivo, até o valor especificado em 4.2.6, mantendo esta pressão durante o tempo de ensaio.

F.4.2.6 Durante 10 min, observar o corpo-de-prova quanto à evidência de rupturas, furos, vazamentos ou exsudações. Aliviar a pressão hidrostática interna e esvaziar o corpo-de-prova.



Figura F.2 — Esquema de ensaio com deflexão da junta

F.4.3 Aplicação do vácuo parcial interno ou pressão hidrostática externa com deflexão da junta e carga distribuída no corpo-de-prova

- F.4.3.1** No corpo-de-prova montado conforme F.4.1, manter o dispositivo de aplicação da carga distribuída conforme F.4.2.4 e ajustar a deflexão da junta para o valor especificado conforme F.4.1.3.
- F.4.3.2** Aplicar a carga distribuída conforme F.4.2.4 mantendo a deflexão da junta conforme F.4.1.3.
- F.4.3.3** No caso da utilização da fonte de vácuo, seguir o descrito em F.4.3.3.1 a F.4.3.3.3.
- F.4.3.3.1** Acoplar o corpo-de-prova à fonte de vácuo e diminuir uniformemente a pressão no seu interior até atingir o valor especificado em 4.2.6.
- F.4.3.3.2** Isolar a fonte de vácuo do corpo-de-prova e verificar a variação de pressão no vacuômetro durante 10 min.
- F.4.3.3.3** Aliviar o vácuo.
- F.4.3.4** No caso da utilização do equipamento de pressurização externa, seguir o descrito em F.4.3.4.1 a F.4.3.4.3.
- F.4.3.4.1** Acoplar o corpo-de-prova ao equipamento de pressurização externa e aumentar uniformemente a pressão no seu exterior até atingir o valor especificado em 4.2.6.
- F.4.3.4.2** Verificar a variação de pressão no manômetro durante 10 min.
- F.4.3.4.3** Aliviar a pressão hidrostática externa.

F.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) pressão de ensaio;
- c) vácuo parcial interno ou pressão hidrostática externa aplicada, duração e variação de pressão durante o ensaio;
- d) pressão hidrostática interna aplicada, duração e resultado do ensaio nas situações com deflexão da junta e com carga distribuída;
- e) data de realização do ensaio;
- f) dimensões do corpo-de-prova;
- g) número de corpos-de-prova ensaiados;
- h) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo G (normativo)

Ensaio de resistência à tração axial

G.1 Princípio

O propósito deste Anexo é especificar um método para determinar a tensão de ruptura devido à tração axial em tubos de PRFV, bem como o alongamento na ruptura.

O método A utiliza corpos-de-prova em formato de gravatinha ou de tira e é aplicado para tubos com diâmetros nominais maiores ou iguais a DN 50 para processos de enrolamento circunferencial (ângulo de enrolamento de aproximadamente 90 °) e dispersão centrífuga, e para diâmetros nominais maiores ou iguais a DN 200 para processo de enrolamento helicoidal (ângulo de enrolamento diferente de 90 °).

O método B utiliza um segmento inteiro de tubo, sendo aplicado a quaisquer processos de fabricação com diâmetros nominais inferiores ou iguais a DN 150.

O método C utiliza uma placa entalhada que é extraída da parede do tubo e destina-se principalmente a tubos com enrolamento helicoidal das fibras de reforço, com um ângulo de enrolamento diferente de aproximadamente 90 °. Este método não se aplica para determinação do alongamento na ruptura.

G.2 Método A

G.2.1 Aparelhagem

G.2.1.1 Instrumento com resolução de 0,01 mm, capaz de realizar a medição das dimensões dos corpos-de-prova.

G.2.1.2 Equipamento de ensaio com indicador de força aplicada, capaz de manter uma velocidade de tração constante, com as seguintes características:

- a) membro fixo responsável pela fixação de uma garra;
- b) membro móvel responsável pela movimentação da segunda garra;
- c) garras para adaptação do corpo-de-prova entre os membros fixo e móvel. As garras devem se auto-alinhar quando presas aos membros fixo e móvel, movendo-se livremente na direção do carregamento. A direção do eixo de maior comprimento do corpo-de-prova deve estar perfeitamente alinhada com a direção do carregamento, não permitindo movimento de rotação do corpo-de-prova. Cada uma das garras deve prender a extremidade do corpo-de-prova sem deslizamento ou esmagamento, de modo a afetar os resultados obtidos no ensaio;
- d) mecanismo de tração capaz de movimentar um dos membros de fixação das garras com velocidade uniforme e controlada de 1 mm/min;
- e) dispositivo para indicar o valor do carregamento com exatidão de 1 %;
- f) extensômetro para determinação do alongamento do corpo-de-prova com exatidão de 1 %.

G.2.2 Preparação dos corpos-de-prova

G.2.2.1 Os corpos-de-prova são constituídos em formato de gravatinhas (Figura G.1) ou em formato de tiras (Figura G.2) extraídas na direção axial do tubo.

G.2.2.2 Os corpos-de-prova devem estar isentos de rebarbas, imperfeições ou ranhuras. Possíveis imperfeições decorrentes do corte do corpo-de-prova devem ser removidas através de lixamento com um abrasivo fino. Após o processo de lixamento, o corpo-de-prova não deve ter dimensões inferiores às especificadas em G.2.2.4.

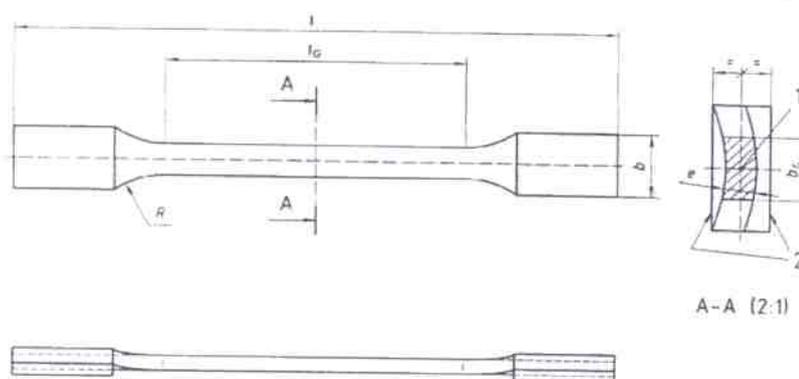
G.2.2.3 Se necessário, podem ser realizadas marcações no corpo-de-prova para medição do alongamento, desde que estas marcações não modifiquem as condições do corpo-de-prova.

G.2.2.4 A Tabela G.1 apresenta as dimensões e respectivas tolerâncias para os corpos-de-prova em formato de gravatinha e em formato de tira.

Tabela G.1 — Dimensões dos corpos-de-prova¹⁾

Referência	Dimensões
	mm
l	(300 ± 15)
l_G	$100 \leq l_G \leq 150$
R	$50 \leq R \leq 70$
b_G	$b_G = (10 \pm 1)$ para $DN \leq 150$ $b_G = (25 \pm 1)$ para $DN > 150$
b	$b = (18 \pm 2)$ para $DN \leq 150$ $b = (40 \pm 2)$ para $DN > 150$

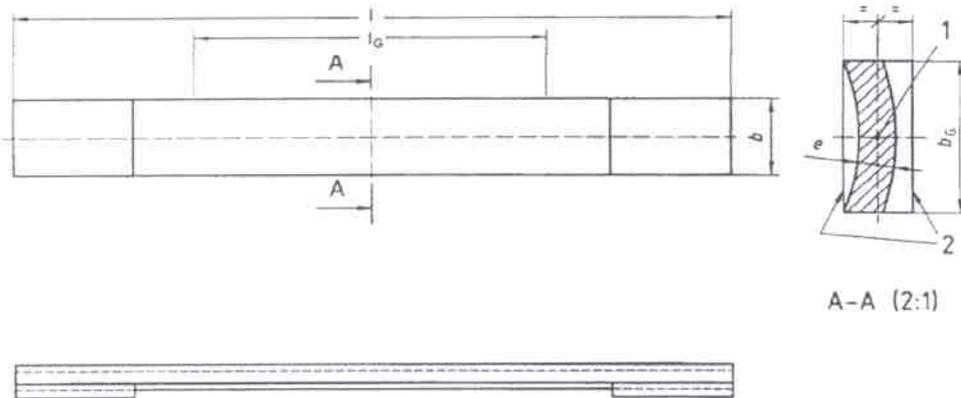
¹⁾ No caso do corpo-de-prova em formato de tira (Figura G.2), a dimensão b coincide com a dimensão b_G .



LEGENDA:

- 1 Centro da seção transversal da região de comprimento definido
- 2 Se necessário, as extremidades podem ser preenchidas com resina termofixa pura ou reforçada e aparadas de modo que fiquem planas e paralelas
- 3 Espessura de parede

Figura G.1 — Esquema de dimensões do corpo-de-prova em formato de gravatinha



LEGENDA:

- 1 Centro da seção transversal da região de comprimento definido
- 2 Se necessário, as extremidades podem ser preenchidas com resina termofixa pura ou reforçada e aparadas de modo que fiquem planas e paralelas
- e Espessura de parede

Figura G.2 — Esquema de dimensões do corpo-de-prova em formato de tira

G.2.2.5 No caso em que as garras de fixação das extremidades dos corpos-de-prova não sejam curvas, pode ser utilizado um reforço de resina na região para planificação da região de contato, de modo a evitar o deslizamento ou esmagamento nesta região. Quando curadas, deve-se garantir, por lixamento com um abrasivo fino, o paralelismo entre as superfícies de contato. O eixo de tracionamento do corpo-de-prova deve coincidir com o centróide da seção transversal das extremidades (conforme Figuras G.1 e G.2).

G.2.2.6 Devem ser ensaiados cinco corpos-de-prova.

G.2.3 Procedimento

G.2.3.1 Condicionar os corpos-de-prova e dispositivos em temperatura ambiente do laboratório de (23 ± 5) °C no mínimo durante 0,5 h antes do início da realização do ensaio.

G.2.3.2 Medir e registrar aproximando para o 0,1 mm mais próximo as larguras b e b_G , quando aplicável, medindo-se no centro do comprimento de ruptura do corpo-de-prova.

G.2.3.3 Posicionar o corpo-de-prova nas garras do equipamento, tomando cuidado para alinhar o maior eixo do corpo-de-prova e das garras com o eixo imaginário entre os pontos de fixação das garras no equipamento.

G.2.3.4 Apertar firmemente as garras, de modo uniforme, com um grau de intensidade necessário para impedir o escape do corpo-de-prova durante o ensaio, porém de modo que o corpo-de-prova não seja esmagado.

G.2.3.5 Posicionar o extensômetro nos limites da dimensão l_G .

G.2.3.6 Ajustar o dispositivo para a velocidade constante de 1 mm/min e iniciar a movimentação dos membros de fixação das garras.

G.2.3.7 Descartar qualquer corpo-de-prova que apresente sinais de deslizamento ou esmagamento na região de contato das garras, repetindo o ensaio com o número correspondente de corpos-de-prova.

G.2.3.8 Registrar o máximo carregamento suportado pelo corpo-de-prova durante o ensaio e o alongamento no momento de ruptura.

Exemplar autorizado para uso exclusivo - EDRA DO BRASIL INDUSTRIA E COMÉRCIO LTDA. - 45.773.967/0001-44

G.2.4 Expressão dos resultados

G.2.4.1 Cálculo da tensão axial de ruptura para cada corpo-de-prova:

$$\sigma_a = F / b_G$$

Onde:

σ_a é a tensão axial de ruptura, expressa em Newtons por milímetro de circunferência (N/mm);

F é o carregamento máximo, expresso em Newtons (N);

b_G é a largura do corpo-de-prova, expressa em milímetros (mm).

G.2.4.1.1 O cálculo da tensão axial média de ruptura deve ser dado pela média aritmética dos resultados obtidos para cada corpo-de-prova.

G.2.4.2 O percentual de alongamento na ruptura deve ser determinado por:

$$e (\%) = (e_R/e_0) \times 100$$

Onde:

e é o percentual de alongamento na ruptura;

e_R é o comprimento entre os pontos de medição do alongamento registrado no momento da ruptura;

e_0 é o comprimento inicial entre os pontos de medição do alongamento.

G.2.4.2.1 O percentual de alongamento médio de ruptura deve ser dado pela média aritmética dos resultados obtidos para cada corpo-de-prova.

G.2.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) data de realização do ensaio;
- c) dimensões do corpo-de-prova;
- d) velocidade de tração do corpo-de-prova;
- e) número de corpos-de-prova ensaiados;
- f) valor da tensão axial média de ruptura;
- g) valor do alongamento médio na ruptura;
- h) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

G.3 Método B

G.3.1 Aparelhagem

G.3.1.1 Instrumento com resolução de 0,01 mm, capaz de realizar a medição das dimensões dos corpos-de-prova.

G.3.1.2 Equipamento de ensaio com indicador de força aplicada, capaz de manter uma velocidade de tração constante, com as seguintes características:

- a) membro fixo responsável pela fixação de uma garra;
- b) membro móvel responsável pela movimentação da segunda garra;
- c) garras para adaptação do corpo-de-prova entre os membros fixo e móvel. As garras devem se auto-alinhar quando presas aos membros fixo e móvel, movendo-se livremente na direção do carregamento. A direção do eixo de maior comprimento do corpo-de-prova deve estar perfeitamente alinhada com a direção do carregamento, não permitindo movimento de rotação do corpo-de-prova. Cada uma das garras deve prender a extremidade do corpo-de-prova sem deslizamento ou esmagamento, de modo a afetar os resultados obtidos no ensaio;
- d) mecanismo de tração capaz de movimentar um dos membros de fixação das garras com velocidade uniforme e controlada de 1 mm/min;
- e) dispositivo para indicar o valor do carregamento com exatidão de 1 %;
- f) extensômetro para determinação do alongamento do corpo-de-prova, com exatidão de 1 %.

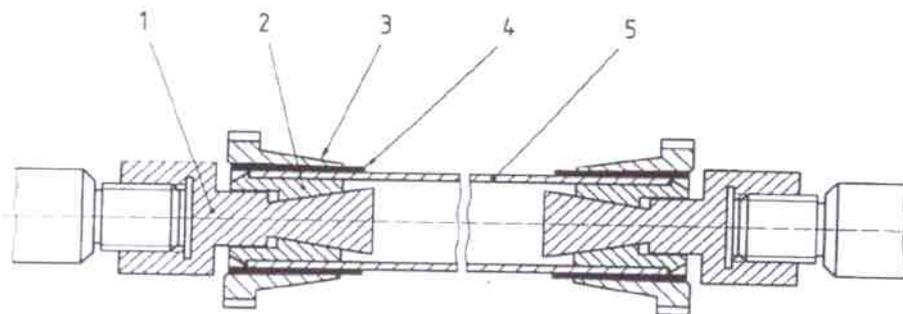
G.3.2 Preparação dos corpos-de-prova

G.3.2.1 O corpo-de-prova deve ser um segmento inteiro de tubo (Figura G.3).

G.3.2.2 Se necessário, podem ser realizadas marcações no corpo-de-prova para medição do alongamento, desde que estas marcações não modifiquem as condições do corpo-de-prova.

G.3.2.3 O corpo-de-prova deve ser um segmento inteiro de tubo, com comprimento mínimo de 450 mm.

G.3.2.4 Deve ser ensaiado um corpo-de-prova.



LEGENDA:

- | | |
|---|--------------------|
| 1 | Mandril |
| 2 | Garras segmentadas |
| 3 | Manga |
| 4 | Faixa de reforço |
| 5 | Corpo-de-prova |

Figura G.3 — Esquema de dispositivo de ensaio (Método B)

G.3.3 Procedimento

G.3.3.1 Condicionar os corpos-de-prova e dispositivos em temperatura ambiente do laboratório de $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ no mínimo durante 0,5 h antes do início da realização do ensaio.

G.3.3.2 Medir e registrar os diâmetros externo e interno e a espessura total de parede (e_t) do corpo-de-prova, tomando-se as medições em três posições igualmente espaçadas ao longo da circunferência do corpo-de-prova.

G.3.3.3 Posicionar o corpo-de-prova nas garras do equipamento, tomando cuidado para alinhar o maior eixo do corpo-de-prova e das garras com o eixo imaginário entre os pontos de fixação das garras no equipamento.

G.3.3.4 Apertar firmemente as garras de modo uniforme, com um grau de intensidade necessário para impedir o escape do corpo-de-prova durante o ensaio, porém de modo que o corpo-de-prova não seja esmagado.

G.3.3.5 Posicionar o extensômetro.

G.3.3.6 Ajustar o dispositivo para a velocidade constante de 1 mm/min e iniciar a movimentação dos membros de fixação das garras.

G.3.3.7 Descartar qualquer corpo-de-prova que apresente sinais de deslizamento ou esmagamento na região de contato das garras, repetindo o ensaio com o número correspondente de corpos-de-prova.

G.3.3.8 Registrar o máximo carregamento suportado pelo corpo-de-prova durante o ensaio e o alongamento no momento de ruptura.

G.3.4 Expressão dos resultados

G.3.4.1 Cálculo da tensão axial de ruptura para cada corpo-de-prova:

$$\sigma_b = F / (\pi \times d_m)$$

Onde:

σ_b é a tensão axial de ruptura, expressa em Newtons por milímetro de circunferência (N/mm);

F é o carregamento máximo, expresso em Newtons (N);

d_m é o diâmetro médio do corpo-de-prova, expresso em milímetros (mm), que corresponde ao diâmetro externo médio menos 1 espessura total de parede (e_t).

G.3.4.1.1 O cálculo da tensão axial média de ruptura deve ser dado pela média aritmética dos resultados obtidos para cada corpo-de-prova.

G.3.4.2 O percentual de alongamento na ruptura deve ser determinado por:

$$e (\%) = (e_R/e_0) \times 100$$

Onde:

e é o percentual de alongamento na ruptura;

e_R é o comprimento entre os pontos de medição do alongamento registrado no momento da ruptura;

e_0 é o comprimento inicial entre os pontos de medição do alongamento.

G.3.4.2.1 O percentual de alongamento médio de ruptura deve ser dado pela média aritmética dos resultados obtidos para cada corpo-de-prova.

G.3.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) data de realização do ensaio;
- c) dimensões do corpo-de-prova;
- d) velocidade de tração do corpo-de-prova;
- e) número de corpos-de-prova ensaiados;
- f) valor da tensão axial média de ruptura;
- g) valor do alongamento médio na ruptura;
- h) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

G.4 Método C

G.4.1 Aparelhagem

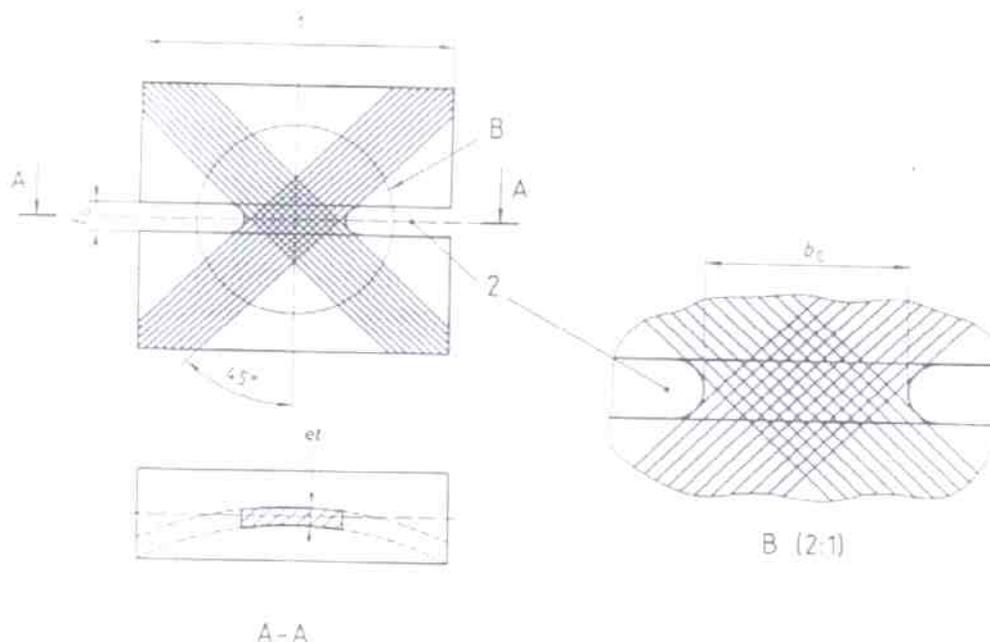
G.4.1.1 Instrumento com resolução de 0,01 mm, capaz de realizar a medição das dimensões dos corpos-de-prova.

G.4.1.2 Equipamento de ensaio com indicador de força aplicada, capaz de manter uma velocidade de tração constante, com as seguintes características:

- a) membro fixo responsável pela fixação de uma garra;
- b) membro móvel responsável pela movimentação da segunda garra;
- c) garras para adaptação do corpo-de-prova entre os membros fixo e móvel. As garras devem se auto-alinhar quando presas aos membros fixo e móvel, movendo-se livremente na direção do carregamento. A direção do eixo de maior comprimento do corpo-de-prova deve estar perfeitamente alinhada com a direção do carregamento, não permitindo movimento de rotação do corpo-de-prova. Cada uma das garras deve prender a extremidade do corpo-de-prova sem deslizamento ou esmagamento, de modo a afetar os resultados obtidos no ensaio;
- d) mecanismo de tração capaz de movimentar um dos membros de fixação das garras com velocidade uniforme e controlada de 1 mm/min;
- e) dispositivo para indicar o valor do carregamento com exatidão de 1 %;

G.4.2 Preparação dos corpos-de-prova

G.4.2.1 Os corpos-de-prova são placas quadradas extraídas da parede do tubo (Figura G.4), de forma que dois lados são paralelos e dois lados são perpendiculares ao eixo longitudinal do tubo.



Legenda:

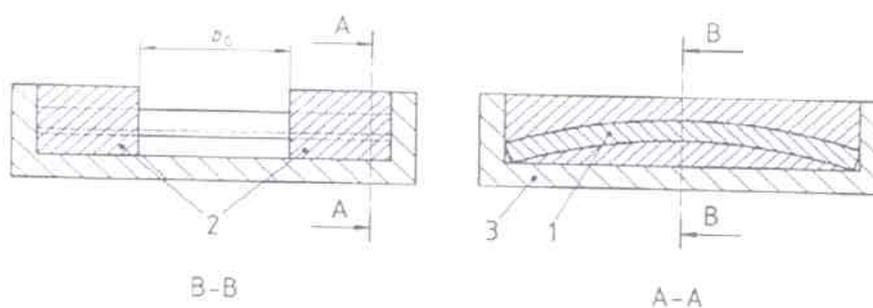
1 – periferia do tubo

2 – seção não preenchida

et – espessura total de parede do tubo

Figura G.4 — Corpo-de-prova na forma de placa (método C)

G.4.2.2 Para melhorar a fixação dos corpos-de-prova nas garras de tração, dois lados do corpo-de-prova devem ser preenchidos com resina termofixa, com ou sem reforço. Depois de a resina estar curada, as extremidades devem ser lixadas para ficarem lisas e paralelas. Ver Figura G.5.



Legenda:

1 – corpo-de-prova

2 – resina termofixa

3 – molde

Figura G.5 — Aplicação da resina às faces do corpo-de-prova em forma da placa

G.4.2.3 Qualquer rebarba deve ser removida e os corpos-de-prova devem ser usinados, para ficarem com as seguintes dimensões em função da espessura total de parede do tubo et (ver Figura G.4):

— distância entre garras, l_g :

$$l_g \geq 4et$$

— raio dentro do pescoço do corpo-de-prova, r :

$$0,2et \leq r \leq et$$

— largura, b_G , do pescoço:

$$4et \leq b_G \leq 5et$$

G.4.2.4 Devem ser ensaiados cinco corpos-de-prova.

G.4.3 Procedimento

G.4.3.1 Condicionar os corpos-de-prova e dispositivos em temperatura ambiente do laboratório de $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ no mínimo durante 0,5 h antes do início da realização do ensaio.

G.4.3.2 Medir e registrar aproximando para o 0,1 mm mais próximo a largura b_G e o ângulo de enrolamento Θ , com resolução de $\pm 1^\circ$. Determinar por medição ou cálculo o raio r .

G.2.3.3 Posicionar o corpo-de-prova nas garras do equipamento, tomando cuidado para alinhar o maior eixo do corpo-de-prova e das garras com o eixo imaginário entre os pontos de fixação das garras no equipamento.

G.2.3.4 Apertar firmemente as garras de modo uniforme, com um grau de intensidade necessário para impedir o escape do corpo-de-prova durante o ensaio, porém de modo que o corpo-de-prova não seja esmagado.

G.2.3.6 Ajustar o dispositivo para a velocidade constante de 1 mm/min e iniciar a movimentação dos membros de fixação das garras.

G.2.3.7 Descartar qualquer corpo-de-prova que apresente sinais de deslizamento ou esmagamento na região de contato das garras, repetindo o ensaio com o número correspondente de corpos-de-prova.

G.2.3.8 Registrar o máximo carregamento suportado pelo corpo-de-prova durante o ensaio.

G.4.4 Expressão dos resultados

G.4.4.1 Cálculo da tensão axial de ruptura para cada corpo-de-prova (Figura G.6):

$$\sigma_{LC} = F / b_G - (2 \times r \times (1/\cos \Theta) - 1)$$

Onde:

σ_{LC} é a tensão axial de ruptura, expressa em Newtons por milímetro de circunferência (N/mm);

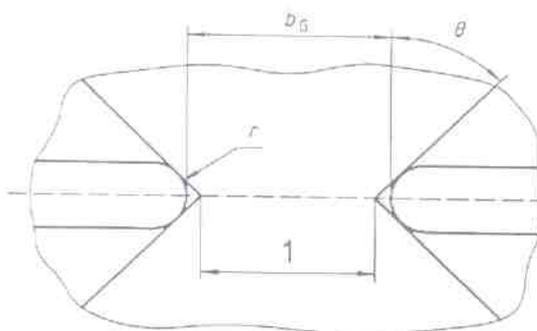
F é o carregamento máximo, expresso em Newtons (N);

b_G é a largura do corpo-de-prova, expressa em milímetros (mm);

r é o raio do entalhe, expresso em milímetros (mm);

Θ é o ângulo de enrolamento do reforço (ver Figura G.4), em graus. Se forem usados dois ou mais ângulos de enrolamento, considerar como Θ o menor ângulo.

G.4.4.1.1 O cálculo da tensão axial média de ruptura deve ser dado pela média aritmética dos resultados obtidos para cada corpo-de-prova.



Legenda:

$$1: b_G + \left[2 \times r \times \left(1 - \frac{1}{\cos \theta} \right) \right]$$

Figura G.6 — Detalhe da seção reduzida do corpo-de-prova em forma de placa

G.4.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- data de realização do ensaio;
- dimensões do corpo-de-prova;
- velocidade de tração do corpo-de-prova;
- número de corpos-de-prova ensaiados;
- valor da tensão axial média de ruptura;
- referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo H (normativo)

Resistência à pressão hidrostática interna de longa duração

H.1 Princípio

Este método é utilizado para estabelecer uma relação entre a tensão circunferencial e o tempo de falha do material, em um ambiente controlado interna e externamente, que simule o desempenho do produto na condição de utilização final. Este método estabelece um procedimento estático para obtenção do HDB (*hydrostatic design basis*) através da avaliação da curva de regressão obtida no ensaio.

Para caracterizar os tubos ou conexões de PRFV é necessário estabelecer a relação da tensão circunferencial pelo tempo de falha por no mínimo 10 000 h de ensaio (com parâmetros de ensaio controlados). Por causa da natureza do ensaio e dos corpos-de-prova, nenhuma curva pode representar os dados adequadamente; conseqüentemente, são utilizados limites de confiança.

A determinação do HDB pode ser realizada na base de tensão circunferencial por tempo de falha ou na base de alongamento circunferencial por tempo de falha.

Este método é válido para um dado tubo ou conexão, se a amostra for representativa em relação ao compósito e ao processo de produção. Mudanças no processo de produção (alteração no ângulo de enrolamento, alteração do processo de filamento contínuo para laminação manual/projeção etc.) ou no material (teor de resina, teor de fibra etc.) geram a necessidade de uma revalidação dos parâmetros.

H.2 Aparelhagem

H.2.1 Banho de água ou outro fluido.

H.2.2 Sistema de pressurização capaz de aplicar uma pressão hidrostática interna constante e uniforme no corpo-de-prova. O sistema deve ser capaz de atingir a pressão de ensaio sem excedê-la e mantê-la na tolerância especificada durante a duração do ensaio.

H.2.3 Equipamento de leitura de pressão com exatidão de $\pm 1\%$.

H.2.4 Cronômetro integrado ao sistema de pressurização, capaz de medir o tempo de falha com exatidão de $\pm 2\%$.

H.2.5 Dispositivos de fechamento das extremidades dos corpos-de-prova, capazes de permitir ou impedir a movimentação longitudinal durante o ensaio e que suportem as pressões atingidas. Os dispositivos não devem transmitir esforços aos corpos-de-prova.

H.3 Preparação dos corpos-de-prova

H.3.1 O corpo-de-prova a ser ensaiado deve ser um segmento de tubo de PRFV, isento de bolsa ou ponta, retirado de uma amostra, examinado visual e dimensionalmente, e considerado em perfeitas condições. O comprimento livre (L) de ensaio (entre dispositivos de fechamento das extremidades) deve ser cinco vezes o diâmetro externo do tubo, e não menor do que 300 mm, para diâmetros nominais menores ou iguais a 150. Para diâmetros nominais maiores, o comprimento livre (L) deve ser de três vezes o diâmetro externo e não menor que 760 mm.

H.3.2 Os corpos-de-prova devem ter suas extremidades cortadas em esquadro e estar isentos de rebarbas ou imperfeições que possam alterar o resultado do ensaio.

H.3.3 Devem ser ensaiados no mínimo 18 corpos-de-prova.

H.4 Procedimento

H.4.1 Determinar o diâmetro externo e a espessura total de parede dos corpos-de-prova de acordo com o Anexo A.

H.4.2 Em função da junta que será utilizada com o tubo, deve ser definido o dispositivo de fechamento das extremidades dos corpos-de-prova, conforme apresentado na Tabela H.1.

Tabela H.1 — Dispositivos de ensaio

Tipo de junta utilizada no tubo	Tipo de dispositivo de fechamento
Junta rígida ou junta elástica travada	Extremidades livres
Junta deslizante ou elástica	Extremidades fixas

H.4.3 Os dispositivos de fechamento das extremidades devem ser acoplados nos corpos-de-prova.

H.4.4 O ambiente interno do corpo-de-prova submetido ao ensaio deve ser água e o ambiente externo, ar. Outro meio pode ser utilizado, desde que registrado no relatório de ensaio. O ar e a água devem ser mantidos em temperatura de (23 ± 5) °C.

H.4.5 Dispor o corpo-de-prova no ambiente e enchê-lo com água, eliminando todo o ar do seu interior.

H.4.6 Os corpos-de-prova devem estar assentados em algum suporte, de modo a não apresentarem deflexão durante o ensaio.

H.4.7 Aumentar continuamente a pressão interna até a pressão de ensaio.

H.4.8 As pressões de ensaio devem ser definidas de modo a se obter a distribuição de pontos de falha para a amostra ensaiada conforme a Tabela H.2.

Tabela H.2 — Distribuição dos pontos de falha

Tempo de falha h	Pontos de falha
10 a 1 000	No mínimo 4
1 000 a 6 000	No mínimo 3
Após 6 000	No mínimo 3
Após 10 000	No mínimo 1
Total	No mínimo 18

H.4.9 Iniciar a contagem do tempo.

H.4.10 Cada corpo-de-prova deve ser pressurizado individualmente ou por um sistema distribuidor de pressão. Se for utilizado um sistema distribuidor, deve ser garantida a uniformidade da pressão do sistema no momento de falha de algum corpo-de-prova. A medição do tempo de ensaio deve ser individualizada para cada corpo-de-prova.

H.4.11 Obter um mínimo de 18 pontos de falha de acordo com a Tabela H.2. Deve ser considerada falha a exsudação ou a ruptura do corpo-de-prova.

H.4.12 Manter a pressão hidrostática interna em cada corpo-de-prova com tolerância de $\pm 1\%$.

H.4.13 Medir o tempo de falha com tolerância de $\pm 2\%$ ou 40 h, o que for menor.

H.4.14 Analisar os resultados do ensaio usando, para cada ponto de falha, o logaritmo da tensão circunferencial em quilopascals e o logaritmo do tempo de falha (em horas), como descrito no Anexo J, considerando o descrito em H.4.14.1 a H.4.14.8.

H.4.14.1 Um corpo-de-prova que apresente falha num ponto a até um diâmetro de distância do dispositivo de fechamento da extremidade pode ser:

- a) incluso como ponto de falha, se estiver acima de 95 % da curva de limite inferior de confiança;
- b) reparado e ensaiado novamente desde o início do ensaio, levando em conta que o novo vazamento deve ocorrer num ponto a uma distância superior a um diâmetro de distância do dispositivo de fechamento;
- c) descartado, e o ponto de falha não deve ser registrado.

H.4.14.2 Os corpos-de-prova que não falharem após mais de 10 000 h podem ser incluídos na construção da curva de regressão, desde que o limite de confiança seja atendido.

NOTA Os corpos-de-prova que não apresentarem falha podem continuar em ensaio e a curva de regressão pode ser recalculada quando ocorrer falha.

H.4.14.3 Determinar a curva final de extrapolação pelo método dos mínimos quadrados, usando os pontos de falha obtidos no ensaio e os pontos que não apresentaram falha, selecionados conforme H.4.14.1 e H.4.14.2.

H.4.14.4 Não utilizar pontos para pressões que causarem falha em menos de 0,3 h da média.

H.4.14.4.1 Determinar esses pontos pela média dos tempos de falha dos ensaios feitos sob o mesmo nível de tensão circunferencial, com tolerância de 1 380 kPa.

H.4.14.4.2 Incluir no relatório todos os pontos de ruptura excluídos por este cálculo, identificando-os como tal.

H.4.14.5 Calcular, conforme o Anexo J, o LTHS (*long-term hydrostatic strength*), que é uma estimativa da tensão na parede do tubo na direção circunferencial devido à pressão hidrostática interna, aplicada até a falha do corpo-de-prova após o número de horas especificado.

H.4.14.6 Se o valor de $S_{xy} > 0$, quando calculado conforme J.4.2, considerar os dados não apropriados para a determinação; se não, continuar conforme H.4.14.7.

H.4.14.7 Calcular o índice de correlação (r) conforme J.4.3. Se o valor encontrado for inferior ao mínimo valor especificado na Tabela J.1, considerar os dados não apropriados para a determinação; se não, continuar conforme H.4.14.8.

H.4.14.8 Determinar o valor HDB conforme a Tabela H.3.

Tabela H.3 — Determinação do HDB

LTHS kPa	Categoria de HDB kPa
16 500 a 20 700	17 200
20 800 a 26 300	21 700
26 400 a 33 000	27 600
33 100 a 40 900	34 500
41 000 a 52 900	43 400
53 000 a 65 900	55 200
66 000 a 82 900	68 900
83 000 a 105 900	86 200
106 000 a 130 900	110 000
131 000 a 169 900	138 000
170 000 a 209 900	172 000
210 000 a 259 900	217 000
260 000 a 320 000	276 000

H.4.14.9 A reconfirmação do HDB deve seguir o descrito em H.4.14.9.1 a H.4.14.9.7.

H.4.14.9.1 Quando um tubo já possui um HDB determinado, qualquer mudança no material, no processo de manufatura, construção ou alteração na espessura do liner tornará necessária uma nova avaliação deste parâmetro, conforme H.4.14.9.2 a H.4.14.9.7.

H.4.14.9.2 Obter pontos de falha para no mínimo duas amostras, cada uma contendo três ou mais corpos-de-prova ensaiados sob mesma tensão, com tolerância de 1 380 kPa. Deve ser obtida a distribuição de pontos de falha indicada na Tabela H.4.

Tabela H.4 — Distribuição de falhas

Tempo de falha h	Pontos de falha
De 10 a 200	No mínimo 3
Mais de 1 000	No mínimo 3
Total	No mínimo 6

H.4.14.9.2.1 Considerar como pontos válidos na construção da curva os corpos-de-prova que não tenham falhado após 3 000 h, com a condição de que eles excedam a linha de regressão de HDB existente.

H.4.14.9.3 Calcular e plotar as curvas referentes aos limites de 95 % de confiança e de 95 % de previsão para a curva de regressão original, usando apenas os dados obtidos antes da mudança.

H.4.14.9.4 Considerar admissíveis quaisquer mudanças no material ou no processo de fabricação, se os resultados de H.4.14.9.2 seguirem os seguintes critérios:

- a) o ponto de falha médio para cada tensão ficar sobre ou acima do limite inferior de 95 % de confiança da curva de regressão original;

- b) o primeiro ponto de falha individual (em tempo de ocorrência) para cada tensão ficar sobre ou acima do limite inferior de 95 % de previsão para curva de regressão original;
- c) os pontos de falha forem distribuídos sobre a curva de regressão originalmente determinada. Não mais do que dois terços dos pontos de falha individuais podem cair abaixo da curva de regressão original.

H.4.14.9.5 Alternativamente a H.4.14.9.4, consideram-se admissíveis quaisquer mudanças no material ou no processo de fabricação, se os resultados de H.4.14.9.2 atenderem ao seguinte:

- a) todos os pontos de falha ficarem acima do limite inferior de 95 % de confiança da curva de regressão original;
- b) no mínimo dois pontos apresentarem falha após 3 000 h.

H.4.14.9.6 Quando os dados estão de acordo com os critérios de H.4.14.9.4 ou H.4.14.9.5, pode-se assumir que estes dados fazem parte do conjunto original de dados e um novo HDB deve ser determinado, com a curva de regressão incluindo todos estes pontos de falha.

H.4.14.9.7 Se os dados não satisfizerem os critérios de H.4.14.9.4 ou H.4.14.9.5, as mudanças devem ser consideradas muito significativas e uma nova curva de regressão deve ser estabelecida. Enquanto o novo programa de ensaios está sendo conduzido, um HDB temporário para o material ou para a mudança de processo pode ser tomado como o menor valor obtido entre as duas alternativas a seguir:

- a) o limite inferior de 95 % de confiança do valor obtido pela extrapolação dos pontos de falha de H.4.14.9.2 para o período de 438 000 h, pelo procedimento descrito no Anexo J;
- b) o limite inferior de 95 % de confiança da curva de regressão original no fim do período de 438 000 h.

H.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) dimensões dos corpos-de-prova, incluindo: diâmetro nominal, espessuras mínima e média da parede, diâmetro externo médio, material e espessura do liner (se aplicável);
- c) tipo de dispositivo de fechamento utilizado;
- d) temperatura de ensaio;
- e) pressões, em quilopascals e o tempo de falha de todos os corpos-de-prova ensaiados;
- f) tipo de falha e local. Corpos-de-prova que foram incluídos na análise depois de terem sido submetidos a tensão por mais de 10 000 h devem ser registrados;
- g) valor do LTHS estimado, conforme J.4.6.3;
- h) valor de r ;
- i) valor do HDB, determinado conforme a Tabela H.3;
- j) data de realização do ensaio;
- k) caracterização do produto conforme a Seção 9;
- l) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo I (normativo)

Deformação por compressão circunferencial de longa duração

I.1 Princípio

Este método consiste em submeter um segmento de tubo de PRFV, submerso em um meio líquido com temperatura controlada, a um incremento de deformação diametral induzido por um carregamento constante, monitorando-se o tempo de ruptura do corpo-de-prova. Este método estabelece o procedimento para determinar a deformação devido à compressão circunferencial de longa duração (S_b), parâmetro necessário para o projeto de tubos de PRFV utilizados em sistemas enterrados.

A deformação de flexão circunferencial devido à compressão diametral de longo prazo (S_b) é determinada para detectar qualquer redução abrupta e significativa das propriedades mecânicas do material ao longo da vida útil. O valor de S_b deve ser determinado utilizando-se água com pH entre 5 e 9. A deformação devido à compressão circunferencial de longa duração (S_b) é obtida por uma extrapolação do período de 438 000 h da regressão linear logarítmica (log-log) da deformação na falha pelo tempo de falha.

I.2 Aparelhagem

I.2.1 Dispositivo capaz de aplicar um carregamento constante ao corpo-de-prova.

I.2.2 A carga deve ser aplicada aos corpos-de-prova usando placas paralelas com comprimento e rigidez suficientes para que não ocorra deformação das placas durante o carregamento. O mesmo tipo de dispositivo deve ser utilizado para todos os corpos-de-prova ensaiados. Para garantir uma tensão uniforme ao longo do corpo-de-prova, deve ser utilizada uma borracha elastomérica entre a superfície de contato e o segmento de anel.

I.2.2.1 Placas paralelas – os pratos devem possuir largura mínima de 150 mm.

I.2.3 Tanque com tamanho suficiente para imergir inteiramente os corpos-de-prova no meio líquido utilizado no ensaio. O tanque não deve reagir quimicamente com o líquido de ensaio.

I.2.4 Cronômetro aderido ao dispositivo de carregamento, capaz de medir o tempo de ruptura com exatidão de $\pm 2\%$.

I.2.5 Um esquema do dispositivo de ensaio é apresentado na Figura I.1.

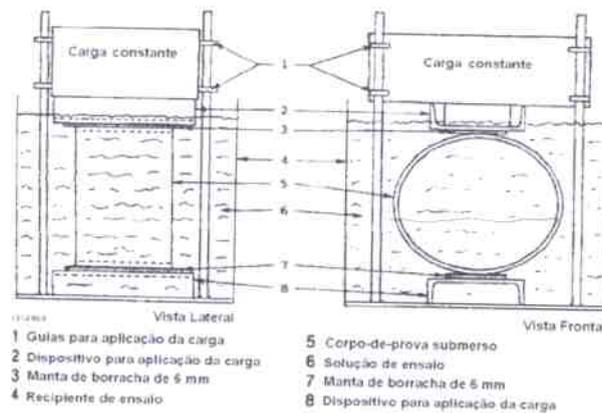


Figura I.1 — Esquema do dispositivo de ensaio

I.3 Preparação dos corpos-de-prova

I.3.1 O corpo-de-prova a ser ensaiado deve ser um segmento de anel de tubo de PRFV, isento de bolsa ou ponta, retirado de uma amostra, examinado visual e dimensionalmente, e considerado em perfeitas condições. Os segmentos anelares de tubos com diâmetros nominais inferiores ou iguais a DN 1 500 devem ter comprimento mínimo de uma vez o diâmetro nominal ou 300 mm, o que for menor. Para tubos com diâmetros nominais superiores a DN 1 500, o comprimento deve ser de 20 % do diâmetro nominal \pm 25 mm.

I.3.2 Os corpos-de-prova devem ter suas extremidades cortadas em esquadro e estar isentos de rebarbas ou imperfeições que possam alterar o resultado do ensaio.

I.3.3 Devem ser ensaiados no mínimo 18 corpos-de-prova.

I.4 Procedimento

I.4.1 Determinar a espessura total de parede conforme o Anexo A.

I.4.2 Determinar o diâmetro interno vertical do corpo-de-prova antes da deformação, conforme o Anexo A.

I.4.3 Colocar o dispositivo de carregamento no tanque de ensaio.

I.4.4 Colocar os corpos-de-prova entre as placas paralelas (ver Figura I.1) e aplicar um carregamento para deformar diametralmente o corpo-de-prova, com uma velocidade que não exceda 10 % de seu diâmetro por minuto, mantendo as superfícies de contato mais paralelas possível, mantendo a carga constante quando a deformação inicial desejada for atingida.

I.4.5 Medir o diâmetro interno vertical na condição de deformação inicial, em ambas as extremidades do corpo-de-prova, aproximando para o 0,1 mm mais próximo. Registrar a média dos resultados e determinar a deformação diametral inicial pela subtração da média do diâmetro interno vertical após o carregamento e o valor da média do diâmetro interno vertical, medido conforme I.4.2.

I.4.6 O líquido pode ser adicionado antes de carregar o corpo-de-prova ou, o mais tardar, 30 min após o carregamento do corpo-de-prova. O registro do tempo de ensaio começa somente após o carregamento inicial do corpo-de-prova e a adição do líquido.

I.4.7 O corpo-de-prova deve permanecer submerso no líquido, que deve ser mantido na temperatura de (23 ± 5) °C.

NOTA Algumas soluções podem ficar com uma alta concentração devido à evaporação da água, o que deve ser evitado para não alterar as condições de ensaio. Se necessário, o corpo-de-prova pode ser periodicamente limpo pela adição de reagentes e pela troca da solução de ensaio. Pode ser utilizado um plástico fino ou microesferas sobre a solução de ensaio para reduzir a evaporação.

I.4.8 Monitorar continuamente a deformação com base no diâmetro interno *versus* o tempo ou inspecionar o corpo-de-prova carregado no mínimo na frequência estabelecida na Tabela I.1, realizando a medição da deformação diametral.

Tabela I.1 — Especificação de monitoramento

Tempo de ensaio h	Inspecionar no mínimo
0 a 20	A cada hora
20 a 40	A cada 2 h
40 a 60	A cada 4 h
60 a 100	A cada 8 h
100 a 600	A cada 24 h
600 a 6 000	A cada 48 h
Depois de 6 000	A cada semana

I.4.9 Calcular o ponto de falha (tempo de falha e deformação de falha) de acordo com I.5.

I.4.10 Registrar os valores da média da espessura total do corpo-de-prova, a média do diâmetro interno antes do carregamento, a média do diâmetro interno após o carregamento, a deformação diametral inicial, deformação e o tempo no instante de ruptura e o tipo de ruptura (catastrófica ou progressiva).

I.4.11 Para determinar a linha de regressão e o nível de confiança, um mínimo de 18 pontos de ruptura deve ser estabelecido. A distribuição de pontos de falha para amostra ensaiada deve ser conforme indicado na Tabela I.2.

Tabela I.2 — Distribuição dos pontos de falha

Tempo de falha h	Pontos de falha
10 a 1 000	No mínimo 4
1 000 a 6 000	No mínimo 3
Após 6 000	No mínimo 3
Após 10 000	No mínimo 1
Total	No mínimo 18

I.4.12 Os corpos-de-prova que não apresentarem ruptura após mais de 10 000 h podem ser incluídos na construção da linha de regressão, desde que o limite de confiança seja atendido.

1.5 Expressão dos resultados

1.5.1 Determinar o tempo de ruptura e a respectiva deformação, de acordo com 1.5.1.1 e 1.5.1.2.

1.5.1.1 Na ocorrência de ruptura dúctil, a deformação de ruptura e o respectivo tempo devem ser os últimos valores registrados na primeira ocorrência de fratura.

1.5.1.2 Quando a ruptura é progressiva, esta deve ser indicada pela seguinte equação, onde a deformação e o tempo de ruptura são considerados os valores do ponto de mudança de inclinação (y_i, T_i):

$$S = \frac{\log y_f - \log y_i}{\log T_f - \log T_i} \geq 0,25$$

Onde:

S é a inclinação da curva expressa pelo logaritmo da deformação *versus* o logaritmo do tempo;

y_f é a deformação final, em milímetros por milímetros;

y_i é a deformação inicial, em milímetros por milímetros;

T_f é o tempo de ruptura, em horas;

T_i é o tempo inicial, em horas;

1.5.2 Deformação devido à compressão circunferencial de longo prazo (S_b), de acordo com 1.5.2.1.

1.5.2.1 Calcular o valor da deformação de falha para cada corpo-de-prova como descrito em 1.5.2.1.1 e 1.5.2.1.2. Para falhas progressivas, utilizar a maior deformação obtida.

1.5.2.1.1 Falha catastrófica:

$$\varepsilon_f = \frac{4,28.e_i.\Delta_f}{(D + \Delta_f / 2)^2}$$

Onde:

e_i é a deformação de falha, em milímetros por milímetros;

e_t é a espessura total de parede do corpo-de-prova;

D é o diâmetro médio, em milímetros (diâmetro externo menos uma vez a espessura);

Δ_f é a deflexão de falha de acordo com 1.5.1.

1.5.2.1.2 Falha progressiva:

$$\varepsilon_f = \frac{2,44.e_i.\Delta_f}{(D + \Delta_f / 2)^2}$$

1.5.2.2 Utilizar, para cada corpo-de-prova da amostra, o logaritmo da deflexão de falha pelo logaritmo do tempo de falha em horas, conforme J.4.1. Calcular o valor de S_b que será a deformação extrapolada para 50 anos (438 000 h).

1.5.2.3 Se $S_{xy} > 0$, considerar os dados não representativos para a determinação (verificar o descrito em J.4.3).

1.5.2.4 Calcular o coeficiente de correlação r conforme J.4.3. Se r for inferior ao valor especificado na Tabela J.1, considerar os dados não representativos para a determinação.

1.5.2.5 Traçar um gráfico em log-log do tempo de falha *versus* a deformação de ruptura, com o tempo nas abscissas e a deformação nas ordenadas.

1.6 Reconfirmação do S_b

1.6.1 Quando um tubo já possui um S_b determinado, qualquer mudança no material, no processo de manufatura, construção ou a alteração na espessura do liner torna necessária uma nova avaliação deste parâmetro.

1.6.2 Obter pontos de ruptura para no mínimo duas amostras, cada uma contendo três ou mais corpos-de-prova ensaiados sob mesma deformação inicial. Deve ser obtida a distribuição de pontos de falha indicada na Tabela I.3.

Tabela I.3 — Distribuição dos pontos de falha

Tempo de falha h	Pontos de falha
De 10 a 200	No mínimo 3
Mais de 1 000	No mínimo 3
Total	No mínimo 6

1.6.2.1 Considerar como pontos válidos na construção da curva os corpos-de-prova que não tenham rompido após 3 000 h, com a condição de que eles excedam a linha de regressão do S_b existente.

1.6.3 Calcular e traçar a curva referente ao limite de confiança inferior de 95 % para a curva de regressão e ao limite de previsão inferior de 95 %, usando apenas os dados obtidos antes da mudança.

1.6.4 Considerar admissíveis quaisquer mudanças no material ou no processo de fabricação, se os resultados de 1.6.2 seguirem os seguintes critérios:

- o ponto de ruptura médio ficar sobre ou acima do limite de confiança inferior de 95 % da curva de regressão original;
- o primeiro ponto de ruptura individual (em tempo de ocorrência) ficar sobre ou acima do limite de previsão inferior de 95 % para curva de regressão original;
- não mais do que dois terços dos pontos de ruptura individuais caírem abaixo da curva de regressão original.

1.6.5 Alternativamente a 1.6.4, consideram-se admissíveis quaisquer mudanças no material ou no processo de fabricação, se os resultados de 1.6.2 seguirem o descrito abaixo:

- todos os pontos ficarem acima do limite de confiança inferior de 95 % da curva de regressão original;
- no mínimo dois pontos apresentarem ruptura após 3 000 h.

1.6.6 Pode-se assumir que os dados que estão de acordo com os critérios de 1.6.4 ou 1.6.5 fazem parte do conjunto original de dados e o S_b pode ser recalculado com a curva de regressão determinada, usando-se todos os pontos de ruptura.

1.6.7 Se os dados não satisfizerem os critérios de 1.6.4 ou 1.6.5, as mudanças devem ser consideradas muito significativas e uma nova curva de regressão deve ser estabelecida. Enquanto o novo programa de ensaios está sendo conduzido, um S_b temporário para o material ou para a mudança de processo pode ser tomado da seguinte forma:

- a) o limite de confiança inferior de 95 % do valor obtido pela extrapolação dos pontos de ruptura de 1.6.2 para o período de 438 000 h, pelo procedimento descrito no Anexo J;
- b) o limite de confiança inferior de 95 % da regressão original no fim do período de 438 000 h.

1.7 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) dimensões dos corpos-de-prova, incluindo diâmetro nominal, espessura média da parede, diâmetro interno médio;
- c) completa descrição do líquido de ensaio;
- d) temperatura de ensaio;
- e) tipo de ruptura e local. Corpos-de-prova que foram incluídos na análise depois de terem sido submetidos a deformação por mais de 10 000 h devem ser registrados;
- f) valor de r ;
- g) valor do S_b ;
- h) data de realização do ensaio;
- i) caracterização do produto conforme 7.2;
- j) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo J (informativo)

Método dos mínimos quadrados para o cálculo dos parâmetros HDB ou Sb

J.1 Geral

J.1.1 A análise é baseada na seguinte relação:

$$y = a + bx \quad (K1)$$

onde:

- x é a variável 1;
- y é a variável 2;
- b é a inclinação da reta;
- a é a interseção com o eixo y .

J.1.2 Para os cálculos usa-se uma análise de função linear (às vezes denominada análise de covariância), após testes para o sinal (+ ou -) da inclinação e do valor do coeficiente de correlação com os dados disponíveis. As equações relevantes são apresentadas junto com um exemplo de dados amostrais e os resultados calculados por este método. Pode ser usado algum método computacional estatístico para cálculo destes valores, desde que validado através da concordância com os resultados apresentados no exemplo, dentro da tolerância indicada.

J.1.3 Pelos critérios estabelecidos neste Anexo, deve ser assumido um tempo de 438 000 h.

J.2 Procedimento de análise dos dados

J.2.1 Utilizar a função linear apresentada acima para analisar n pares de dados amostrais (x e y) para obter as informações indicadas em J.2.1.1 a J.2.1.4.

J.2.1.1 A inclinação (b) da reta.

J.2.1.2 A interseção com o eixo y (a).

J.2.1.3 O coeficiente de correlação (r).

J.2.1.4 A média prevista, o intervalo de confiança inferior a 95 % e o intervalo de previsão inferior a 95 %, estimados para a média.

J.3 Atribuição de variáveis

Seja $x = \log_{10}t$, onde t é o tempo em horas, e $y = \log_{10}V$, onde V é o valor da tensão circunferencial.

J.4 Equações das relações funcionais e método de cálculo

J.4.1 Base estatística e símbolos

J.4.1.1 Deve ser utilizada a seguinte base estatística e respectivos símbolos:

n = número de pares de valores observados (t_i e V_i)

$y_i = \log_{10} V_i$, onde V_i é a tensão circunferencial na observação i ($i = 1, 2, \dots, n$)

$x_i = \log_{10} t_i$, onde t_i é tempo de ruptura, em horas, na observação i ($i = 1, 2, \dots, n$)

y_m = média aritmética de todos os valores de y_i

x_m = média aritmética de todos os valores de x_i

J.4.2 Soma dos mínimos quadrados

J.4.2.1 Calcular as seguintes somas dos mínimos quadrados:

$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum (x_i - x_m)(y_i - y_m) \quad (\text{J.2})$$

J.4.2.2 Se $S_{xy} > 0$ considerar que os dados não são adequados para a avaliação do material; caso contrário, calcular os valores a seguir:

$$S_{xx} = \frac{1}{n} \sum (x_i - x_m)^2 \quad (\text{J.3})$$

$$S_{yy} = \frac{1}{n} \sum (y_i - y_m)^2 \quad (\text{J.4})$$

J.4.3 Correlação dos dados

J.4.3.1 Calcular o coeficiente de correlação, r , pela seguinte equação:

$$r^2 = \frac{(S_{xy})^2}{(S_{xx} \times S_{yy})} \quad (\text{J.5})$$

$$r = \sqrt{r^2} \quad (\text{J.6})$$

J.4.3.2 Se o valor de r for inferior aos valores mínimos apresentados na Tabela J.1, em função n , rejeitar os dados, senão seguir para J.4.4.

Tabela J.1 — Valores mínimos de coeficiente de correlação r em função de n

$(n-2)$	r mínimo	$(n-2)$	r mínimo
11	0,6835	25	0,4869
12	0,6614	30	0,4487
13	0,6411	35	0,4182
14	0,6226	40	0,3932
15	0,6055	45	0,3721
16	0,5897	50	0,3541
17	0,5751	60	0,3248
18	0,5614	70	0,3017
19	0,5487	80	0,2830
20	0,5386	90	0,2673
21	0,5252	100	0,2540
22	0,5145
23	0,5043
24	0,4952

J.4.4 Relações funcionais

J.4.4.1 Para determinar os coeficientes a e b da reta, utilizar as seguintes relações:

$$\lambda = \frac{S_{yy}}{S_{xx}} \quad (\text{J.7})$$

$$b = \sqrt{\lambda} \quad (\text{J.8})$$

NOTA Em geral a inclinação da reta (b) assume o mesmo sinal de S_{xy} .

$$a = ym - b.xm \quad (\text{J.9})$$

J.4.5 Cálculo de variância

J.4.5.1 Se t_L for o tempo de falha obtido, então:

$$x_L = \log_{10} t_L \quad (\text{J.10})$$

J.4.5.2 Fazer o cálculo dos seguintes valores estatísticos para $i = 1$ até $i = n$:

\tilde{x}_i é a melhor aproximação para o valor real de x ;

\tilde{y}_i é a melhor aproximação para o valor real de y ;

σ_{δ}^2 = variância do erro para x .

$$\xi_i = \{\lambda \cdot x_i + (y_i - a) \cdot b\} / 2\lambda \quad (\text{J.11})$$

$$Y_i = a + b \cdot \xi_i \quad (\text{J.12})$$

$$\sigma_s^2 = \{\sum (y_i - Y_i)^2 + \lambda \cdot \sum (x_i - \xi_i)^2\} / \{\lambda(n - 2)\} \quad (\text{J.13})$$

J.4.5.3 Calcular os seguintes valores:

$$\tau = b \cdot \sigma_s^2 / 2 \cdot S_{xy} \quad (\text{J.14})$$

$$D = 2 \cdot \lambda \cdot b \cdot \sigma_s^2 / n \cdot S_{xy} \quad (\text{J.15})$$

$$B = -D \cdot x_m \cdot (1 + \tau) \quad (\text{J.16})$$

J.4.5.4 Calcular as seguintes variâncias:

A variância C do coeficiente b , usando a equação:

$$C = D \cdot (1 + \tau) \quad (\text{J.17})$$

A variância A do coeficiente a , usando a equação:

$$A = D \cdot \left\{ x_m^2 \cdot (1 + \tau) + \frac{S_{xy}}{b} \right\} \quad (\text{J.18})$$

A variância σ_n^2 da linha ajustada em x_L , usando a equação:

$$\sigma_n^2 = A + 2 \cdot B \cdot x_L + C \cdot x_L^2 \quad (\text{J.19})$$

A variância do erro, σ_E^2 para o valor de y , utilizando a equação:

$$\sigma_E^2 = \lambda \cdot \sigma_s^2 \quad (\text{J.20})$$

A variância total σ_y^2 para valores futuros, y_L , para y em função de x_L , usando a equação:

$$\sigma_y^2 = \sigma_n^2 + \sigma_E^2 \quad (\text{J.21})$$

J.4.5.5 Calcular o desvio-padrão de y_L (σ_y), utilizando a seguinte equação:

$$\sigma_y = (\sigma_n^2 + \sigma_E^2)^{0,5} \quad (\text{J.22})$$

e o valor previsto de y_L para y em função de x_L , utilizando a seguinte relação:

$$y_L = a + b \cdot x_L \quad (\text{J.23})$$

onde a e b são os valores obtidos com as equações J.8 e J.9.

J.4.6 Cálculo e intervalos de confiança

J.4.6.1 Calcular o intervalo de previsão inferior de 95 % $y_{L,0.95}$ estimado para y_L pela seguinte equação:

$$y_{L,0.95} = y_L - t_y \cdot \sigma_y \quad (\text{J.24})$$

Onde:

y_L é o valor obtido com a equação J.23, quando x_L é o valor de acordo com a equação J.10, apropriado ao período de extrapolação do ensaio, por exemplo 438 000 h ($x_L = 5.6415$ (h)) ou o tempo desejado para estimar com 95 % de segurança o mínimo valor para a próxima observação de V ;

σ_y é o valor obtido de acordo com a equação J.22;

t_y é o coeficiente t da distribuição de "t student" para $v = n - 2$, especificado na Tabela J.2 em função de n para um nível de significância de 0,05 bilateral (isto é, média \pm 2,5 %).

Tabela J.2 — Valor do coeficiente t_v da distribuição de t' Student

Grau de liberdade (n-2)	coeficiente t_v	Grau de liberdade (n-2)	coeficiente t_v	Grau de liberdade (n-2)	coeficiente t_v
1	12 706	46	2 013	91	1 986
2	4 303	47	2 012	92	1 986
3	3 182	48	2 011	93	1 986
4	2 776	49	2 010	94	1 986
5	2 570	50	2 009	95	1 985
6	2 447	51	2 008	96	1 985
7	2 365	52	2 007	97	1 985
8	2 306	53	2 006	98	1 984
9	2 262	54	2 005	99	1 984
10	2 228	55	2 004	100	1 984
11	2 201	56	2 003	101	1 984
12	2 179	57	2 002	102	1 983
13	2 160	58	2 002	103	1 983
14	2 145	59	2 001	104	1 983
15	2 131	60	2 000	105	1 983
16	2 120	61	2 000	106	1 983
17	2 110	62	1 999	107	1 982
18	2 101	63	1 998	108	1 982
19	2 093	64	1 998	109	1 982
20	2 086	65	1 997	110	1 982
21	2 080	66	1 997	111	1 982
22	2 074	67	1 996	112	1 981
23	2 069	68	1 995	113	1 981
24	2 064	69	1 995	114	1 981
25	2 059	70	1 994	115	1 981
26	2 056	71	1 994	116	1 981
27	2 052	72	1 993	117	1 980

Tabela J.2 (continuação)

Grau de liberdade (n-2)	coeficiente t _v	Grau de liberdade (n-2)	coeficiente t _v	Grau de liberdade (n-2)	coeficiente t _v
28	2 048	73	1 993	118	1 980
29	2 045	74	1 993	119	1 980
30	2 042	75	1 992	120	1 980
31	2 040	76	1 992	130	1 978
32	2 037	77	1 991	140	1 977
33	2 035	78	1 991	150	1 976
34	2 032	79	1 990	200	1 972
35	2 030	80	1 990	300	1 968
36	2 028	81	1 990	400	1 966
37	2 026	82	1 989	500	1 965
38	2 024	83	1 989	600	1 964
39	2 023	84	1 989	700	1 963
40	2 021	85	1 988	800	1 963
41	2 020	86	1 988	900	1 963
42	2 018	87	1 988	1000	1 962
43	2 017	88	1 987	∞	1 960
44	2 015	89	1 987	-	-
45	2 014	90	1 987	-	-

J.4.6.2 Calcular o valor da tensão circunferencial V correspondente ao intervalo de previsão inferior de 95 % pela seguinte relação:

$$V_{L0.95} = 10^{Y_{L0.95}} \tag{J.25}$$

J.4.6.3 Determinar pela equação abaixo o valor estimado para a média do valor de V no tempo t_L (V_L), que será o LTHS (long-term hydrostatic strength):

$$V_L = LTHS = 10^{Y_L} \tag{J.26}$$

onde Y_L é o valor obtido pela equação J.23.

J.4.6.4 Calcular o intervalo de confiança inferior de 95 % para a curva de regressão, eliminando o termo σ_E² na equação J.21, isto é, fazendo σ_y² = σ_n², e utilizar o novo valor obtido para σ_y nas equações J.24 e J.25.

Anexo K (informativo)

Exemplo numérico de regressão linear através do método dos mínimos quadrados

K.1 Geral

Este exemplo numérico tem o objetivo de estabelecer uma referência em relação à utilização da metodologia de cálculo apresentada no Anexo J, através da regressão linear dos dados obtidos no ensaio de resistência à pressão hidrostática interna de longa duração (Anexo H) e no ensaio de deformação por compressão circunferencial de longa duração (Anexo I).

Os dados exemplificados na Tabela K.1 devem ser utilizados em conjunto com o Anexo J para validar os procedimentos estatísticos. Devido aos erros de arredondamento, provavelmente os valores obtidos na aplicação do procedimento não serão idênticos aos apresentados, mas o procedimento deve ser validado caso esta diferença esteja dentro da tolerância de $\pm 0,1\%$ em relação aos resultados apresentados em K.5 e K.6.

Tabela K.1 — Sugestão de valores para validação do procedimento estatístico

Ponto de falha	Tempo h	Tensão psi	Log Tempo h	Log Tensão psi	Ponto de falha	Tempo h	Tensão psi	Log Tempo h	Log Tensão psi
1	9	5 500	0,95424	3,74036	17	1301	4 700	3,11428	3,67210
2	13	5 500	1,11394	3,74036	18	1430	4 800	3,15534	3,68124
3	17	5 500	1,23045	3,74036	19	1710	4 800	3,23300	3,68124
4	17	5 500	1,23045	3,74036	20	2103	4 800	3,32284	3,68124
5	104	5 200	2,01703	3,71600	21	2220	4 500	3,34635	3,65321
6	142	5 200	2,15229	3,71600	22	2230	4 400	3,34830	3,64345
7	204	5 200	2,30963	3,71600	23	3816	4 700	3,58161	3,67210
8	209	5 200	2,32015	3,71600	24	4110	4 700	3,61384	3,67210
9	272	5 000	2,43457	3,69897	25	4173	4 600	3,62045	3,66276
10	446	5 000	2,64933	3,69897	26	5184	4 400	3,71466	3,64345
11	466	5 000	2,66839	3,69897	27	8900	4 600	3,94939	3,66276
12	589	4 800	2,77012	3,68124	28	8900	4 600	3,94939	3,66276
13	669	4 700	2,82543	3,67210	29	10900	4 500	4,03743	3,65321
14	684	5 000	2,83506	3,69897	30	10920	4 500	4,03822	3,65321
15	878	4 600	2,94349	3,66276	31	12340	4 500	4,09132	3,65321
16	1299	4 800	3,11361	3,68124	32	12340	4 500	4,09132	3,65321

K.2 Soma dos mínimos quadrados

$$S_{xx} = 0,798109$$

$$S_{yy} = 8,78285 \times 10^{-4}$$

$$S_{xy} = -0,024836$$

K.3 Coeficiente de correlação

$$r = 0,938083$$

K.4 Relações funcionais

$$\lambda = 1,100457 \times 10^{-3}$$

$$b = -3,31731 \times 10^{-2}$$

$$a = 3,782188$$

K.5 Variâncias calculadas

$$D = 4,84225 \times 10^{-6}$$

$$B = -1,46896 \times 10^{-5}$$

$$C \text{ (variância do } b) = 5,01271 \times 10^{-6}$$

$$A \text{ (variância do } a) = 4,66730 \times 10^{-5}$$

$$\sigma_n^2 \text{ (variância do erro para o } x) = 4,046696 \times 10^{-5}$$

$$\sigma_E^2 \text{ (variância do erro para o } y) = 5,80063 \times 10^{-5}$$

K.6 Limites de confiança e previsão

Para $n = 32$ e "t" de Student de 2,0423, a média estimada e os limites inferiores de confiança e de previsão são apresentados na Tabela K.2.

Tabela K.2 — Limites de confiança

Tempo h	Valor estimado médio LTHS	Intervalo de confiança inferior	Intervalo de previsão inferior
1	6 056	5 864	5 771
10	5 611	5 487	5 379
100	5 198	5 129	5 003
1 000	4 816	4 772	4 641
10 000	4 462	4 398	4 293
100 000	4 133	4 037	3 960
438 000	3 936	3 820	3 756

Anexo L (informativo)

Tubos de PRFV - Exemplo de aplicação da inspeção por recebimento

L.1 Princípio

Este Anexo tem o objetivo de apresentar um roteiro de aplicação do processo de inspeção por recebimento especificado na Seção 5, utilizando um exemplo de fornecimento de tubos de PRFV.

L.2 Exemplo de aplicação do processo de inspeção

O exemplo de aplicação refere-se a um fornecimento genérico de 300 tubos de PRFV com diâmetro nominal DN 500 e comprimento útil de 6 m, ou seja, 1 800 m de tubos. Em L.2.1 a L.2.5 são definidas as etapas do processo de inspeção por recebimento.

L.2.1 Definição da unidade de produto

De acordo com a definição de unidade de produto apresentada em 3.45 e Tabela 13, para tubos com diâmetro nominal DN 500, a unidade de produto deve ser um comprimento mínimo de (3 x 1,5) m.

Desta forma, para este exemplo aplicado define-se que:

Unidade de produto = (3 x 1,5) m = 4,5 m.

L.2.2 Cálculo do tamanho de lote

De acordo com a definição de lote apresentada em 3.26 e aplicando o procedimento de cálculo do tamanho de lote especificado em 5.2 ao fornecimento proposto neste exemplo, tem-se:

Fornecimento total = 300 tubos

Comprimento útil dos tubos = 6 m

Unidade de produto = (3 x 1,5) m

O tamanho do lote, expresso em unidades de produto, é definido pelo quociente entre o fornecimento total em metros e a unidade de produto em metros. Desta forma:

Tamanho do Lote = (300 x 6) / (3 x 1,5) = 400 unidades de produto

Portanto, para o exemplo aplicado, tem-se um tamanho de lote igual a 400 unidades de produto.

L.2.3 Tamanho da amostra e análise de aceitação e rejeição do lote

Consultando as Tabelas 17 e 18, é determinado o tamanho da amostra (em unidades de produto), em função do tamanho de lote convertido para unidades de produto conforme L.2.2 (tamanho de lote = 400), respectivamente para os ensaios não destrutivos e ensaios destrutivos dos tubos de PRFV.

a) ensaios não destrutivos dos tubos de PRFV:

Pela Tabela 14, para os ensaios não destrutivos dos tubos a amostragem é definida pela Tabela L.1.

Tabela L.1 — Amostragem para os ensaios não destrutivos

Tamanho do lote (convertido para unidades de produto)	Amostragem	Tamanho da amostra acumulado	Aceitação	Rejeição
400	1ª	32	3	7
	2ª	64	8	9

Desta forma, para realização dos ensaios não destrutivos, devem ser reservadas 64 unidades de produto (288 m de tubo), 32 unidades de produto para verificação em 1ª amostragem e 32 unidades de produto para verificação em 2ª amostragem, caso esta seja necessária.

Análise em 1ª amostragem:

1. se até três unidades de produto forem reprovadas, o lote deve ser encaminhado aos ensaios destrutivos;
2. se quatro a seis unidades de produto forem reprovadas, o lote deve ser avaliado em uma 2ª amostragem;
3. se sete ou mais unidades de produto forem reprovadas, o lote deve ser rejeitado. Neste caso, a inspeção deve ser encerrada, rejeitando-se o lote conforme 5.3;

Análise em 2ª amostragem (caso necessário):

Devem ser analisadas as demais 32 unidades de produto, totalizando um tamanho de amostra acumulado de 64 unidades de produto:

1. se até oito unidades de produto, entre as 64 unidades de produto avaliadas no total, forem reprovadas, o lote deve ser aceito;
2. se nove ou mais unidades de produto, entre as 64 unidades de produto avaliadas no total, forem reprovadas, o lote deve ser rejeitado. Neste caso, a inspeção deve ser encerrada, rejeitando-se o lote conforme 5.3;

b) ensaios destrutivos dos tubos de PRFV:

Pela Tabela 15, para os ensaios destrutivos dos tubos, a amostragem é definida conforme a Tabela L.2.

Tabela L.2 — Amostragem para os ensaios destrutivos

Tamanho do lote (convertido para unidades de produto)	Amostragem	Tamanho da amostra acumulado	Aceitação	Rejeição
400	1ª	5	0	2
	2ª	10	1	2

Desta forma, para realização dos ensaios destrutivos, devem ser reservadas 10 unidades de produto (45 m de tubo), cinco unidades de produto para verificação em 1ª amostragem e cinco unidades de produto para verificação em 2ª amostragem, caso esta seja necessária.

Análise em 1ª amostragem:

1. se todas as unidades de produto forem aprovadas, o lote deve ser aceito;

2. se uma unidade de produto for reprovada, o lote deve ser avaliado em uma 2ª amostragem;
3. se duas ou mais unidades de produto forem reprovadas, o lote deve ser rejeitado. Neste caso, a inspeção deve ser encerrada, rejeitando-se o lote conforme 5.3.

Análise em 2ª amostragem (caso necessário):

Devem ser analisadas as demais cinco unidades de produto, totalizando um tamanho de amostra acumulado de 10 unidades de produto:

1. se até uma unidade de produto, entre as dez unidades de produto avaliadas no total, for reprovada, o lote deve ser aceito;
2. se duas ou mais unidades de produto, entre as dez unidades de produto avaliadas no total, forem reprovadas o lote deve ser rejeitado. Neste caso, a inspeção deve ser encerrada, rejeitando-se o lote conforme 5.3.

L.2.4 Realização dos ensaios não destrutivos dos tubos

Para o exemplo aplicado, deve-se extrair do lote uma amostra composta por 64 unidades de produto (288 m de tubo), 32 unidades de produto (144 m) para verificação em 1ª amostragem e 32 unidades de produto (144 m) para realização de uma 2ª amostragem, caso esta seja necessária.

Desta forma, inicialmente deve-se realizar as análises visual e dimensional em 32 unidades de produto:

Unidade de produto = (3 x 1,5) m

32 unidades de produto = 32 x (3 x 1,5) = 144 m (no caso, como os tubos têm 6 m de comprimento útil, 24 tubos serão examinados em 1ª amostragem).

Em função de sua caracterização conforme 5.1, os lotes dos tubos devem ser submetidos ao ensaio de estanqueidade dos tubos indicado em 4.1.8 ou ao ensaio hidrostático de resistência à tração circunferencial (Anexo D - método B) indicado em 4.1.10. Se for realizado o ensaio de estanqueidade dos tubos, este deve ser também realizado nestas 32 unidades de produto.

O ensaio de estanqueidade dos tubos pode ser realizado em segmentos de tubo ou no tubo inteiro. No caso da realização do ensaio no tubo inteiro, deve-se assegurar que o comprimento total relativo ao número de tubos ensaiados (em metros) seja igual ou superior ao exigido para o tamanho da amostra em múltiplos de unidade de produto (em metros). Para o exemplo aplicado poderiam ser ensaiados quanto à estanqueidade 24 tubos inteiros ou 96 segmentos de 1,5 m.

Caso seja, em função de sua caracterização conforme 5.1, realizado o ensaio hidrostático de resistência à tração circunferencial (Anexo D - método B), a inspeção deve prosseguir para os ensaios destrutivos, após a análise de aceitação ou rejeição do lote em relação aos resultados obtidos para a análise visual e as verificações dimensionais.

NOTA A análise de aceitação ou rejeição de lote deve ser realizada em função de unidades de produto, portanto de comprimento. Neste caso deve ser verificado o número de unidades de produto defeituosas determinado pelo quociente do comprimento equivalente aos tubos reprovados nos exames e o comprimento de uma unidade de produto.

L.2.4.1 Análise de resultados em 1ª amostragem e operacionalização do fluxograma de ensaios/verificações

Durante a realização dos ensaios não destrutivos descritos em 5.2, deve ser analisada a condição do lote conforme 6.3 para operacionalização do fluxograma de ensaios/verificações, considerando que uma unidade de produto que tenha sido reprovada em qualquer um destes ensaios/verificações será considerada unidade defeituosa na avaliação de aceitação/rejeição. Abaixo são apresentados exemplos das três situações possíveis neste caso, considerando os ensaios nas 32 unidades de produto iniciais (1ª amostragem).

Situação 1 – Lote liberado para realização dos ensaios destrutivos dos tubos de PRFV

Conforme L.2.3 (a), no máximo até três unidades de produto podem estar defeituosas na amostra submetida aos ensaios não destrutivos para que o lote seja aceito na inspeção. Tem-se:

1. três unidades de produto = $3 \times (3 \times 1,5) = 13,5 \text{ m}$

Portanto, entre os 24 tubos examinados (32 unidades de produto), se na análise dos resultados até dois tubos apresentarem não-conformidade em relação ao conjunto dos ensaios não destrutivos (análise visual, verificações dimensionais e ensaio de estanqueidade, caso este tenha sido realizado), o lote será liberado para realização dos ensaios destrutivos dos tubos de PRFV. Um exemplo da situação 1 é apresentado na Tabela L.3.

Tabela L.3 — Exemplo da situação 1

Requisito/Unidade de produto	1	2	3	4	5 a 19	20	21 a 31	32
Análise visual	A	R	A	A	A	A	A	A
Verificação dimensional	A	R	A	A	A	A	A	A
Estanqueidade dos tubos**	A	*	A	A	A	R	A	R
Resultado final	A	R	A	A	A	R	A	R

* Ensaio não realizado.
 **Realização condicionada à caracterização conforme 5.1.

Situação 2 – Lote que necessita de uma 2ª amostragem

Conforme L.2.3 (a), se, na análise dos resultados, quatro a seis unidades de produto apresentarem defeitos em relação à amostra examinada, será necessária a avaliação da 2ª amostragem. Tem-se:

1. quatro unidades de produto = $4 \times (3 \times 1,5) = 18 \text{ m}$
2. seis unidades de produto = $6 \times (3 \times 1,5) = 27 \text{ m}$

Portanto, entre os 24 tubos examinados (32 unidades de produto), se três a cinco tubos apresentarem não-conformidade em relação ao conjunto dos ensaios não destrutivos (análise visual, verificações dimensionais e ensaio de estanqueidade, caso este tenha sido realizado), conforme L.2.3 (a), será necessário fazer uma nova série de exames nas 32 unidades de produto restantes (24 tubos), para novo posicionamento em relação ao lote, que ao final desta série será aceito ou rejeitado, conforme nova análise de resultados em 2ª amostragem. Um exemplo da situação 2 é apresentado na Tabela L.4.

Tabela L.4 — Exemplo da situação 2

Requisito/Unidade de produto	1	2	3	4	5 a 19	20	21 a 31	32
Análise visual	A	R	R	A	A	A	A	A
Análise dimensional	A	R	*	A	A	A	A	A
Estanqueidade dos tubos**	A	*	*	A	A	R	A	R
Resultado final	A	R	R	A	A	R	A	R

* Ensaio não realizado.
 **Realização condicionada à caracterização conforme 5.1.

Exemplar autorizado para uso exclusivo - EDRA DO BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO LTDA. - 45.773.967/0001-44

Situação 3 – Lote rejeitado na inspeção por recebimento

Conforme L.2.3 (a), se sete ou mais unidades de produto estiverem defeituosas em relação à amostra examinada, o lote deve ser rejeitado na inspeção por recebimento. Tem-se:

1. sete unidades de produto = $7 \times (3 \times 1,5) = 31,5 \text{ m}$

Portanto, entre os 24 tubos examinados, se seis ou mais tubos apresentarem não-conformidade em relação ao conjunto dos ensaios não destrutivos (análise visual, verificações dimensionais e ensaio de estanqueidade, caso este tenha sido realizado), o lote será rejeitado na inspeção por recebimento, conforme L.2.3 (a). Um exemplo da situação 3 é apresentado na Tabela L.5.

Tabela L.5 — Exemplo da situação 3

Requisito/Unidade de produto	1	2	3	4	5	6 a 19	20	21 a 31	32
Análise visual	A	R	R	A	A	A	A	A	A
Análise dimensional	A	R	*	R	A	A	A	A	A
Estanqueidade dos tubos**	R	*	*	*	R	A	R	A	R
Resultado final	R	R	R	R	R	A	R	A	R
* Ensaio não realizado.									
**Realização condicionada à caracterização conforme 5.1.									

L.2.5 Realização dos ensaios destrutivos dos tubos

Conforme 5.3, os lotes que forem aprovados quanto aos ensaios previstos em 5.2 na análise realizada conforme 6.3 (ver situação 1 de L.2.4.1) devem ser submetidos aos ensaios destrutivos. Os ensaios destrutivos devem ser realizados na amostra definida na Tabela 15, conforme 6.2, que deve ser extraída entre as unidades de produto aprovadas quanto aos ensaios não destrutivos.

Desta forma, para o exemplo aplicado deve-se extrair entre as unidades de produto aprovadas quanto aos ensaios não destrutivos uma amostra composta por dez unidades de produto (45 m de tubo), cinco unidades de produto para verificação em 1ª amostragem e cinco unidades de produto para realização de uma 2ª amostragem, caso esta seja necessária. Antes da realização dos ensaios destrutivos, as unidades de produto são identificadas de modo a garantir a rastreabilidade de todas as informações e operacionalização do fluxograma de ensaios, dado que na reprovação de qualquer um dos ensaios a unidade de produto deve ser reprovada, não havendo necessidade da realização dos ensaios subseqüentes, caso aplicável.

L.2.5.1 Ensaio de determinação da classe de rigidez

Conforme 5.3.1, somente as unidades de produto aprovadas nos ensaios não destrutivos dos tubos devem ser submetidas ao ensaio de determinação da classe de rigidez. De qualquer um dos corpos-de-prova de cada uma das unidades de produto aprovadas quanto aos ensaios não destrutivos devem ser extraídos os corpos-de-prova para realização do ensaio de determinação da classe de rigidez.

L.2.5.2 Ensaio de resistência à tração axial

Conforme 5.3.2, somente as unidades de produto aprovadas quanto ao requisito de determinação da classe de rigidez devem ser submetidas ao ensaio de resistência à tração axial. De qualquer um dos corpos-de-prova de cada uma das unidades de produto aprovadas quanto aos ensaios não destrutivos devem ser extraídos os corpos-de-prova para realização do ensaio de resistência à tração axial.

Tabela L.8 — Exemplo da situação 3 – Lote rejeitado

Requisito/Unidade de produto	1	2	3	4	5
Determinação da classe de rigidez	A	A	A	A	R
Resistência à tração axial	A	A	R	*	*
Resistência à tração circunferencial	*	*	*	*	*
Resultado final	A**	A**	R	A**	R
* Ensaio não realizado.					
** Análise parcial.					

Análise do exemplo apresentado na Tabela L.8: Como duas unidades de produto foram consideradas defeituosas, conforme L.2.3 (b), a inspeção por recebimento deve ser encerrada e o lote considerado rejeitado.

L.2.6 Aceitação/rejeição do lote

A análise de aceitação ou rejeição do lote deve ser realizada conforme 6.3. O lote aceito deve ser liberado pelo inspetor para que sejam procedidos os trâmites necessários quanto à entrega do lote ao comprador.

L.2.7 Relatório de inspeção

Deve ser elaborado ao final do processo de inspeção um relatório com o posicionamento em relação à aceitação ou rejeição do lote, conforme 5.4.

L.2.5.3 Ensaio de resistência à tração circunferencial

Conforme 5.3.3, somente as unidades de produto aprovadas quanto ao requisito de resistência à tração axial devem ser submetidas ao ensaio de resistência à tração circunferencial. De qualquer um dos corpos-de-prova de cada uma das unidades de produto aprovadas quanto aos ensaios não destrutivos devem ser extraídos os corpos-de-prova para realização do ensaio de resistência à tração circunferencial.

Em função da caracterização conforme 5.1, caso seja realizado o ensaio hidrostático de resistência à tração circunferencial (Anexo D - método B), os ensaios destrutivos devem ser iniciados por este ensaio, sendo este realizado na fábrica.

L.2.5.4 Análise de resultados em 1ª amostragem e operacionalização do fluxograma de ensaios

Durante a realização dos ensaios descritos em 5.3.1 a 5.3.3, será analisada a condição do lote conforme 6.3 para operacionalização do fluxograma de ensaios, considerando que uma unidade de produto que tenha sido reprovada em qualquer um destes ensaios será considerada unidade defeituosa na avaliação de aceitação/rejeição. Nas Tabelas L.6, L.7 e L.8 são apresentados exemplos das três situações possíveis em relação a análise de resultados, considerando todos os ensaios nas cinco unidades de produto iniciais (1ª amostragem). Destaca-se que, como os ensaios destrutivos previstos em 5.3 são realizados após a aprovação do lote nos ensaios não destrutivos previstos em 5.2 e que o lote aprovado em relação ao conjunto dos ensaios destrutivos é aceito na inspeção por recebimento.

Tabela L.6 — Exemplo da situação 1 – Lote aceito na inspeção por recebimento

Requisito/Unidade de produto	1	2	3	4	5
Determinação da classe de rigidez	A	A	A	A	A
Resistência à tração axial	A	A	A	A	A
Resistência à tração circunferencial	A	A	A	A	A
Resultado final	A	A	A	A	A

Análise do exemplo apresentado na Tabela L.6: Como nenhuma unidade de produto foi considerada defeituosa, conforme L.2.3 (b), o lote deve ser aceito na inspeção por recebimento.

Tabela L.7 — Exemplo da situação 2 – Lote que necessita de 2ª amostragem

Requisito/Unidade de produto	1	2	3	4	5
Determinação da classe de rigidez	A	A	A	A	A
Resistência à tração axial	A	A	R	A	A
Resistência à tração circunferencial	A	A	*	A	A
Resultado final	A	A	R	A	A
* Ensaio não realizado.					

Análise do exemplo apresentado na Tabela L.7: Como uma unidade de produto foi considerada defeituosa, conforme L.2.3 (b), será necessário fazer uma nova série de ensaios nas cinco unidades de produto restantes, para novo posicionamento em relação ao lote que ao final desta série pode ser aceito ou rejeitado na inspeção por recebimento, conforme nova análise de resultados em 2ª amostragem.

Exemplar autorizado para uso exclusivo - EDRA DO BRASIL INDUSTRIA E COMÉRCIO LTDA. - 45.773.967/0001-44

Anexo M (normativo)

Metodologia para comprovação da composição dos tubos de PRFV

M.1 Princípio

Este Anexo define a metodologia a ser utilizada nas avaliações dos parâmetros dos tubos de PRFV especificados em 7.2 quanto à caracterização do produto.

M.2 Avaliação dos parâmetros da composição dos tubos

M.2.1 Espessura

As espessuras do núcleo, da parede interna, da parede externa, do liner e da barreira de corrosão dos tubos podem ser medidas com o comparador óptico descrito em A.3.1 ou um paquímetro conforme A.2.1, da seguinte forma:

- cortar a parede do tubo ou conexão perpendicularmente a uma geratriz qualquer;
- umedecer com água a parede cortada para facilitar a visualização das camadas;
- fazer a medição.

Não é possível medir essas espessuras sem cortar a parede do tubo. A espessura total, porém, pode ser medida sem cortar o tubo, conforme A.2, ou usando métodos de ultra-som/magnéticos. Os medidores de ultra-som trabalham com baixas frequências e são desenhados especialmente para fazer medições em compósitos. Eles dão as espessuras com rapidez, sem necessidade de acessar os dois lados do laminado. Para maior precisão, eles devem ser calibrados com laminados do mesmo material (extremidade do tubo) e de espessura conhecida. Os medidores eletromagnéticos são muito precisos, mas exigem acesso aos dois lados do laminado.

M.2.2 Ângulo de enrolamento

O ângulo de enrolamento das fibras contínuas tem grande influência nas propriedades longitudinais e circunferenciais do tubo. Ele pode ser medido com transferidor. Algumas vezes pode ser difícil visualizar e medir o ângulo de enrolamento diretamente nos tubos. Nesses casos a medição pode ser feita copiando em papel as marcas que indicam as direções das fibras. Essas marcas podem ser obtidas esfregando a ponta de lápis sobre uma folha de papel colocada na superfície externa do tubo.

Existem casos onde esta forma de medição é dificultada. Nestas situações é indicado cortar um pedaço do tubo, marcar a orientação do eixo do tubo, promover a queima da amostra utilizando uma mufla, com temperatura de queima superior a 650 °C, e realizar a medição do ângulo de enrolamento de cada camada de filamentos.

M.2.3 Número de camadas

O número de camadas de fibras de vidro pode ser determinado inspecionando o resíduo da queima de um pedaço do tubo. A queima deixa intactas as camadas de fibras que podem ser separadas, permitindo a medição das gramaturas, em gramas por metro quadrado, e das orientações das fibras contínuas.

M.2.4 Teores de fibras, de resina e de areia

Esses teores podem ser determinados de acordo com o Anexo A da ABNT NBR 13212:2004, modificado para incluir o teor de areia. A separação entre fibra de vidro e areia é realizada usando pinças através de um peneiramento e a determinação dos respectivos teores é obtida pela pesagem de cada fase separadamente.

M.2.5 Tipo de resina

A resina usada para fazer o tubo pode ser identificada comparando seu espectro de absorção de raios infravermelhos com os espectros de resinas de composições conhecidas.

Anexo N (normativo)

Efeito sobre água – Estireno residual

N.1 Princípio

Este ensaio destina-se a determinar a concentração de estireno residual na matéria plástica do tubo de poliéster reforçado com fibra de vidro.

N.2 Aparelhagem

N.2.1 Cromatógrafo a gás com detector de ionização de chama ou equipamento equivalente e acessórios necessários para a realização de análise cromatográfica.

NOTA Um procedimento que pode ser utilizado para a análise cromatográfica está descrito no Anexo XII da Resolução nº 105, da ANVISA.

N.2.2 Balança com resolução de 0,0001 g.

N.2.3 Balão volumétrico de 10 mL.

N.2.4 Balão volumétrico de 25 mL.

N.3 Preparação dos corpos-de-prova

A amostra a ser ensaiada é constituída por fragmentos de (10 ± 2) mm x (2 ± 1) mm, cortados de uma placa de (40×40) mm, com (2 ± 1) mm de espessura, extraída da superfície interna do tubo de poliéster reforçado com fibra de vidro.

N.4 Procedimento

N.4.1 Preparação dos padrões

Pesar 15 mm³ (μ L) de monômero de estireno redestilado em um balão volumétrico de 25 mL. Completar o volume com diclorometano (redestilado). Efetuar as diluições necessárias em função de teor de estireno na amostra.

N.4.2 Preparação das amostras

Transferir exatamente cerca de 0,3000 g da amostra preparada conforme descrito em O.3.1 para um balão volumétrico de 10 mL, completando o volume com diclorometano (redestilado). Agitar o balão manualmente por 2 min e deixar em repouso por 30 min, à temperatura ambiente. Após este período, separar o sobrenadante por decantação e realizar imediatamente a análise cromatográfica.

N.4.3 Análise cromatográfica

Construir a curva-padrão com as soluções-padrão e realizar a análise cromatográfica da amostra nas mesmas condições. Calcular o teor de estireno presente na amostra original, expressando o resultado em miligramas por quilograma de amostra de plástico reforçado com fibra de vidro.

N.5 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) características do tubo ensaiado, isto é, marca e tipo de resina utilizada no liner, teor de carga e teor de fibra eventualmente presentes no liner;
- c) teor de estireno na amostra;
- d) data de realização do ensaio;
- e) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo O (normativo)

Efeito sobre água – Migração específica

O.1 Princípio

Este Anexo tem a finalidade de determinar as concentrações de estireno e diclorometano que migram para a água pelo contato desta com corpos-de-prova do tubo de poliéster reforçado com fibra de vidro, por 24 h, em temperatura de 40 °C.

O.2 Reagentes

- O.2.1 Água destilada ou deionizada.
- O.2.2 Soluções-padrão de estireno.
- O.2.3 Soluções-padrão de diclorometano.

O.3 Aparelhagem

- O.3.1 Recipiente metálico ou de vidro ou de plástico que não contenha estireno ou diclorometano, com dimensões aproximadas de (30 x 30 x 5) cm.
- O.3.2 Bastões de vidro ou outro material inerte, que possam servir de apoio para os corpos-de-prova.
- O.3.3 Estufa não ventilada que possa ser mantida a (40 ± 2) °C.
- O.3.4 Cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama ou equipamento equivalente e acessórios necessários para a realização de análise cromatográfica, colunas, gases etc.
- O.3.5 Vidraria usual de laboratório.

O.4 Preparação dos corpos-de-prova

- O.4.1 Os corpos-de-prova a serem ensaiados são tiras, com a maior dimensão na direção axial, de (40 ± 2) mm x (250 ± 10) mm, extraídas do tubo de poliéster reforçado com fibra de vidro.
- O.4.2 Devem ser ensaiados seis corpos-de-prova.

O.5 Procedimento

- O.5.1 Transferir 1 200 mL de água destilada ou deionizada para o recipiente descrito em O.3.1. Colocar neste recipiente os bastões de vidro ou outro material que possa servir de apoio para todos os corpos-de-prova preparados conforme descrito em O.2.1.

O.5.2 Colocar os corpos-de-prova sobre o apoio, com a face que corresponde à face interna do tubo de poliéster em contato com a água. A face externa dos corpos-de-prova não deve entrar em contato com a água. Nesta condição há uma relação de 0,5 entre a superfície de ensaio (600 cm²) e o volume de água (1 200 mL).

O.5.3 Cobrir este recipiente com papel-alumínio ou outra cobertura adequada e colocar em estufa a 40 °C. Manter os corpos-de-prova na estufa por 24 h, completando o volume de água se ocorrer evaporação.

O.5.4 Após as 24 h retirar os corpos-de prova do recipiente, lavar com cerca de 10 mL de água destilada ou deionizada a face que esteve em contato com a água, sendo a água de lavagem recolhida no próprio recipiente. Homogeneizar esta solução e transferir uma alíquota para um recipiente que possa ser vedado. Esta solução é a que deve ser usada para as determinações de estireno e diclorometano.

O.5.5 Preparar curvas-padrão de diclorometano e de estireno e determinar a concentração destes compostos na solução que esteve em contato com os corpos-de-prova por cromatografia gasosa.

O.5.6 Realizar um ensaio em branco, com todas as etapas desde O.5.1, apenas sem a utilização dos corpos-de-prova. Descontar os teores de estireno e de diclorometano obtidos no ensaio em branco dos resultados obtidos com a amostra.

O.5.7 Calcular a concentração de estireno e de diclorometano na água que ficou em contato com a amostra, em microgramas por litro. Estes resultados representam a migração específica destes compostos para a água.

O.6 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da amostra (DN, classe de pressão, classe de rigidez e código de rastreabilidade);
- b) características do tubo ensaiado, isto é, marca e tipo de resina utilizada no liner, teor de carga e teor de fibra eventualmente presentes no liner;
- c) espessura do liner;
- d) concentrações, se houver, de estireno e diclorometano na água ensaiada;
- e) referência à alteração ou não nas características sensoriais da água, tais como coloração visível ou odor estranhos;
- f) data de realização do ensaio;
- g) referência a esta parte da ABNT NBR 15536.

Anexo P (normativo)

Requisitos para avaliação do liner de PVC

P.1 Princípio

Este Anexo apresenta os requisitos para avaliação do desempenho do liner de PVC utilizado na fabricação dos tubos de PRFV.

P.2 Espessura ✓

O liner deve ter a espessura indicada na Tabela 10, em função do diâmetro nominal. O ensaio deve ser realizado de acordo com a ABNT NBR NM 85.

P.3 Teor de cinzas ↙

O composto empregado na fabricação do liner de PVC deve ter o teor de cinzas de no máximo 5,0 %.

O ensaio deve ser realizado em corpos-de-prova obtidos a partir do liner, de acordo com a ABNT NBR NM 84 – Método A, na temperatura de $(1050 \pm 50) ^\circ\text{C}$.

P.4 Temperatura de amolecimento "Vicat" ↙

O composto empregado na fabricação do liner de PVC deve ter ponto de amolecimento "Vicat" maior ou igual a $80 ^\circ\text{C}$. O ensaio deve ser realizado em corpos-de-prova obtidos a partir do liner, de acordo com a ABNT NBR NM 82.

P.5 Densidade ↙

O composto empregado na fabricação do liner de PVC deve ter densidade na faixa de $1,40 \text{ g/cm}^3$ a $1,55 \text{ g/cm}^3$, medida na temperatura de $20_{-2}^{+3} ^\circ\text{C}$. O valor especificado pelo fabricante do composto, em relação ao resultado do ensaio, pode ter variação máxima de $0,05 \text{ g/cm}^3$.

O ensaio deve ser realizado em corpos-de-prova obtidos a partir do liner, de acordo com a ABNT NBR NM 83.

P.6 Estabilidade dimensional

Os corpos-de-prova do liner, quando submetidos à temperatura de $(140 \pm 4) ^\circ\text{C}$, em banho termoequilizado ou estufa, devem apresentar variação longitudinal menor ou igual a 5 %.

P.7 Efeito sobre a água

No caso dos tubos de PRFV utilizados para adução de água, o composto empregado na fabricação do liner de PVC não deve transmitir à água de extração quantidades de metais acima dos limites estabelecidos a seguir:

- a) na água da primeira extração, quantidade máxima de chumbo de 1 ppm;
- b) na água da terceira extração, quantidade máxima de chumbo de 0,3 ppm;
- c) na água da terceira extração, quantidade máxima de estanho de 0,05 ppm;
- d) na água das três extrações, quantidades médias máximas, individuais, de cádmio e mercúrio de 0,05 ppm.

O ensaio deve ser realizado em corpos-de-prova obtidos a partir do liner, de acordo com a ABNT NBR 8219.

NOTA Este ensaio não tem como objetivo avaliar a potabilidade da água para consumo humano, que deve atender a regulamentações específicas.

P.8 Resistência ao cloreto de metileno (grau de gelificação)

No caso dos tubos de PRFV que utilizem liner de PVC com espessura superior ou igual a 4 mm, os corpos-de-prova do liner, quando submetidos à temperatura de $(15 \pm 1) ^\circ\text{C}$, em banho de cloreto de metileno durante (30 ± 1) min, devem apresentar-se isentos de ataque em qualquer região da superfície chanfrada.

O ensaio deve ser realizado conforme o Anexo C da ABNT NBR 7665:2007.

Anexo Q (informativo)

Controle do processo de fabricação dos tubos

Q.1 Princípio

Este Anexo apresenta uma recomendação em relação aos requisitos que devem ser avaliados no controle do processo de fabricação dos tubos de PRFV.

Q.2 Verificação do controle do processo de fabricação

Q.2.1 O fabricante deve apresentar ao comprador ou seu representante os documentos do seu controle do processo de fabricação, tais como procedimentos e relatórios, cuja exibição deve ser objeto de acordo prévio.

Q.2.2 O comprador ou seu representante deve avaliar o controle do processo de fabricação e os recursos técnicos empregados durante a fabricação dos tubos de PRFV, de acordo com os requisitos estabelecidos nesta Norma.

Q.3 Ensaios durante a fabricação

O fabricante deve efetuar durante a fabricação os ensaios de acordo com o indicado na Tabela Q.1 para controle do seu processo de fabricação.

Tabela Q.1 — Ensaios do controle do processo de fabricação

Propriedade	Amostragem	Requisito	Periodicidade
Aspectos visuais	100%	4.1.4	-
Acabamentos	100%	4.1.5	-
Verificação da estanqueidade	100% para os tubos previstos na Tabela 12	4.1.8	-
Dimensões	Tabela 14	4.1.6 e 4.2.5	A cada lote
Resistência à tração circunferencial	Tabela 15	4.1.10	A cada lote
Resistência à tração axial	Tabela 15	4.1.11	A cada lote
Verificação da classe de rigidez	Tabela 15	4.1.12	a cada lote
Verificação do efeito sobre água	Tabela 15	4.1.14	a cada lote
Resistência à pressão hidrostática de longa duração	Uma amostra	4.1.7	Uma vez por projeto (qualificação)
Deformação por compressão circunferencial de longa duração	Uma amostra	4.1.9	Uma vez por projeto (qualificação)
Resistência à compressão axial	Uma amostra	4.1.13	Uma vez por projeto (qualificação)
Verificação da estanqueidade da junta	Uma amostra	4.2.6	Uma vez por projeto (qualificação)