

ABR 98	abpe/E001	
Tubos de polietileno PE		
Especificação		
Origem: ISO 4427/96 abpe - associação brasileira de tubos poliolefínicos e sistemas CTPE - Comissão Técnica de Polietileno abpe/E001 - Polyethylene (PE) pipes - Specification Descriptor: Polyethylene Pipes Válida a partir de: 07/04/98		
Palavra Chave: Tubos de polietileno	32 páginas	

SUMÁRIO

1. OBJETIVO
2. REFERÊNCIAS NORMATIVAS
3. DEFINIÇÕES
4. REQUISITOS
5. ENSAIOS E PERIODICIDADES
6. INSPEÇÃO
7. AUDITORIA OU QUALIFICAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE
8. ENSAIOS E RECEBIMENTO DE LOTES

ANEXOS

- A CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE TUBOS DE POLIETILENO PE (NORMATIVO)
- B CONDIÇÕES PARA USO DE MATERIAL REPROCESSADO (NORMATIVO)

1 OBJETIVO

Esta Norma fixa as condições exigíveis para tubos de polietileno destinados a aplicações gerais a temperaturas de até 50°C, respeitados os limites de temperatura das aplicações específicas.

Esta norma aplica-se a tubos de diâmetro externo nominal (DE) de 20 a 1600 nas classes de pressão nominal de 3,2 (0,32 MPa); 4 (0,4 MPa); 5 (0,5MPa); 6 (0,6 MPa); 8 (0,8 MPa); 10 (1 MPa); 12,5 (1,25 MPa), 16 (1,6 MPa) e 20 (2 MPa), desde que respeitadas as classes de pressão determinadas pelas respectivas normas de uso específico.

Os tubos de polietileno PE devem ser produzidos com matérias primas específicas que atendam as exigências desta Especificação. Os compostos de polietileno PE utilizados devem atender à classificação PE 63, PE 80 ou PE 100.

Esta Especificação deve ser adotada como base preponderante das especificações relativas às diversas aplicações de tubos de polietileno, acrescentando-se os aspectos de qualidade necessários à exigência da aplicação.

2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma Técnica. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usar as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABPE possui registro das normas em vigor em um dado momento.

- abpe/M001** - Plásticos - Determinação da densidade por deslocamento - Método de ensaio
- abpe/M002** - Tubos, conexões e composto de polietileno PE - Determinação do tempo de oxidação indutiva - Método de ensaio
- abpe/M003** - Tubos de polietileno PE - Verificação das dimensões - Método de ensaio
- abpe/M004** - Tubos de polietileno PE - Verificação da resistência à tração - Método de ensaio.
- abpe/M005** - Tubos de polietileno PE - Verificação da resistência à pressão hidrostática interna
Método de Ensaio
- abpe/M006** - Tubos de polietileno PE - Determinação da retração circunferencial - Método de ensaio
- abpe/M007** - Tubos de polietileno PE - Verificação da resistência ao esmagamento
Método de ensaio
- abpe/M008** - Tubos de polietileno PE - Verificação da estabilidade dimensional - Método de ensaio
- abpe/M009** - Composto de polietileno PE - Verificação da dispersão de pigmentos - Método de ensaio
- abpe/M010** - Composto de polietileno PE - Determinação do teor de negro de fumo
Método de ensaio
- abpe/M011** - Tubos de polietileno PE - Determinação da tensão residual de resfriamento
Método de ensaio
- abpe/M012** - Compostos de polietileno PE - Verificação da resistência ao intemperismo
Método de ensaio.
- abpe/P004** - Tubos e conexões de polietileno PE - Execução de solda de topo por termofusão
Procedimento.
- NBR 9023** - Termoplásticos - Determinação do índice de fluidez - Método de Ensaio
- NBR 9622** - Plásticos - Determinação das propriedades mecânicas à tração - Método de ensaio
- NBR 11931** - Plásticos - Determinação da densidade pelo método do gradiente de densidade
Método de ensaio
- ISO 1183** - Plastics - Method for determining the density and relative density of non-cellular plastics.
- DIN/ISO 1133** - Plastics - Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume flow-rate (MVR) of thermoplastics.
- ISO TR 9080** - Thermoplastics pipes for the transport of fluids - Standard extrapolation method for the long term resistance to constant internal pressure.
- ISO 12162** - Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications pipes
Classification and designation - overall service (design coefficient)
- ISO 11922-1** - Thermoplastics pipes for the transport of fluids - Dimensions and tolerances.
Metric series.
- ISO 4427** - Polyethylene (PE) pipes for water supply - Specifications
- ISO 4437** - Buried polyethylene (PE) pipes for the supply of gaseous fuels

3 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma Brasileira, aplicam-se as definições de 3.1 a 3.15.

3.1 COMPOSTO DE POLIETILENO PE

Material fabricado com polímero base de polietileno contendo os aditivos e o pigmento necessários à fabricação de tubos de polietileno, conforme esta especificação.

3.2 DIÂMETRO EXTERNO MÉDIO (dem)

Razão entre o perímetro externo do tubo, em mm, pelo número 3,142, arredondado para o 0,1 mm mais próximo.

3.3 DIÂMETRO EXTERNO NOMINAL (DE)

Simple número que serve para classificar em dimensões os elementos de tubulações (tubos, juntas, conexões e acessórios) e que corresponde aproximadamente ao diâmetro externo do tubo em mm. Não deve ser objeto de medição.

3.4 ESPESSURA MÍNIMA DE PAREDE (e)

Menor espessura, em milímetros, no perímetro em uma seção qualquer do tubo.

3.5 MASTER BATCH

Concentrado fabricado com resina base de polietileno e pigmento destinado a ser misturado à resina base pelo fabricante de composto para obter-se tubo na cor desejada, com as características necessárias a atender esta especificação.

3.6 MÁXIMA PRESSÃO DE OPERAÇÃO (MPO)

Máxima pressão em MPa que a tubulação deve suportar em serviço contínuo conduzindo fluido na temperatura de até 50°C.

3.7 OVALIZAÇÃO DO TUBO

Diferença, em milímetros, entre os valores máximo e mínimo do diâmetro externo do tubo.

3.8 PRESSÃO HIDROSTÁTICA INTERNA

Pressão radial aplicada por um fluido ao longo de toda parede do tubo.

3.9 PRESSÃO NOMINAL (PN)

Máxima pressão de água que os tubos, conexões e respectivas juntas, podem ser submetidas em serviço contínuo, nas condições de temperatura de operação de até 25°C.

3.10 RESINA BASE DE POLIETILENO PE

Material fabricado com polímero base de etileno contendo os aditivos, exceto o pigmentos, necessários à fabricação de tubos de polietileno, conforme esta especificação.

3.11 RUPTURA DÚCTIL

Ruptura dúctil é aquela que ocorre com deformação plástica do material.

3.12 RUPTURA FRÁGIL

A ruptura frágil é aquela que ocorre sem deformação plástica do material.

3.13 TENSÃO CIRCUNFERENCIAL (σ)

Tensão tangencial presente ao longo de toda parede do tubo decorrente da aplicação da pressão hidrostática interna.

3.14 TUBO DE POLIETILENO PE

Tubo fabricado com composto de polietileno PE.

3.15 LOTE DE FABRICAÇÃO

Fabricação contínua, num regime de até 168 horas, de tubos de mesmo diâmetro externo nominal (DE) e espessura, que tenham as mesmas características, produzidos na mesma máquina, com um mesmo lote de composto.

3.15.1 Qualquer não conformidade nos ensaios ou processo produtivo é motivo suficiente para mudança de designação do lote.

3.15.2 A designação do lote deve contemplar um indicador relativo ao mês e ano da fabricação.

3.15.3 A designação do lote deve permitir identificar o composto, seu número de lote, se o material é reprocessado, sua identificação e teor misturado ao material virgem, quantitativos, parâmetros de produção e resultados de ensaios.

4 REQUISITOS

4.1 RESINA BASE DE POLIETILENO PE

4.1.1 Densidade

4.1.1.1 A densidade da resina base de polietileno PE, deve ser superior a $0,930 \text{ g/cm}^3$, na temperatura de 23°C .

4.1.1.2 O ensaio deve ser realizado conforme ABNT NBR 11931, ou abpe/M001, ou ISO 1183.

4.2 COMPOSTO

Os tubos devem ser produzidos por processo de extrusão com composto de polietileno PE, conforme 4.2.1 a 4.2.12, contendo somente os aditivos necessários para atender as exigências desta Norma e uso do tubo, incluindo processabilidade e soldabilidade.

O master batch e os aditivos devem estar total e adequadamente dispersos na massa do tubo. O pigmento e o sistema de aditivação devem minimizar a mudança de cor e das propriedades dos tubos durante sua exposição às intempéries, no manuseio e estocagem de obra e após longos períodos enterrados.

O composto deve ser adequado ao transporte do fluido não incorrendo em qualquer alteração de características desse fluido, que comprometa sua utilização.

O composto pode ser obtido pela mistura de *master batch* a resina base de polietileno PE, tal que a massa do tubo resulte homogênea, com os aditivos bem dispersos, nas proporções adequadas e isento de impurezas e livre de excesso de humidade.

Somente é permitido o uso de material reprocessado e moído gerado na fabricação de tubos de polietileno conforme esta Norma, desde que advenha da própria fabricação do transformador e se apresente isento de

impurezas. Se misturado ao material virgem, deve ser do mesmo composto de origem.

Quando usados sob condições para as quais foram dimensionados, os compostos de polietileno PE em contato com água potável não podem constituir efeitos tóxicos, não propiciar desenvolvimento de microorganismos, nem transmitir gosto, odor, ou opacidade à água.

4.2.1 Cor do composto de polietileno PE

A cor do composto é definida por norma específica da aplicação do tubo.

Para aplicações específicas, a cor do tubo deve ser definida entre o fornecedor e o usuário, desde que sejam consideradas a aplicação do tubo, a resistência aos raios ultravioleta (UV) e as conseqüências do pigmento utilizado sobre o fluido transportado e a resistência do tubo.

4.2.2 Compostos de polietileno PE pretos

O composto deve ser pigmentado com negro de fumo disperso homogênea e adequadamente, e que contemple as seguintes características:

- conteúdo na massa do composto: $(2,5 \pm 0,5)\%$
- tamanho médio das partículas: $\leq 25 \text{ }\mu\text{m}$

4.2.3 Compostos de polietileno PE não pretos

O composto deve ser aditivado com absorvedores e estabilizantes que não comprometam o fluido transportado e assegurem suas propriedades, quando expostos a intempéries, conforme 4.2.7

4.2.4 Aditivos de proteção contra raios solares

Os compostos pretos aditivados com $(2,5 \pm 0,5)\%$ de negro de fumo na massa do composto possuem excelente resistência aos raios U.V. sendo indicados para aplicações expostas ao tempo.

Para tubos de outras cores, que não pretos, os compostos utilizados devem ser adequadamente aditivados com absorvedores, estabilizantes e filtros que os protejam contra a radiação ultravioleta (UV) emitida pelo sol, atendendo aos ensaios de resistência ao intemperismo, conforme 4.2.7.

4.2.5 Dispersão de pigmentos

O composto e o tubo devem ser submetidos aos ensaios de Dispersão de Pigmentos para que comprovem uma dispersão satisfatória, quando comparados com os padrões de dispersão, conforme abpe/M009.

4.2.6 Teor de negro de fumo para compostos de polietileno PE pretos

O composto e o tubo devem ser submetidos aos ensaios de determinação do teor de Negro de Fumo para comprovar a quantidade deste em sua massa, conforme abpe/M010.

4.2.7 Resistência ao intemperismo de compostos de polietileno PE não pretos

O composto e o tubo devem ser submetidos aos ensaios de resistência ao intemperismo, de acordo com abpe/M012, tal que receba uma quantidade de energia solar de no mínimo $3,5 \text{ GJ/m}^2$, realizando-se a seguir os ensaios de tração, conforme 4.3.8, pressão, conforme 4.3.9.2 e estabilidade térmica, conforme 4.2.8, para comprovar sua eficiência quanto a manutenção das suas propriedades.

4.2.8 Estabilidade térmica

A estabilidade térmica do composto, medida através do ensaio de determinação do Tempo de Oxidação Indutiva (OIT), conforme abpe/M002, deve ser de no mínimo 20 minutos, quando testado a 200°C . Quando o ensaio for realizado em tubos, a amostra deve ser extraída da superfície interna do tubo.

4.2.9 Índice de fluidez (MFI)

4.2.9.1 O valor medido do índice de fluidez do composto, ou da resina base de polietileno PE, deve ser inferior ou igual a $1,3 \text{ g/10 min}$, quando determinado à temperatura de 190°C e peso de 50 N .

4.2.9.2 O valor do índice de fluidez de cada lote de composto, ou resina base de polietileno PE deve ser especificado pelo fabricante, e sua tolerância, em relação ao valor nominal, deve ser o especificado na Tabela 1.

TABELA 1 - Variação do índice de fluidez do composto em relação ao valor nominal

Valor Nominal do Índice de Fluidez (g/10 min)	Tolerância (%)
$\text{MFI} \leq 0,5$	25
$0,5 < \text{MFI} \leq 1,3$	20

4.2.9.3 O ensaio deve ser realizado conforme NBR 9023, ou DIN/ISO 1133.

4.2.10 Densidade

4.2.10.1 A tolerância do valor da densidade do lote recebido em relação ao valor nominal especificado pelo fabricante do composto deve ser de $\pm 0,003 \text{ g/cm}^3$.

4.2.10.2 O ensaio deve ser realizado conforme ABNT NBR 11931, ou abpe/M001, ou ISO 1183.

4.2.11 Soldabilidade e compatibilidade de solda

4.2.11.1 A soldabilidade do composto deve ser comprovada através da execução de 3 soldas de topo por termofusão, conforme Execução de Solda de Topo por Termofusão abpe/P004 - Procedimento e submetidas ao ensaio de pressão de longa duração a 80°C , conforme item 4.3.9.3.

4.2.11.2 A compatibilidade deve ser comprovada soldando-se um pedaço do tubo, em análise, com outro de uma resina qualquer já qualificada conforme esta norma e submetendo-se a solda ao ensaio de pressão de longa duração a 80°C conforme item 4.3.9.3.

4.2.12 Classificação e designação do composto de polietileno PE

Os compostos devem ser classificados como PE 63 ou PE 80 ou PE 100, conforme norma ISO 12162, ou seja, sua tensão circunferencial a 50 anos na temperatura de 20°C (MRS - *minimum required strength*), definida pelo "Método de Extrapolação Padrão (SEM) ISO TR 9080", através da determinação da sua Tensão Hidrostática de Longa Duração (LTHS), com Limite Inferior de Confiança (LCL) de 97,5%, como segue:

PE 63: MRS = $6,3 \text{ MPa}$, quando $6,3 \leq \text{LTHS} < 8,0 \text{ MPa}$

PE 80: MRS = 8 MPa , quando $8,0 \leq \text{LTHS} < 10 \text{ MPa}$

PE 100: MRS = 10 MPa , quando $\text{LTHS} \geq 10 \text{ MPa}$

Em função do comportamento da curva de regressão os compostos são ainda classificados como do Tipo A ou B, através do seguinte critério:

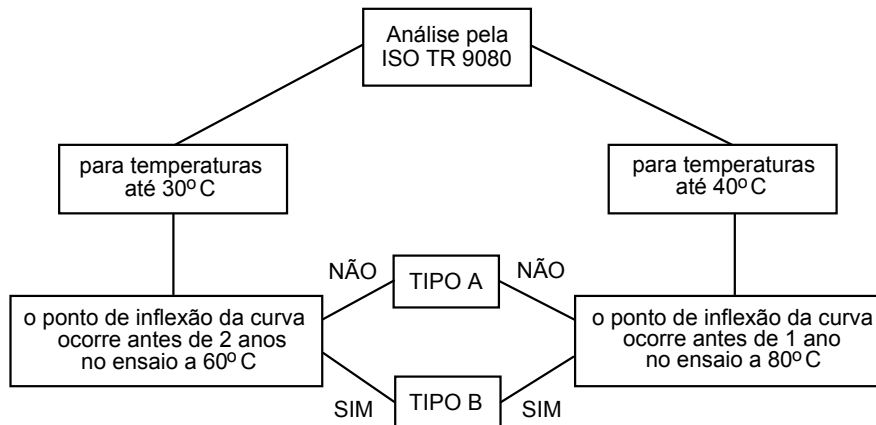


Figura 2 - Determinação do tipo do composto

A classificação e tipo do composto deve ser dada e demonstrada pelo fabricante do composto.

4.3. TUBOS

Os tubos devem ser fabricados com composto de polietileno PE, por processo de extrusão, tal que assegure a obtenção de um produto que satisfaça as exigências desta norma.

4.3.1 Classificação e designação de tubos de polietileno PE

Os tubos são designados pelo diâmetro externo nominal (DE) e pela pressão nominal (PN). O número relativo à pressão nominal (PN) corresponde à máxima pressão de operação (MPO) a 25°C para vida útil de 50 anos conduzindo água, expressa em bar, que equivale aproximadamente à pressão dada em megapascal (MPa) multiplicada por 10.

A pressão nominal do tubo também pode ser identificada pelo número SDR - *standard dimension ratio* -, ou RDE, que corresponde à relação entre o diâmetro externo nominal e a espessura nominal (e) ($SDR \approx DE/e$).

A pressão nominal (PN) é calculada através da fórmula:

$$PN = \frac{2 \cdot (\sigma_d \cdot 10) \cdot e}{DE - e}; \text{ onde } \sigma_d = \text{Série do tubo} = \text{tensão de dimensionamento}$$

A correspondência entre a pressão nominal (PN) do tubo e o número SDR é dada pela equação:

$$PN \approx 20 \cdot \text{Série}/(SDR-1)$$

As relações entre o diâmetro do tubo e sua espessura estabelecem as seguintes designações:

$$\begin{aligned} DE &= \text{Diâmetro Externo} &= DI + 2 \cdot e \\ DI &= \text{Diâmetro Interno} &= DE - 2 \cdot e \\ Dm &= \text{Diâmetro Médio} &= DE - e &= DI + e \\ Di_m &= \text{Diâmetro Interno Médio} &= DE + 0,5 \cdot \text{Tol. Dia} - 2 \cdot (e + 0,5 \cdot \text{Tol. Esp.}); \end{aligned}$$

onde Tol.Dia = Tolerância admitida para o diâmetro externo
Tol.Esp = Tolerância admitida para a espessura

O peso médio dos tubos é calculado com a espessura média ($e + 0,5 \cdot \text{tol.}$) e o diâmetro externo nominal (DE) considerando-se densidade do composto de $0,950 \text{ g/cm}^3$, arredondado para 3 casas decimais.

4.3.2 Tensão de Dimensionamento

A tensão de dimensionamento dos tubos para vida útil de 50 anos e temperatura de trabalho de até 25°C é obtida aplicando-se um Fator de Segurança mínimo (FS) de 1,25 sobre a tensão hidrostática circunferencial de longa duração (MRS).

As tensões de dimensionamento padrões são definidas como das Séries 2, 5, 6,3 e 8, correspondentes aos valores de tensão em megapascal (MPa), onde Série = MRS/FS.

TABELA 2 - Tensões de dimensionamento

Composto	MRS p/ 50 anos, 20°C ISO TR 9080 (MPa)	Fator Segurança (FS)	Tensão de Dimensionamento máx. (MPa)
PE 80 (série 2) ¹	8,0	4,0	2,0
PE 63 (série 5) ²	6,3	1,25	5,0
PE 80 (série 6,3) ³	8,0	1,25	6,3
PE 100 (série 8) ⁴	10,0	1,25	8,0

(1) A série 2 é adotada para tubulações de gás combustível

(2/3/4) As séries 5; 6,3 e 8,0 são para aplicações genéricas, inclusive redes de distribuição e ligação predial de água.

4.3.3 Dimensões e tolerâncias

Os tubos, objeto desta Norma, devem ser fabricados conforme previsto nas Tabelas 3, 4, 5, 6 e 11 e de acordo com as tolerâncias indicadas nas Tabelas 7 e 8.

Os tubos não devem ser produzidos com espessuras e classes de pressão menores que as admitidas nesta Norma, exceto se permitido em aplicações específicas cobertas por normas específicas.

TABELA 3 - Dimensões de tubo PE 63, FS=1,25 - SÉRIE 5
Conforme norma ISO 4427

Ø	PN 3.2 SDR 32.25		PN 4 SDR 26		PN 5 SDR 21		PN 6 ⁽¹⁾ SDR 17		PN 8 SDR 13.6		PN 10 SDR 11		PN 12.5 SDR 9		PN 16 SDR 7.25		
	DE mm	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m
20													2.3	0.131	2.8	0.152	
25												2.3	0.168	2.8	0.197	3.5	0.238
32										2.4	0.228	3.0	0.275	3.6	0.323	4.5	0.390
40							2.4	0.290	3.0	0.351	3.7	0.425	4.5	0.504	5.6	0.605	
50			2.3	0.354	2.4	0.368	3.0	0.447	3.7	0.543	4.6	0.660	5.6	0.782	6.9	0.930	
63	2.3	0.451	2.5	0.486	3.0	0.571	3.8	0.713	4.7	0.866	5.8	1.043	7.0	1.228	8.7	1.477	
75	2.4	0.562	2.9	0.665	3.6	0.818	4.5	1.006	5.6	1.226	6.9	1.475	8.4	1.756	10.4	2.101	
90	2.8	0.779	3.5	0.965	4.3	1.172	5.4	1.446	6.7	1.757	8.2	2.111	10.0	2.502	12.5	3.026	
110	3.5	1.189	4.3	1.447	5.3	1.760	6.6	2.152	8.2	2.630	10.0	3.131	12.3	3.763	15.2	4.500	
125	3.9	1.497	4.9	1.859	6.0	2.249	7.5	2.777	9.3	3.385	11.4	4.062	13.9	4.825	17.3	5.814	
140	4.4	1.898	5.4	2.304	6.7	2.816	8.3	3.446	10.4	4.235	12.8	5.097	15.6	6.066	19.4	7.297	
160	5.0	2.447	6.2	3.022	7.7	3.694	9.5	4.498	11.9	5.523	14.6	6.646	17.8	7.904	22.1	9.506	
180	5.6	3.091	7.0	3.812	8.6	4.641	10.7	5.689	13.4	7.004	16.4	8.401	20.0	9.986	24.9	12.026	
200	6.2	3.810	7.7	4.667	9.6	5.751	11.9	7.021	14.9	8.636	18.2	10.360	22.3	12.379	27.6	14.821	
225	7.0	4.806	8.7	5.925	10.8	7.267	13.4	8.904	16.7	10.894	20.5	13.112	25.0	15.596	31.1	18.791	
250	7.8	5.952	9.7	7.334	11.9	8.894	14.9	10.979	18.6	13.478	22.8	16.188	27.8	19.271	34.5	23.152	
280	8.7	7.435	10.8	9.139	13.4	11.227	16.6	13.710	20.8	16.870	25.5	20.286	31.2	24.231	38.7	29.068	
315	9.8	9.411	12.2	11.631	15.0	14.209	18.7	17.362	23.4	21.361	28.7	25.670	35.0	30.555	43.5	36.764	
355	11.1	12.037	13.7	14.687	16.9	17.914	21.1	22.096	26.3	27.058	32.3	32.573	39.5	38.870	49.0	46.649	
400	12.4	15.127	15.4	18.611	19.1	22.843	23.8	28.032	29.7	34.392	36.4	41.345	44.5	49.333	55.2	59.243	
450	14.0	19.160	17.4	23.640	21.5	28.889	26.7	35.383	33.4	43.520	41.0	52.341	50.0	62.335	61.7	74.544	
500	15.5	23.601	19.3	29.131	23.9	35.642	29.7	43.718	37.1	53.722	45.5	64.571	55.6	77.026			
560	17.4	29.664	21.6	36.478	26.7	44.608	33.2	54.767	41.5	67.267	51.0	81.009					
630	19.6	37.554	24.3	46.178	30.0	56.351	37.4	69.366	46.7	85.125	57.3	102.451					
710	22.1	47.753	27.4	58.649	33.9	71.749	42.1	88.015	52.6	108.054							
800	24.9	60.507	30.8	74.226	38.1	90.944	47.5	111.815	59.3	137.265							
900	28.0	76.516	34.7	94.065	42.9	115.071	53.4	141.413									
1000	31.1	94.542	38.5	115.977	47.7	142.167	59.3	174.482									
1200	37.3	135.973	46.2	167.007	57.2	204.624											
1400	43.5	184.911	53.9	227.124													
1600	49.7	241.357	61.6	296.683													

Nota:

PN. DE

A espessura é calculada como: $e = \frac{PN \cdot DE}{2 \cdot \sigma + PN}$; onde $\sigma =$ Série.10

2. $\sigma + PN$

O arredondamento é feito considerando-se o primeiro decimal superior, desprezando-se diferenças menores que 0,005 mm
Para o determinação das espessuras considerou-se a espessura mínima admitida de 2,3 mm

(1) Para efeito de cálculo das espessuras de PN 6 considerou-se pressão nominal de 0,63 MPa

A utilização de SDR > 17 deve considerar um cuidadoso projeto de transientes hidráulicos, em especial às ondas de subpressão

TABELA 4 - Dimensões de tubo PE 80, FS=1,25 - SÉRIE 6,3
Conforme norma ISO 4427

Ø	PN 4 SDR 32.25		PN 5 SDR 26		PN 6 ⁽¹⁾ SDR 21		PN 8 SDR 17		PN 10 SDR 13.6		PN 12.5 SDR 11		PN 16 ⁽²⁾ SDR 9		PN 20 SDR 7.25	
	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m
20													2.3	0.131	2.8	0.152
25											2.3	0.168	2.8	0.197	3.5	0.238
32							2.3	0.220	2.4	0.228	3.0	0.275	3.6	0.323	4.5	0.390
40					2.3	0.280	2.4	0.290	3.0	0.351	3.7	0.425	4.5	0.504	5.6	0.605
50			2.3	0.354	2.4	0.368	3.0	0.447	3.7	0.543	4.6	0.660	5.6	0.782	6.9	0.930
63	2.3	0.451	2.5	0.486	3.0	0.571	3.8	0.713	4.7	0.866	5.8	1.043	7.0	1.228	8.7	1.477
75	2.4	0.562	2.9	0.665	3.6	0.818	4.5	1.006	5.6	1.226	6.9	1.475	8.4	1.756	10.4	2.101
90	2.8	0.779	3.5	0.965	4.3	1.172	5.4	1.446	6.7	1.757	8.2	2.111	10.0	2.502	12.5	3.026
110	3.5	1.189	4.3	1.447	5.3	1.760	6.6	2.152	8.2	2.630	10.0	3.131	12.3	3.763	15.2	4.500
125	3.9	1.497	4.9	1.859	6.0	2.249	7.5	2.777	9.3	3.385	11.4	4.062	13.9	4.825	17.3	5.814
140	4.4	1.898	5.4	2.304	6.7	2.816	8.3	3.446	10.4	4.235	12.8	5.097	15.6	6.066	19.4	7.297
160	5.0	2.447	6.2	3.022	7.7	3.694	9.5	4.498	11.9	5.523	14.6	6.646	17.8	7.904	22.1	9.506
180	5.6	3.091	7.0	3.812	8.6	4.641	10.7	5.689	13.4	7.004	16.4	8.401	20.0	9.986	24.9	12.026
200	6.2	3.810	7.7	4.667	9.6	5.751	11.9	7.021	14.9	8.636	18.2	10.360	22.3	12.379	27.6	14.821
225	7.0	4.806	8.7	5.925	10.8	7.267	13.4	8.904	16.7	10.894	20.5	13.112	25.0	15.596	31.1	18.791
250	7.8	5.952	9.7	7.334	11.9	8.894	14.9	10.979	18.6	13.478	22.8	16.188	27.8	19.271	34.5	23.152
280	8.7	7.435	10.8	9.139	13.4	11.227	16.6	13.710	20.8	16.870	25.5	20.286	31.2	24.231	38.7	29.068
315	9.8	9.411	12.2	11.631	15.0	14.209	18.7	17.362	23.4	21.361	28.7	25.670	35.0	30.555	43.5	36.764
355	11.1	12.037	13.7	14.687	16.9	17.914	21.1	22.096	26.3	27.058	32.3	32.573	39.5	38.870	49.0	46.649
400	12.4	15.127	15.4	18.611	19.1	22.843	23.8	28.032	29.7	34.392	36.4	41.345	44.5	49.333	55.2	59.243
450	14.0	19.160	17.4	23.640	21.5	28.889	26.7	35.383	33.4	43.520	41.0	52.341	50.0	62.335	61.7	74.544
500	15.5	23.601	19.3	29.131	23.9	35.642	29.7	43.718	37.1	53.722	45.5	64.571	55.6	77.026		
560	17.4	29.664	21.6	36.478	26.7	44.608	33.2	54.767	41.5	67.267	51.0	81.009				
630	19.6	37.554	24.3	46.178	30.0	56.351	37.4	69.366	46.7	85.125	57.3	102.451				
710	22.1	47.753	27.4	58.649	33.9	71.749	42.1	88.015	52.6	108.054						
800	24.9	60.507	30.8	74.226	38.1	90.944	47.5	111.815	59.3	137.265						
900	28.0	76.516	34.7	94.065	42.9	115.071	53.4	141.413								
1000	31.1	94.542	38.5	115.977	47.7	142.167	59.3	174.482								
1200	37.3	135.973	46.2	167.007	57.2	204.624										
1400	43.5	184.911	53.9	227.124												
1600	49.7	241.357	61.6	296.683												

Nota:

PN. DE

A espessura é calculada como: $e = \frac{PN \cdot DE}{2 \cdot \sigma + PN}$; onde σ = Série.10

$2 \cdot \sigma + PN$

O arredondamento é feito considerando-se o primeiro decimal superior, desprezando-se diferenças menores que 0,005 mm

Para o determinação das espessuras considerou-se a espessura mínima admitida de 2,3 mm

A utilização de SDR > 17 deve considerar um cuidadoso projeto de transientes hidráulicos, em especial às ondas de subpressão

(1) Para efeito de cálculo das espessuras de PN 6 considerou-se pressão nominal de 0,63 MPa

(2) Para efeito de cálculo das espessuras de PN 16 considerou-se pressão nominal de 1,58 MPa

TABELA 5 - Dimensões de tubo PE 100, FS=1,25 - SÉRIE 8
Conforme norma ISO 4427

Ø	PN 5 SDR 32,25		PN 6 ⁽¹⁾ SDR 26		PN 8 SDR 21		PN 10 SDR 17		PN 12,5 ⁽²⁾ SDR 13,6		PN 16 SDR 11		PN 20 SDR 9		
	DE mm	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m
20														2.3	0.131
25											2.3	0.168	2.8	0.197	
32									2.4	0.228	3.0	0.275	3.6	0.323	
40							2.4	0.290	3.0	0.351	3.7	0.425	4.5	0.504	
50			2.3	0.354	2.4	0.368	3.0	0.447	3.7	0.543	4.6	0.660	5.6	0.782	
63	2.3	0.451	2.5	0.486	3.0	0.571	3.8	0.713	4.7	0.866	5.8	1.043	7.0	1.228	
75	2.4	0.562	2.9	0.665	3.6	0.818	4.5	1.006	5.6	1.226	6.9	1.475	8.4	1.756	
90	2.8	0.779	3.5	0.965	4.3	1.172	5.4	1.446	6.7	1.757	8.2	2.111	10.0	2.502	
110	3.5	1.189	4.3	1.447	5.3	1.760	6.6	2.152	8.2	2.630	10.0	3.131	12.3	3.763	
125	3.9	1.497	4.9	1.859	6.0	2.249	7.5	2.777	9.3	3.385	11.4	4.062	13.9	4.825	
140	4.4	1.898	5.4	2.304	6.7	2.816	8.3	3.446	10.4	4.235	12.8	5.097	15.6	6.066	
160	5.0	2.447	6.2	3.022	7.7	3.694	9.5	4.498	11.9	5.523	14.6	6.646	17.8	7.904	
180	5.6	3.091	7.0	3.812	8.6	4.641	10.7	5.689	13.4	7.004	16.4	8.401	20.0	9.986	
200	6.2	3.810	7.7	4.667	9.6	5.751	11.9	7.021	14.9	8.636	18.2	10.360	22.3	12.379	
225	7.0	4.806	8.7	5.925	10.8	7.267	13.4	8.904	16.7	10.894	20.5	13.112	25.0	15.596	
250	7.8	5.952	9.7	7.334	11.9	8.894	14.9	10.979	18.6	13.478	22.8	16.188	27.8	19.271	
280	8.7	7.435	10.8	9.139	13.4	11.227	16.6	13.710	20.8	16.870	25.5	20.286	31.2	24.231	
315	9.8	9.411	12.2	11.631	15.0	14.209	18.7	17.362	23.4	21.361	28.7	25.670	35.0	30.555	
355	11.1	12.037	13.7	14.687	16.9	17.914	21.1	22.096	26.3	27.058	32.3	32.573	39.5	38.870	
400	12.4	15.127	15.4	18.611	19.1	22.843	23.8	28.032	29.7	34.392	36.4	41.345	44.5	49.333	
450	14.0	19.160	17.4	23.640	21.5	28.889	26.7	35.383	33.4	43.520	41.0	52.341	50.0	62.335	
500	15.5	23.601	19.3	29.131	23.9	35.642	29.7	43.718	37.1	53.722	45.5	64.571	55.6	77.026	
560	17.4	29.664	21.6	36.478	26.7	44.608	33.2	54.767	41.5	67.267	51.0	81.009	61.7	74.544	
630	19.6	37.554	24.3	46.178	30.0	56.351	37.4	69.366	46.7	85.125	57.3	102.451			
710	22.1	47.753	27.4	58.649	33.9	71.749	42.1	88.015	52.6	108.054					
800	24.9	60.507	30.8	74.226	38.1	90.944	47.5	111.815	59.3	137.265					
900	28.0	76.516	34.7	94.065	42.9	115.071	53.4	141.413							
1000	31.1	94.542	38.5	115.977	47.7	142.167	59.3	174.482							
1200	37.3	135.973	46.2	167.007	57.2	204.624									
1400	43.5	184.911	53.9	227.124											
1600	49.7	241.357	61.6	296.683											

Nota:

PN. DE

A espessura é calculada como: $e = \frac{PN \cdot DE}{2 \cdot \sigma + PN}$; onde $\sigma = \text{Série.10}$

$2 \cdot \sigma + PN$

O arredondamento é feito considerando-se o primeiro decimal superior, desprezando-se diferenças menores que 0,005 mm

Para o determinação das espessuras considerou-se a espessura mínima admitida de 2,3 mm

A utilização de SDR > 17 deve considerar um cuidadoso projeto de transientes hidráulicos, em especial às ondas de subpressão

(1) Para efeito de cálculo das espessuras de PN 6 considerou-se pressão nominal de 0,64 MPa

(2) Para efeito de cálculo das espessuras de PN 12,5 considerou-se pressão nominal de 1,28 MPa

**TABELA 6 - Dimensões de tubo PE 80, FS=4 - SÉRIE 2
conforme norma ISO 4437**

Ø	PN 1.6 ⁽¹⁾ SDR 26		PN 2.4 SDR 17.6		PN 4 SDR 11	
	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m
20			2.3	0.131	3.0	0.160
25			2.3	0.168	3.0	0.208
32			2.3	0.220	3.0	0.275
40			2.3	0.280	3.7	0.425
50			2.9	0.434	4.6	0.660
63			3.6	0.680	5.8	1.043
75			4.3	0.967	6.8	1.475
90			5.2	1.375	8.2	2.111
110	4.3	1.447	6.3	2.066	10.0	3.131
125	4.9	1.859	7.1	2.647	11.4	4.062
140	5.4	2.304	8.0	3.318	12.7	5.097
160	6.2	3.022	9.1	4.330	14.6	6.646
180	7.0	3.812	10.3	5.454	16.4	8.401
200	7.7	4.667	11.4	6.759	18.2	10.360
225	8.7	5.925	12.8	8.522	20.5	13.112
250	9.7	7.334	14.2	10.520	22.7	16.188
280	10.8	9.139	15.9	13.160	25.4	20.286
315	12.2	11.631	17.9	16.661	28.6	25.670
355	13.7	14.687	20.2	21.120	32.3	32.573
400	15.4	18.611	22.8	26.827	36.4	41.345
450	17.4	23.640	25.6	33.909	40.9	52.341
500	19.3	29.131	28.4	41.819	45.5	64.571
560	21.6	36.478	31.9	52.419	50.9	81.009
630	24.3	46.178	35.8	66.395	57.3	102.451

NOTAS: A série 2 é definida para a utilização em gás natural a 20°C para vida útil de 50 anos, considerando-se fator de redução da resistência à pressão em função do fluido e condições de operação (Ff e Fo) de 0,3125, resultando em um fator de dimensionamento total = 0,25.

Para determinação das espessuras considerou-se a espessura mínima admitida de 3,0 mm, para SDR 11 e 2,3 para SDR 17,6 obedecendo as recomendações ISO 4437 para uso em gás combustível.

(1) Só para fins de Inserção (Relining)

TABELA 7 - Tolerância da espessura de parede (e)

e (mm)	tolerância (-0 +t)	e (mm)	tolerância (-0 + t)
2.3 - 3.0	0.4	32.1 - 33.0	3.4
3.1 - 4.0	0.5	33.1 - 34.0	3.5
4.2 - 5.0	0.6	34.2 - 35.0	3.6
5.1 - 6.0	0.7	35.1 - 36.0	3.7
6.1 - 7.0	0.8	36.1 - 37.0	3.8
7.1 - 8.0	0.9	37.1 - 38.0	3.9
8.1 - 9.0	1.0	38.1 - 39.0	4.0
9.1 - 10.0	1.1	39.1 - 40.0	4.2
10.1 - 11.0	1.2	40.1 - 41.0	4.2
11.1 - 12.0	1.3	41.1 - 42.0	4.3
12.1 - 13.0	1.4	42.1 - 43.0	4.4
13.1 - 14.0	1.5	43.1 - 44.0	4.5
14.2 - 15.0	1.6	44.2 - 45.0	4.6
15.1 - 16.0	1.7	45.1 - 46.0	4.7
16.1 - 17.0	1.8	46.1 - 47.0	4.8
17.1 - 18.0	1.9	47.1 - 48.0	4.9
18.1 - 19.0	2.0	48.1 - 49.0	5.0
19.1 - 20.0	2.1	49.1 - 50.0	5.1
20.1 - 21.0	2.2	50.1 - 51.0	5.2
21.0 - 22.0	2.3	51.1 - 52.0	5.3
22.1 - 23.0	2.4	52.1 - 53.0	5.4
23.1 - 24.0	2.5	53.1 - 54.0	5.5
24.2 - 25.0	2.6	54.2 - 55.0	5.6
25.1 - 26.0	2.7	55.1 - 56.0	5.7
26.1 - 27.0	2.8	56.1 - 57.0	5.8
27.1 - 28.0	2.9	57.1 - 58.0	5.9
28.1 - 29.0	3.0	58.1 - 59.0	6.0
29.1 - 30.0	3.1	59.1 - 60.0	6.1
30.1 - 31.0	3.2	60.1 - 61.0	6.2
31.1 - 32.0	3.3	61.1 - 61.6	6.3

Nota: Os valores especificados aqui são calculados pela equação $0,1e + 0,1$ mm, arredondado para o 0,1 mais próximo. Para espessuras menores que 10 mm, as medidas pontuais da espessura podem exceder o valor especificado em $0,2e$, e para espessuras maiores que 10 mm em $0,15e$. A média das medidas deve, entretanto, permanecer dentro dos limites dados.

TABELA 8 - Tolerância do diâmetro externo (DE) (closed tolerance)

DE	tolerância (-0 + t)	DE	tolerância (-0 + t)
20 - 32	0.3	250	1.5
40	0.4	280	1.7
50	0.4	315	1.9
63	0.4	355	2.2
75	0.5	400	2.4
90	0.6	450	2.7
110	0,7	500	3.0
125	0,8	560	3.4
140	0,9	630	3.8
160	1.0	710	4.3
180	1.1	800 - 1000	5.0
200	1.2	1200 - 1600	6.0
225	1.4		

Notas: Os valores aqui apresentados foram calculados com as seguintes bases:

DE 63 à 710 : + 0,006.DE, arredondado para 0,1 mais próximo

DE 800 à 1000 : + 5 mm

DE 1200 à 1600 : + 6 mm

4.3.3.1 Ovalização

A ovalização é a diferença entre os valores máximo e mínimo do diâmetro externo do tubo, medidos em uma mesma seção de tubo, conforme ABPe/M003.

Deve ser medida após 24 horas da fabricação do tubo.

4.3.3.1.1 Tubos em barras:

A ovalização deverá ser determinada a uma distancia de 1 a 2 DE da extremidade do tubo, arredondado para o décimo de mm mais próximo.

Ovalização máxima admitida para tubos em barras:

até DE 75	=	1 mm + 0,008.DE
DE 90 à 250	=	0,02.DE
acima de 250	=	0,035.DE

4.3.3.1.2 Tubos bobinados:

A ovalização deverá ser determinada no tubo da camada interna a uma distancia mínima da extremidade do tubo que corresponda a uma volta completa da bobina, arredondado para o décimo de mm mais próximo.

A determinação deverá ser no mínimo após 24 horas da fabricação dos tubos, neste período os tubos devem permanecer enrolados.

A ovalização dos tubos bobinados deverá ainda ser determinada no Ensaio de Retração Circunferencial conforme 4.3.11. A ovalização máxima admitida não poderá ser superior aos valores da tabela 9.

TABELA 9 - Ovalização máxima dos tubos bobinados.

Unidade: mm

DIAMETRO EXTERNO	OVALIZAÇÃO MÁXIMA DOS TUBOS BOBINADOS MEDIDA APÓS 24 HORAS	OVALIZAÇÃO MÁXIMA DOS TUBOS BOBINADOS MEDIDA NO ENSAIO DE RETRAÇÃO CIRCUNFERENCIAL
20	1.2	1.2
25	1.5	1.2
32	1.9	1.3
40	2.4	1.3
50	3.0	1.4
63	3.8	1.5
75	4.5	1.6
90	5.4	1.8
110	6.6	2.2
125	7.5	2.5

4.3.3.2 Perpendicularidade das extremidades dos tubos

a) As extremidades dos tubos devem ser cortadas com ferramentas específicas, de modo perpendicular, sem rebarbas, admitindo-se um desvio de perpendicularidade conforme Tabela 9.

b) A perpendicularidade deve ser medida conforme método abpe/M003.

TABELA 9 - Perpendicularidade das extremidades dos tubos

Diâmetro Externo nominal (DE)	Desvio máximo de perpendicularidade (mm)
20-32	1.0
40 -90	2.0
110-140	3.0
160-200	4.0
225 -315	5.0
355-500	7.0
> 500	8.0

4.3.3.3 Comprimento dos tubos

O comprimento dos tubos deve ser definido nas normas específicas, ou, na não existência destas, em acordo entre o fornecedor e o cliente.

O comprimento dos tubos deve ser considerado à temperatura de 20°C

4.3.3.4 Fator de correção do comprimento dos tubos

Para temperaturas diferentes de 20°C utilizar o fator de correção da Tabela 10.

TABELA 10 - Fator de correção do comprimento do tubo em função da temperatura

temperatura (°C)	0	10	20	30	40	50	60
fator	1,004	1,002	1	0,998	0,996	0,994	0,992

4.3.3.5 Acondicionamento e dimensões de bobinas de tubos

- a) As bobinas de tubos \geq DE 63 devem ser amarradas camada a camada, de maneira a permitir que o usuário desenrole somente a quantidade necessária ao uso sem ter que desmontar toda a bobina. O comprimento das bobinas deve ser marcado em suas extremidades.
- b) Os diâmetros internos mínimos das bobinas devem obedecer o especificado na Tabela 11, desde que o tubo bobinado não apresente ovalização superior a especificada em 4.3.3.1.
- c) As demais dimensões das bobinas devem constar das especificações do fabricante de tubos, com tolerância máxima de $\pm 5\%$.

TABELA 11 - Diâmetro interno mínimo de bobinas de tubos de polietileno PE

Diâmetro externo nominal DE	Diâmetro interno mínimo da bobina (mm)	
	SDR \leq 13,6	SDR 17
20	600	
25	600	
32	700	800
40	800	1000
50	1000	1200
63	1300	1900
75	1500	2200
90	1800	2700
110	2200	3200
125	2500	3700

4.3.4 Formas de fornecimento

4.3.4.1 Os tubos podem ser fornecidos em barras ou bobinas.

4.3.4.2 Para diâmetros externos nominais (DE) de 20 a 125 os tubos podem ser fornecidos em barras ou bobinas.

4.3.4.3 Para diâmetros externos nominais (DE) acima de 125 os tubos devem ser fornecidos em barras.

4.3.5 MARCAÇÃO DOS TUBOS

4.3.5.1 Os tubos devem ser marcados de metro em metro de forma indelével, através de impressão a quente tipo *Hot-Stamping*, na cor correspondente à aplicação, com os seguintes dizeres:

- nome ou marca de identificação do fabricante;
- identificação comercial do composto utilizado na fabricação;
- classificação e tipo do composto (PE 63, ou PE 80, ou PE 100 e tipo A ou tipo B);
- número desta Norma;
- os dizeres correspondentes à aplicação (Gás, ou Água, etc.);
- diâmetro externo nominal (DE 20, ou DE 125, etc.);
- classe de pressão (1 MPa, ou PN 10, etc.);
- SDR do tubo (SDR 11, ou SDR 17, etc.); (opcional)
- número correspondente à Série do tubo (Série 5, ou 6,3, ou 8, etc.); (obrigatório para gás e opcional para demais)
- código que permita rastrear a sua produção, tal que contemple um indicador relativo ao mês e ano da produção.

Este código deve permitir identificar a matéria prima e seu número de lote, se o material é reprocessado, sua identificação e teor misturado ao material virgem, quantitativos e parâmetros de produção e resultados de ensaios de produção.

4.3.5.2 Tolera-se a ocorrência de um trecho de tubo ou bobina sem a marcação colorida, desde que os dizeres resultem legíveis pelo baixo relevo decorrente do processo de impressão. E desde que a falha não ultrapasse aos seguintes comprimentos:

- a) barra de tubo; até 1/3 de seu comprimento;
- b) bobinas de tubos DE 20 a DE 32; até 1/3 de seu comprimento;
- c) bobinas de tubos DE 40 a DE 63, até 1/5 de seu comprimento;
- d) bobinas de tubos DE > 63, até 1/8 de seu comprimento.

4.3.5.3 Para tubos dotados de marcação do número desta Norma, conforme 4.3.5.1, alínea d, que forem comercializados pelo fabricante, é considerado que a responsabilidade pela referência à Norma é do fabricante, independentemente de eventuais ensaios realizados por terceiros.

4.3.6 Densidade

4.3.6.1 A densidade do tubo deve ser $\geq 0,938 \text{ g/cm}^3$ para tubos pretos e $> 0,930 \text{ g/cm}^3$ a 23°C para tubos não pretos.

4.3.6.2 Para tubos fabricados com resina base de polietileno PE e master batch, a densidade do tubo não deve diferir de $\pm 0,003 \text{ g/cm}^3$ da média de um lote de fabricação.

4.3.6.3 Para tubos fabricados com composto de polietileno PE a diferença entre a densidade do tubo e do lote do composto de polietileno PE (ambos medidos por um mesmo transformador) deve ser inferior a $\pm 0,005 \text{ g/cm}^3$

4.3.6.4 O corpo de prova deve ser extraído da parede do tubo e a densidade deve ser medida conforme NBR 11931, ISO 1183 ou ABPE/M001.

4.3.7 Índice de fluidez

4.3.7.1 Para o índice de fluidez do tubo admite-se uma tolerância de $\pm 25\%$ do medido no composto, ou na resina base de polietileno PE.

4.3.7.2 O corpo de prova deve ser extraído da parede do tubo e o índice de fluidez deve ser medido conforme NBR 9023 ou DIN/ISO 1133.

4.3.8 Resistência à tração

A tensão no limite de escoamento e o alongamento na ruptura, de corpos de prova extraídos da parede do tubo, devem ser iguais ou maiores que os valores da Tabela 12. O ensaio deve ser realizado conforme abpe/M004.

TABELA 12 - Tensão no limite de escoamento e alongamento na ruptura

Propriedade	valor
tensão (MPa)	15
Alongamento mínimo (%)	350

4.3.9 Resistência à pressão hidrostática

4.3.9.1 Resistência à pressão hidrostática interna de curta duração a 20°C

Os corpos de prova dos tubos devem resistir, no mínimo, a 100 horas, na temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ quando submetidos à pressão hidrostática calculada pela fórmula abaixo com os valores de tensão circunferencial apresentados na Tabela 13 e para os valores de diâmetro externo médio (dem) e espessura mínima (e) do corpo de prova, conforme método abpe/M005.

$$P = \frac{2 \cdot \sigma \cdot e}{\text{dem} - e}; \text{ onde } \sigma = \text{tensão circunferencial de ensaio}$$

TABELA 13 - Valores de tensão circunferencial para ensaio de pressão hidrostática interna de curta duração a 20°C

Composto	Tensão circunferencial (MPa)
PE 63	9,0
PE 80	10,0
PE 100	12,4

4.3.9.2 Resistência à pressão hidrostática interna de curta duração a 80°C

Os corpos de prova dos tubos devem resistir, no mínimo, a 165 horas, na temperatura de $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$ quando submetidos à pressão hidrostática calculada pela fórmula de 4.3.9.1 com os valores de tensão circunferencial apresentados na Tabela 14 e para os valores de diâmetro externo médio (dem) e espessura mínima (e) do corpo de prova, conforme método abpe/M005.

TABELA 14 - Valores de tensão circunferencial para ensaio de pressão hidrostática interna de curta duração a 80°C

Composto	Tensão circunferencial (MPa)
PE 63	4,0
PE 80	4,6
PE 100	5,5

No caso de ocorrer ruptura dúctil antes de 165 h, deve ser escolhida na Tabela 15 nova relação tempo x tensão para a tensão imediatamente inferior e um novo ensaio deve ser realizado.

TABELA 15 - Valores de tensão circunferencial x tempo para o ensaio de resistência à pressão hidrostática interna de curta duração a 80°C

PE 63		PE 80		PE 100	
tensão (MPa)	tempo (h)	tensão (MPa)	tempo (h)	tensão (MPa)	tempo (h)
4,0	165	4,6	165	5,5	165
3,9	195	4,5	219	5,4	233
3,8	237	4,4	293	5,3	332
3,7	328	4,3	394	5,2	476
3,6	420	4,2	533	5,1	688
3,5	500	4,1	727	5,0	1000
3,4	619	4,0	1000		
3,3	750				
3,2	1000				

4.3.9.3 Resistência à pressão hidrostática interna de longa duração a 80°C

Os corpos de prova dos tubos devem resistir no mínimo a 1.000 horas na temperatura de $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$, quando submetidos à pressão hidrostática calculada pela fórmula de 4.3.9.1 com os valores de tensão circunferencial apresentados na Tabela 16 e para os valores de diâmetro externo médio (dem) e espessura mínima (e) do corpo de prova, conforme método abpe/M005.

TABELA 16 - Valores de tensão circunferencial para ensaio de pressão hidrostática interna de longa duração a 80°C

Composto	Tensão circunferencial (MPa)
PE 63	3,2
PE 80	4,0
PE 100	5,0

4.3.10 Estabilidade dimensional

Os corpos-de-prova dos tubos devem apresentar variação longitudinal $\leq 3\%$, quando submetidos à temperatura de $(110 \pm 2)^\circ\text{C}$, conforme método ABPE/M008.

4.3.11 Retração circunferencial

Os corpos-de-prova dos tubos devem ter medidas a ovalização e o diâmetro externo médio (dem) a uma distância de 1,0 a 1,1 vezes o DE da extremidade.

A ovalização e a média das medições dos diâmetros externos médios devem estar dentro das tolerâncias definidas em 4.3.3, conforme método ABPE/M006.

4.3.12 Tensão residual de resfriamento (*frozen-in-stress*)

Ensaio alternativo ao de retração circunferencial, conforme 4.3.11. Os corpos de prova dos tubos condicionados à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ por 12 horas não devem apresentar tensão residual de resfriamento > 3 MPa, medida conforme método abpe/M011.

4.3.13 Resistência ao esmagamento

Após serem submetidos ao esmagamento, conforme método abpe/M007, os corpos de prova dos tubos devem resistir ao ensaio de resistência à pressão interna de curta duração a 80°C conforme 4.3.9.2.

4.3.14 Aspectos visuais

4.3.14.1 As superfícies dos tubos devem apresentar-se com cor e aspecto uniforme e serem isentas de corpos estranhos, bolhas, fraturas do fundido, rachaduras, ou outros defeitos visuais que indiquem descontinuidade do composto e/ou do processo de extrusão que comprometa o desempenho do tubo.

4.3.14.2 Os tubos não devem apresentar ranhuras, marcas ou danos superficiais com profundidades que ultrapassem a 10% de sua espessura.

5 ENSAIOS E PERIODICIDADES

5.1 MÉTODOS DE ENSAIOS E REQUISITOS PARA QUALIFICAÇÃO DO COMPOSTO DE POLIETILENO PE

O fabricante do composto de polietileno PE deve apresentar comprovação da tensão hidrostática de longa duração (50 anos), obtida pelo método de extrapolação ISO TR 9080, classificando-o como PE 63, PE 80 ou PE 100, tipo A ou B, e efetuar os ensaios indicados na tabela 17, de tal forma que todas amostras atendam aos seus requisitos.

TABELA 17 - Ensaios para qualificação do composto de polietileno PE

Propriedade.	Nº Amostras	Requisitos	Método de Ensaio
Estabilidade Térmica	3	≥ 20 min conforme 4.2.8	abpe/M002
Resistência à pressão de curta duração a 80°C	1 com 3 corpos-de-prova	≥ 165 h conforme 4.3.9.2	abpe/M005
Resistência à pressão de longa duração 80°C	1 com 3 corpos-de-prova	≥ 1000 h conforme 4.3.9.3	abpe/M005
Resistência à tração	1	≥ 15 MPa ≥ 350% conforme 4.3.8	abpe/M004
Densidade da resina base	1	≥ 0,930g/cm ³ e tolerância em relação ao nominal ± 0,003g/cm ³ , conforme 4.1.1	abpe/M001 ou NBR 11931 ou ISO 1183
Índice de fluidez do composto	1	≤ 1,3g/10 min e tolerância de cada lote em relação ao nominal conforme especificado em 4.2.9	NBR 9023 ou DIN/ISO 1133
Dispersão de Pigmentos	1	conforme 4.2.5	abpe/M009
Teor de Negro de Fumo de compostos pretos	1	(2,5 ± 0,5)% conforme 4.2.2 e 4.2.6	abpe/M010
Resistência ao intemperismo de compostos não pretos	1 com 3 corpos-de-prova para cada requisito	conforme 4.2.7	abpe/M012
Soldabilidade e Compatibilidade de Solda	1 com 3 corpos-de-prova para cada requisito	≥ 1000 h, a 80°C conforme 4.2.11	abpe/P004 e abpe/M005

Notas: a) Deve-se escolher aleatoriamente um lote para a realização dos ensaios
 b) Exceto onde aqui especificado, as amostras devem contemplar a quantidade de corpos-de-prova especificada nos respectivos métodos de ensaios.
 c) Os ensaios para qualificação do composto devem ser realizados anualmente.

5.2 MÉTODOS DE ENSAIOS E REQUISITOS DURANTE A FABRICAÇÃO DO COMPOSTO DE POLIETILENO PE

Durante a fabricação o composto deve ser submetido aos ensaios e requisitos indicados na tabela 18.

TABELA 18 - Ensaios e requisitos do composto de polietileno PE durante a fabricação

Propriedade	Nº de Amostras	Requisitos	Periodicidade	Método de ensaio
Resistência à pressão de curta duração a 80°C	1 com 3 corpos-de-prova	≥ 165 h, conforme 4.3.9.2	1 ensaio por lote de fabricação	abpe/M005
Resistência à pressão de longa duração a 80°C	1 com 3 corpos-de-prova	≥ 1000 h conforme 4.3.9.3	ensaiar 1 lote por campanha, admitindo-se a liberação provisória da campanha se aprovado no ensaio de curta duração a 80°C, conforme 4.3.9.2	abpe/M005/96
Índice de fluidez	-	≤ 1,3g/10 min e tolerância de cada lote em relação ao nominal igual conforme especificado em 4.2.9	Mínimo de 3 ensaios uniformemente distribuídos durante a fabricação do lote	NBR 9023 ou DIN/ISO 1133
Densidade do composto	-	satisfazer a tolerância de ± 0,003 g/cm ³ em relação ao especificado, conforme 4.2.10	Mínimo de 3 ensaios uniformemente distribuídos por lote durante a fabricação da resina base e mínimo de 1 ensaio do composto por lote	abpe/M001 ou NBR 11931 ou ISO 1183
Dispersão de Pigmentos	-	conforme 4.2.5	Mínimo de 1 ensaio por lote	abpe/M009
Teor de Negro de Fumo de compostos pretos	-	(2,5 ± 0,5)% conforme 4.2.2 e 4.2.6	Mínimo de 1 ensaio por lote	abpe/M010

Notas: a) Lote - quantidade de material devidamente identificado, homogeneizado através de um processo que garanta a

uniformidade das propriedades do mesmo. Qualquer descontinuidade após a homogeneização deverá determinar

a mudança da identificação do lote;

b) Quantidade máxima do lote - 200 toneladas

c) Exceto onde aqui especificado, as amostras devem contemplar a quantidade de corpos-de-prova especificada

nos respectivos métodos de ensaios.

5.3 MÉTODOS DE ENSAIOS E REQUISITOS PARA QUALIFICAÇÃO DO FABRICANTE DE TUBOS DE POLIETILENO PE

Para qualificação dos tubos de polietileno PE devem ser aplicados os métodos de ensaios e requisitos indicados na Tabela 19, de tal forma que todas as amostras atendam aos seus requisitos.

TABELA 19 - Métodos de ensaios e requisitos de qualificação de tubos de polietileno PE

Propriedade.	Nº de Amostras	Requisitos	Método de Ensaio
Dimensões	3	respeitar os valores apresentados em 4.3.3	abpe/M003
Estabilidade Dimensional ⁽¹⁾	3	Varição dimensional ≤ 3% conforme 4.3.10	abpe/M008
Retração circunferencial	3	Respeitar os valores de Dimensões após serem submetidos à temperatura de 80°C conforme 4.3.11	abpe/M006
Tensão residual de resfriamento ⁽³⁾	3	≤ 3 MPa, conforme 4.3.12	abpe/M011
Estabilidade Térmica	3	≥ 20 min conforme 4.2.8	abpe/M002
Resistência à pressão hidrostática de curta duração a 20°C	3 com 1 corpo-de-prova cada	≥ 100 h conforme 4.3.9.1	abpe/M005
Resistência à pressão de curta duração a 80°C	3 com 1 corpo-de-prova cada	≥ 165 h conforme 4.3.9.2	abpe/M005
Resistência à pressão de longa duração 80°C	3 com 1 corpo-de-prova cada	≥ 1000 h conforme 4.3.9.3	abpe/M005
Resistência à tração	1	≥ 15 MPa e ≥ 350% conforme 4.3.8	abpe/M004
Resistência ao esmagamento ⁽²⁾	3 com 1 corpo-de-prova cada	Após ser submetido ao esmagamento, o tubo deve resistir ao ensaio de pressão de curta duração a 80°C por 165 h conforme 4.3.13	abpe/M007 e abpe/M005
Densidade do tubo	3	≥ 0,938 g/ cm ³ e satisfazer a 4.3.6.	abpe/M001 ou NBR 11931 ou ISO 1183
Índice de fluidez do tubo	3	satisfazer a tolerância de ± 25% definida em 4.3.7	NBR 9023 ou DIN/ISO 1133
Dispersão de Pigmentos	3	conforme 4.2.5	abpe/M009

Notas: a) Os tubos utilizados nestes ensaios devem ser escolhidos de maneira aleatória, utilizando-se um tubo de menor

diâmetro, um de maior diâmetro e um de diâmetro intermediário da gama de tubos produzida pelo fabricante.

b) O número de amostras refere-se a cada diâmetro ensaiado.

c) Exceto onde aqui especificado, as amostras devem contemplar a quantidade de corpos-de-prova especificada nos

respectivos métodos de ensaios.

d) Os ensaios para qualificação do fabricante de tubos devem ser realizados anualmente.

⁽¹⁾ somente aplicável para tubos de DE ≤ 315

⁽²⁾ somente aplicável para tubos de DE ≤ 315

⁽³⁾ ensaio alternativo ao de retração circunferencial para tubos de DE > 315

5.4 MÉTODOS DE ENSAIOS E REQUISITOS DE FABRICAÇÃO DE TUBOS DE POLIETILENO PE

O fabricante dos tubos deve manter os certificados de cada lote de composto ou resina base de polietileno PE e master batch utilizados na fabricação e executar os ensaios indicados na Tabela 20.

TABELA 20- Métodos de ensaios e requisitos de tubos de polietileno PE durante a fabricação

Propriedade	Nº de Amostras	Requisitos	Periodicidade	Método de ensaio
Dimensões (espessura supervisionada) ⁽¹⁾	1	Respeitar os valores apresentados em 4.3.3	2h/DE/máquina	abpe/M003
Dimensões (espessura não supervisionada) ⁽²⁾	1	Respeitar os valores apresentados em 4.3.3	1h/DE/máquina	abpe/M003
Resistência à pressão hidrostática de curta duração a 20°C	1 com 3 corpos-de-prova (7)	≥ 100 h conforme 4.3.9.1	semanal / máquina / lote de composto	abpe/M005
Resistência à pressão de curta duração a 80°C	1 com 3 corpos-de-prova(7)	≥ 165 h conforme 4.3.9.2	semanal / máquina / lote de composto	abpe/M005
Resistência à pressão de longa duração 80°C	1 com 3 corpos-de-prova(7)	≥ 1000 h conforme 4.3.9.3	a cada 6 meses por composto /máquina	abpe/M005
Resistência à tração	1	≥ 15 MPa ≥ 350% conforme 4.3.8	semanal / máquina / lote de composto	abpe/M004
Estabilidade dimensional ⁽³⁾	1	Varição dimensional ≤ 3% conforme 4.3.10	1 ensaio diário por DE/máquina / lote de composto, alternando turnos	abpe/M008
Retração circunferencial	1	Respeitar os valores de Dimensões após serem submetidos à temperatura de 80°C conforme 4.3.11	1 ensaio diário por DE/máquina/ lote de composto, alternando turnos	abpe/M006
Tensão residual de resfriamento ⁽⁴⁾	1	≤ 3 MPa, conforme 4.3.12	1 ensaio diário por DE/máquina/ lote de composto, alternando turnos	abpe/M011
Densidade	1	satisfazer a 4.3.6	(5) início, depois semanal / DE / máquina / lote de composto (6) 1 ensaio diário por DE/máquina, alternando turnos	abpe/M001 ou NBR 11931 ou ISO 1183
Índice de fluidez	1	satisfazer a tolerância de ± 25% definida em 4.3.7	1 ensaio no início da fabricação e depois semanal por DE/máquina/ lote de composto	NBR 9023 ou DIN/ISO 1133
Dispersão de Pigmentos	1	satisfazer a 4.2.5	(5) início, depois semanal / DE / máquina / lote de composto (6) 1 ensaio diário por DE/máquina, alternando turnos	abpe/M009

Notas: Exceto onde aqui especificado, as amostras devem contemplar a quantidade de corpos-de-prova especificada nos

respectivos métodos de ensaios.

⁽¹⁾ As linhas de produção com equipamentos de supervisão contínua de dimensões podem produzir unidades de bobinas ou barras de tubos que ultrapassem a 2 horas de produção, todavia, após o corte, deve-se proceder às medições das dimensões nas extremidades, conforme abpe/M003, e checar com os valores lidos através dos equipamentos de supervisão para comprovar sua aferição.

⁽²⁾ As linhas de produção que não possuem equipamento de supervisão contínua de dimensões podem produzir unidades de bobinas ou barras de tubos que ultrapassem a 1 hora de produção, todavia, após o corte, deve-se proceder às medições das dimensões nas extremidades, à aproximadamente na metade do comprimento e à aproximadamente a cada 20 m a partir deste último ponto em direção às extremidades do tubo, conforme abpe/M003.

⁽³⁾ Somente aplicável para tubos de $DE \leq 315$

(4) ensaio alternativo ao de retração circunferencial para tubos de $DE > 315$

(5) Tubos fabricados a partir de composto

(6) Tubos fabricados a partir de resina base e master batch

(7) Número de amostras: 1 com um cp e 2 testemunhas. Se ocorrer a ruptura do cp1 deve-se ensaiar os 2 cp's testemunhas sem que ocorra ruptura. Se a falha persistir, deve-se rastrear os lotes defeituosos e eliminá-los, não permitindo sua regranação para fabricação de tubos de polietileno PE conforme esta norma, exceto quando a falha for dimensional.

6 INSPEÇÃO

6.1 RESPONSABILIDADES

6.1.1 RESPONSABILIDADE DO FABRICANTE

É responsabilidade do fabricante planejar, estabelecer, implementar e manter atualizado um programa da qualidade, que envolva o fornecedor do composto de polietileno PE, capaz de assegurar que os tubos que produz estejam de acordo com esta Norma a satisfaçam as expectativas do usuários finais dos tubos.

6.1.2 RESPONSABILIDADE DO FORNECEDOR DE COMPOSTO DE POLIETILENO PE

É responsabilidade do fornecedor do composto de polietileno PE manter a homogeneidade e uniformidade do material, nos lotes mínimos que fornece, assegurando a sua qualidade.

6.1.3 RESPONSABILIDADE DO USUÁRIO

É responsabilidade do usuário assegurar-se que o fabricante forneça tubos cuja qualidade esteja de acordo com esta Norma.

6.2 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE

A verificação da qualidade dos tubos deve ser realizada pela auditoria ou qualificação do programa da qualidade do fabricante, conforme item 7.

Pode-se, em comum acordo entre o fabricante e o usuário, definir-se também pela realização de ensaios de recebimento de lotes, conforme item 8.

7 AUDITORIA OU QUALIFICAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE

O fabricante de ter um manual da garantia da qualidade, estabelecendo seu sistema de gestão da qualidade no que diz respeito a:

- a) garantia de desempenho do composto de polietileno PE utilizado na fabricação dos tubos;
- b) garantia de um processamento adequado dos tubos de polietileno PE;
- c) planejamento da inspeção;
- d) controle dos documentos;
- e) equipamentos de medição e controle;
- f) inspeção e ensaios de recebimento do composto de polietileno PE
- g) inspeção e ensaios de aceitação dos tubos;
- h) não conformidade;
- i) ação corretiva;
- j) manuseio, embalagem e expedição;
- k) registros da qualidade
- l) auditoria da qualidade.

O usuário pode utilizar uma entidade neutra, para qualificar o fabricante, ou efetuar auditoria específica.

O fabricante dos tubos deve colocar à disposição do auditor de qualidade, credenciado pelo usuário, os documentos do seu sistema de qualidade.

O usuário e/ou a entidade neutra, devem efetuar auditorias periódicas, que permitam assegurar que o fabricante cumpre os procedimentos estabelecidos no manual da garantia da qualidade.

7.1 ACEITAÇÃO E REJEIÇÃO

Cabe à entidade mencionada em 7 cotejar os resultados obtidos nos ensaios com os valores desta norma.

Cabe ao comprador, antes da assinatura do contrato de fornecimento, estabelecer uma auditoria no sistema de gestão da qualidade do fabricante de tal forma a assegurar que este tenha condições de produzir tubos conforme especificado nesta norma.

Dependendo do acordo firmado entre fabricante e comprador, a auditoria no sistema da qualidade do fabricante pode ser feita diretamente ou através de entidades inspetoras.

Para este efeito a entidade inspetora deve:

- a) avaliar o programa da qualidade do fabricante;
- b) aprovar, formalmente, o manual da garantia da qualidade do fabricante
- c) realizar fiscalizações esporádicas, ou nos lotes requeridos, a fim de assegurar que o fabricante está obedecendo ao manual de controle da qualidade e que os tubos estão de acordo com esta norma.

7.2 FORNECIMENTO DE RESULTADO DE ENSAIOS

Para cada lote de fabricação, o fabricante deve fornecer um relatório de resultados de ensaios contendo, no mínimo, o seguinte:

- a) diâmetro externo nominal do tubo (DE);
- b) pressão nominal (PN)
- c) código de produção
- d) data de início da fabricação do lote
- e) identificação do composto de polietileno PE utilizado
- f) quantidade do lote de produção em metros e bobinas;
- g) quantidade do lote fornecido ao comprador em metros e bobinas;
- h) declaração de que o lote fornecido ao comprador atende às especificações desta norma.

8 ENSAIOS DE RECEBIMENTO DE LOTES

Nos ensaios de recebimento de tubos de polietileno PE devem ser seguidos os critérios de 8.1 a 8.3.

8.1 TAMANHO DO LOTE DE RECEBIMENTO

O lote de recebimento pode ser formado por um ou mais lotes de fabricação de tubos de PE de mesmo diâmetro externo nominal (DE) e espessura, de mesmas características e de um mesmo composto de polietileno PE, limitado a 500 bobinas ou 500 barras de tubos, ou 50.000 m, o que for menor.

8.2 AMOSTRAGEM PARA EXAME DIMENSIONAL E VISUAL

De cada lote são separadas amostras para exame dimensional (diâmetro externo nominal, diâmetro da bobina, espessura, perpendicularidade, ovalização e comprimento), conforme 4.3.3 e método abpe/M003, exame da marcação, conforme 4.3.5, e exame visual, conforme 4.3.14, com a amostragem estabelecida na tabela 21.

Para tubos em bobinas de comprimento > 100 m, ou para tubos em barras de comprimento > 21 m, a espessura deve ser medida em ambas as extremidades, à aproximadamente na metade do comprimento e à aproximadamente a cada 20 m a partir deste último ponto em direção às extremidades do tubo.

As amostras são formadas por bobinas ou por barras de tubos. De cada bobina ou barra que compõe a amostra devem ser retirados corpos-de-prova na quantidade correspondente aos ensaios previstos. Uma bobina ou barra pode apresentar mais de um defeito, porém, para fins de aceitação e rejeição, considera-se apenas uma unidade defeituosa.

**TABELA 21 - Plano de amostragem para exame visual e dimensional
(NBR 5426 - Nível III - NQA 4.0)**

Tamanho do lote (bobinas ou barras)	Tamanho da amostra		Bobinas ou barras defeituosas			
	1ª amostra	2ª amostra	1ª amostra		2ª amostra	
			Ac-1	Rej-1	Ac-1	Rej-1
26 a 90	8	8	0	2	1	2
91 a 150	13	13	0	3	3	4
151 a 280	20	20	1	4	4	5
281 a 500	32	32	2	5	6	7

8.3 AMOSTRAGEM PARA ENSAIOS DESTRUTIVOS

Os tubos aprovados nos exames dimensional e visual devem ser submetidos aos ensaios de índice de fluidez, resistência à tração, resistência à pressão interna de curta duração a 20°C, resistência à pressão interna de curta duração a 80°C, estabilidade dimensional, retração circunferencial e dispersão de pigmentos, conforme itens 4.3.7 a 4.3.11 e 4.2.5 e com a amostragem estabelecida na Tabela 22.

TABELA 22 - Plano de amostragem para os ensaios destrutivos

Tamanho do lote (bobinas ou barras)	Tamanho da amostra		Bobinas ou barras defeituosas			
	1ª amostra	2ª amostra	1ª amostra		2ª amostra	
			Ac-1	Rej-1	Ac-1	Rej-1
26 a 150	3	-	0	1	-	-
151 a 500	8	8	0	2	1	2

8.3.1 As bobinas ou barras de tubos dos quais foram retirados os corpos-de-prova para execução dos ensaios, conforme 8.3, devem ser aceitos pelo comprador como se tivessem seu comprimento total, antes da extração dos respectivos corpos-de-prova.

ANEXO A (NORMATIVO)

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE TUBO

A.1 MÁXIMA PRESSÃO DE OPERAÇÃO (MPO)

A máxima pressão de operação (MPO) é definida em função da temperatura, fluido, condições de operação e vida útil desejada, aplicando-se fatores sobre a pressão nominal (PN).

Assim,
$$MPO = PN \cdot Ft \cdot Ff \cdot Fo \cdot Fv$$

A.1.1 Fator de resistência à pressão em função da temperatura

O fator de resistência à pressão em função da temperatura (F_t) é determinado baseando-se na curva de regressão obtida pelo método de extrapolação ISO TR9080, donde extrai-se o valor da tensão circunferencial (σ) para a temperatura e vida útil de 50 anos. Aplica-se sobre (σ) o fator de segurança (FS) de 1,25 para obter a tensão de dimensionamento (σ_d) na temperatura desejada. A pressão de operação resultante é obtida pela fórmula

$$MPO = PN \cdot Ft; \text{ onde } Ft = \sigma_d / \text{Série (2; 5; 6.3 ou 8)}$$

Para temperaturas de 27,5°C a 50°C aplicar os valores de F_t conforme Figura A.1 e Tabela A.1.

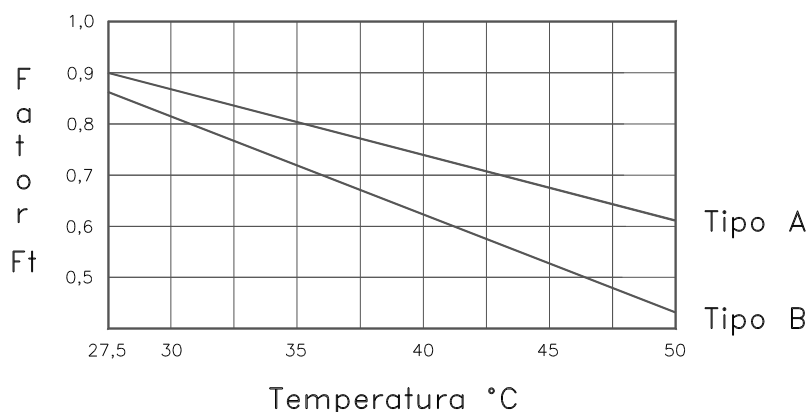


FIGURA A.1 - Fatores de redução de pressão em função da temperatura e tipo do composto

TABELA A.1 - Fatores de redução de pressão para temperaturas entre 27,5°C e 50°C

Composto	Temp °C					
	27,5	30	35	40	45*	50*
Tipo A	0.90	0.87	0.80	0.74	0.67	0.61
Tipo B	0.86	0.81	0.72	0.62	0.52	0.43

Nota: * limitado a vida útil máxima de 15 anos

A.1.2 Fator de resistência à pressão em função do fluido (Resistência química)

O fator de redução de pressão em função do fluido (Ff) deve ser obtido através de ensaios de pressão executados com o próprio fluido e relacionados com os resultados obtidos em água para um mesmo tempo de ruptura:

$$Ff = \sigma_{\text{fluido}} / \sigma_{\text{água}}$$

Genericamente observa-se a seguinte resistência química do PE:

- Grande resistência a soluções aquosas diluídas;
- Sofre ataque lento de ácidos fortes e agentes oxidantes;
- Sofre ataque lento de hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e clorados;
- Sofre forte ação de stress cracking por detergentes;
- Boa resistência a gás natural e a gases manufaturados de petróleo;
- Somente fluidos pouco ou não voláteis causam danos permanentes. As propriedades do material voltam aos valores originais após a evaporação do agente inchante.

Como referência, adota-se o seguinte critério:

- Condução de água e outros fluidos não corrosivos aos quais o PE é resistente: $Ff = 1$
- Fluidos corrosivos aos quais o PE é resistente: $Ff = 0,63$
- Fluidos corrosivos aos quais o PE é resistente dentro de certos limites: $Ff = 0,4$

A.1.3 Fator de resistência à pressão em função das condições de operação

Em função de condições locais de operação, instalação e riscos adota-se fator de redução de pressão (Fo).

Os valores para Fo variam entre 1 e 0,5 definidos conforme legislações locais e normas técnicas específicas para cada aplicação.

A.1.3.1 Redução de resistência em instalações expostas

Tubos pretos, aditivados e pigmentados conforme esta norma, utilizados em instalações expostas ao tempo, devem ter seu tempo de operação limitado a 15 anos, utilizando fator de operação (Fo) igual a 1.

Tubos não pretos podem ser utilizados em instalações expostas ao tempo por períodos e com fator de operação definidos e comprovados pelo fabricante, porém nunca superior a 5 anos.

A.1.4 Fator de resistência à pressão em função da vida útil

O fator de resistência à pressão em função da vida útil (Fv) é dado na Tabela A.2:

TABELA A.2 - Fatores de resistência à pressão em função da vida útil

anos	1	5	15	25	50
Fv	1,14	1,08	1,06	1,04	1

A.2 RESISTÊNCIA À PRESSÃO DE COLAPSO E TRANSIENTES HIDRÁULICOS

A escolha da classe de pressão do tubo deve considerar também a ocorrência de transientes hidráulicos, pressões externas e subpressões, conseqüentes de instalações sob lençol freático ou de ondas de subpressão decorrentes de transientes hidráulicos, que podem levar a tubulação ao colapso.

Os cálculos destes fenômenos devem ser elaborados por especialistas, levando em consideração fatores como módulo de elasticidade do composto de curta e longa duração, características hidráulicas da linha e da instalação - enterrada, aérea.

Devido ao seu baixo módulo de elasticidade (aprox. 900 MPa a 3 minutos na temperatura de 20°C) a celeridade do tubos de PE é muito menor que a dos materiais convencionais, tendo como conseqüência menores variações de pressão provocadas por transientes hidráulicos. A celeridade deve ser calculada considerando-se tubos de parede espessas.

Para efeito de referência de instalações típicas, adotar os seguintes parâmetros, que toda via, não eliminam a necessidade de cálculos específicos para cada caso:

- Sobrepressão máxima admitida em ondas de curta duração, menores que 3 minutos (transientes hidráulicos):

MPO . 1,5

- Subpressão admitida em ondas de curta duração, menores que 3 minutos (transientes hidráulicos), considerando-se tubo não deformado e não enterrado (adotado fator de segurança sobre a pressão de colapso igual a 2):

TABELA A.3 - Limite de subpressão de curta duração (≤ 3 min)

SDR	Subpressão 3 min. (mca)
32,25	4*
26	7.5*
17	26
13,6	61.5
11	120
9	210
7,25	490

*Na ocorrência de subpressões, dimensionar dispositivos adequados de proteção, como chaminés de equilíbrio, tanques de alimentação unidirecional, etc.

- Pressão externa admitida para cargas de 50 anos a 25°C, considerando-se tubo não deformado e não enterrado (adotado fator de segurança para a pressão de colapso igual a 2):

TABELA A.4 - Limite de pressão externa admitida para cargas de longa duração (50 anos)

SDR	Pressão Externa 50 anos (mca)
32,25	0.45*
26	0.85*
17	2.9
13,6	6.85
11	13.3
9	24
7.,25	54.6

*Na ocorrência de instalações sob lençol freático considerar as condições de aterro.

- Em decorrência da análise destes fenômenos, o projetista deve definir e dimensionar a classe de pressão do tubo e os dispositivos necessários de proteção da linha.

A.3 RESISTÊNCIA À CARGAS DE ATERRO

Os tubos de parede menos espessa, em especial aqueles de SDR > 17, requerem maior atenção do projetista no tocante às cargas de aterro e tráfego para evitar a falha por colapso da tubulação, a exemplo das ondas de subpressão.

Os cálculos devem ser considerados como para tubos de parede espessa e observar o comportamento viscoelástico do polietileno PE. Na ausência de dados precisos sobre o composto do tubo, deve-se adotar como base o módulo de elasticidade de longa duração de 100 MPa, para 50 anos e 25°C.

As diretrizes básicas para um reaterro adequado devem seguir as seguintes premissas:

- O material de aterro e o conseqüente grau de compactação são preponderantes para a resistência às cargas de colapso. Portanto as boas técnicas usuais para tubos convencionais de parede fina devem ser obedecidas;
- Retirar pedras e outros materiais cortantes da vala antes do assentamento da tubulação;
- Não arrastar a tubulação sobre materiais ou pedras cortantes. Sulcos ou ranhuras nos tubos com mais de 10% da espessura de parede são inadmissíveis;
- Em decorrência da análise das cargas de tráfego e aterro, o projetista deve definir e dimensionar a classe de pressão do tubo e as especificações de solo, profundidade e grau de compactação do reaterro.

A.4 ESTOCAGEM, MANUSEIO E TRANSPORTE

Devem ser observados os cuidados indicados em A.4.2 a A.4.5 para manter a integridade dos tubos durante a estocagem, manuseio e transporte dos tubos:

A.4.2 Verificar que os tubos não fiquem expostos a fontes de calor, como escapamentos de veículos e agentes químicos agressivos, como solventes;

A.4.2 Amarrar e acondicionar adequadamente as cargas de tubos para que não se soltem durante o transporte. Nunca prender ou carregar os tubos com cintas metálicas ou cordas;

A.4.3 Para a movimentação de cargas de tubos, utilizar cintas não metálicas e largas, próprias para carga;

A.4.4 Ao estocar, preparar uma base de apoio adequada com calços de madeira largos;

A.4.5 respeitar as alturas máximas de estocagem, conforme Tabela A.5

TABELA A.5 - Altura de estocagem de tubos em barras em função do SDR

SDR	32,25	26	≤ 17
altura (m)	2,1	2,8	3

ANEXO B (NORMATIVO)

CONDIÇÕES PARA USO DE MATERIAL REPROCESSADO

B.1 O reprocessamento de material para reaproveitamento na produção de tubos somente será permitido no caso de tubos rejeitados por falha dimensional e/ou não usados desde que advenham da própria fabricação do transformador.

B.2 Não é permitido regranular tubos que apresentem em sua superfície marcas ou sinais de materiais degradados, ou delaminações, ou qualquer impureza, como materiais degradados que se desprendem de matrizes e se agregam à superfície do tubo.

B.3 Não é permitida a mistura de material reprocessado com materiais virgens ou não, de fabricantes ou tipos diferentes, mesmo que advenha do mesmo transformador do tubo ou do fabricante de compostos.

B.4 Em qualquer fase do processo de regranulação, incluindo seu transporte, retalhamento, moagem, limpeza, armazenagem e embalagem deve ser possível rastrear o tipo, marca e procedência do composto.

B.5 A partir da linha de extrusão, os materiais a serem reprocessados não devem ter contato com superfícies sujas de óleo, graxa, solo, pisos e estruturas de concreto, devendo ser depositadas em apoios de madeira ou plástico livres de poeiras e corpos estranhos que possam contaminar o material.

B.6 O processo de lavagem final dos tubos cortados, feita imediatamente antes da moagem, deve garantir a remoção de qualquer material estranho incrustado em sua superfície.

B.7 Deve ser retirada uma amostra pelo menos a cada uma tonelada do material reprocessado para ser submetida ao ensaio de densidade, conforme NBR 11931 ou abpe/M001 ou ISO 1183, não devendo diferir de $\pm 0,003\text{g/cm}^3$ do lote reprocessado e devendo ser $\geq 0,938\text{ g/cm}^3$, se composto preto, ou $> 0,930\text{ g/cm}^3$ se não for preto.

B.8 Deve ser retirada uma amostra pelo menos a cada uma tonelada do material reprocessado para ser submetida ao ensaio de índice de fluidez, conforme NBR 9023 ou DIN/ISO 1133, não devendo diferir de $\pm 25\%$ do composto virgem de origem e devendo ser $\leq 1,3\text{ g/10 min}$.