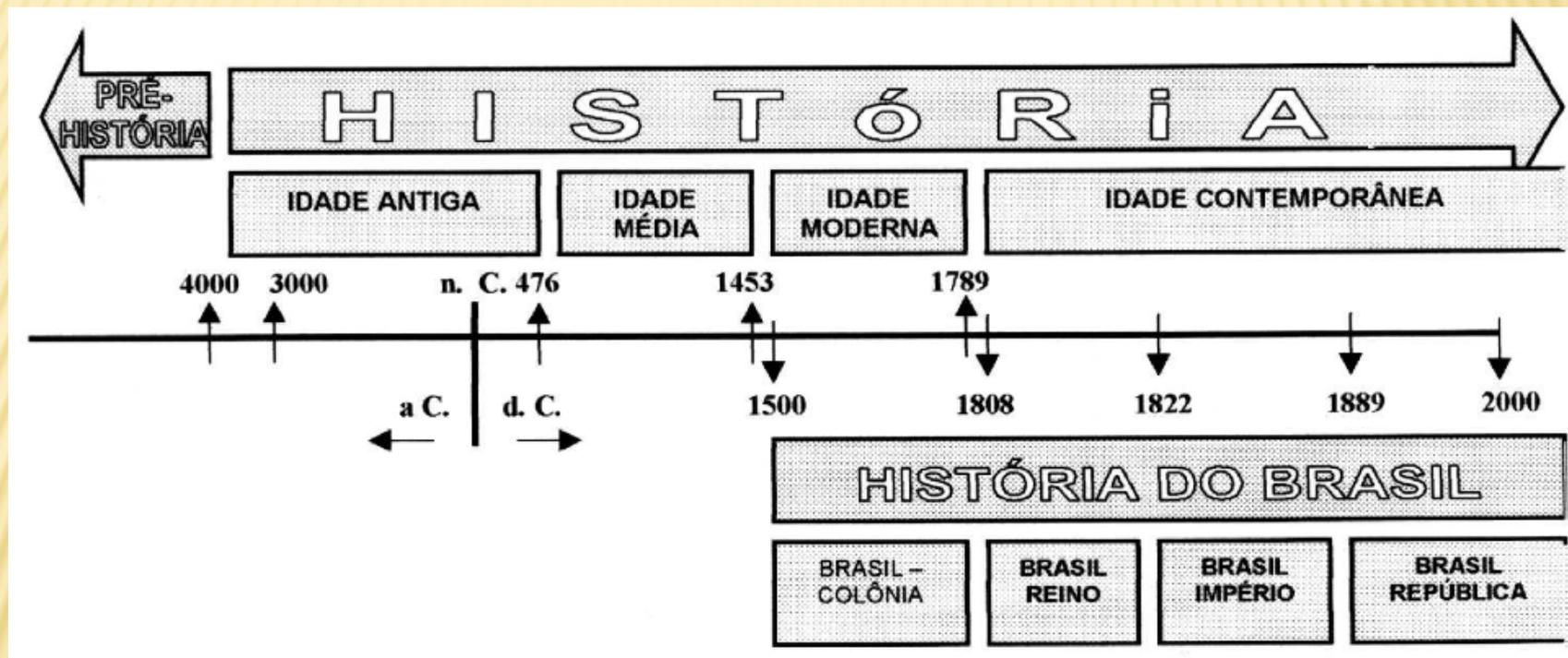


---

**PROPOSTA DE CONEXÃO POR  
TERMOFUSÃO EM TUBULAÇÕES  
EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE**

**RODRIGO CHIMENTI CABRAL**

# LINHA DO TEMPO



# HISTÓRIA DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (ANTIGUIDADE)



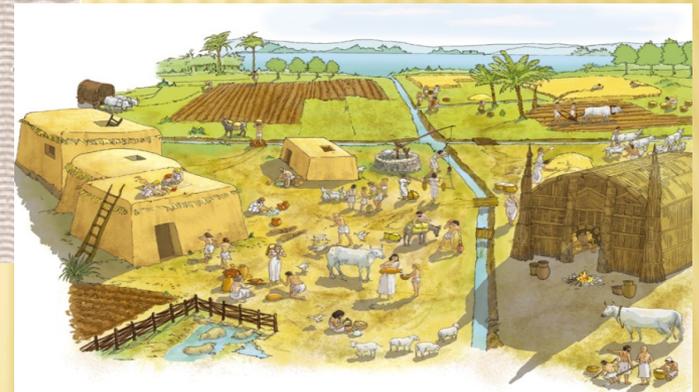
## - Sociedade

- Consumo & Higiene
- Irrigação

## - Atendimento a população

Hidros = água

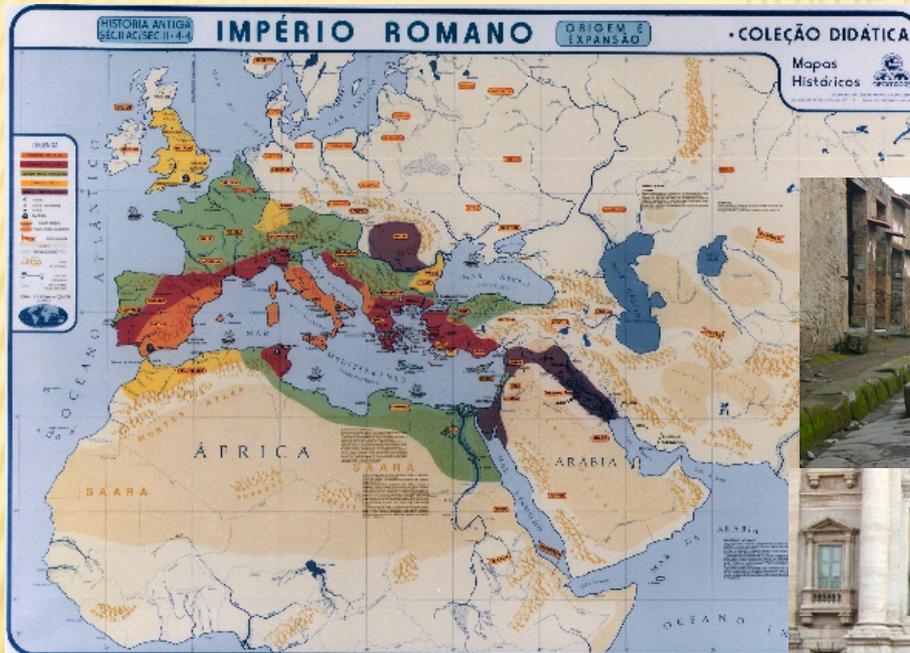
Aulos = condução



- **5.000 a 4.000 A.C.** Babilônia & China – Canais p/ Irrigação  
Mesopotâmia e Egito – Controle Fluxo
- **6.000 a 3.000 A.C.** Knossos (Ilha Creta) primeiras tubulações  
cidade e palácio com tubulações pressurizadas
- **2.000 a 200 A.C.** Anatólia (Ásia menor / Turquia) construídas tubulações, canais, túneis,  
sifões invertidos, aquedutos, reservatórios, cisternas e barragens.
- **4 a 14 D.C.** Epheus - Adutora de 6Km em tubos cerâmicos  
(palácio Faraó c/ cobre 7.000AC)

# HISTÓRIA DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (IDADE MÉDIA)

**300 A.C a 300 D.C:** Engenheiros romanos criaram os primeiros sistemas públicos para abastecimento de água e os grandes aquedutos.



-Ao mesmo tempo que o império romano regrediu a cultura do saneamento, por influência religiosa islâmica, a periferia da Europa se desenvolveu

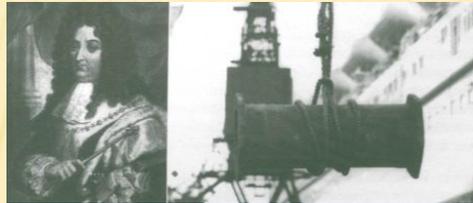
- **500 D.C./1.600 D.C. (=~1.000 anos)** Durante este período, conhecido como a Idade Média, muito pouco foi efetuado com respeito ao desenvolvimento dos sistemas de saneamento públicos de saneamento



# HISTÓRIA DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (IDADE MODERNA)

- 1455 castelo de Dillenburgh na Alemanha foi empregada primeira tubulação em ferro fundido

- 1664 no Palácio de Versailles na França adutora em ferro fundido com mais de 22 km



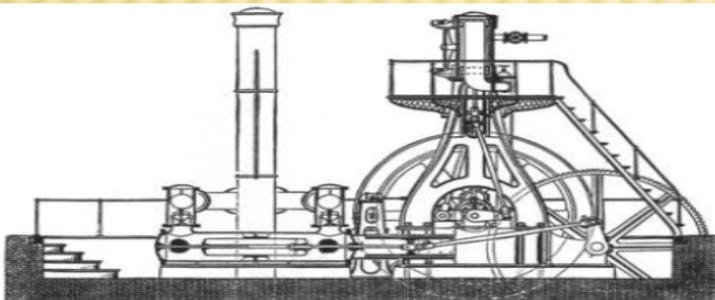
- Em 1237 era construído o primeiro sistema de abastecimento de água encanada de Londres em chumbo

- Romanos já realizavam este tipo de tubulação

*- Ingestão de Chumbo pode causar doença conhecida como "Saturnismo"*

-1652 Boston: Adutora Ferro Fundido

- 1754 Pennsylvania : 1º sistema de abastecimento de água nos Estados Unidos pressurizadas por elevatórias de águas com bombas tocadas a vapor em ferro fundido



# HISTÓRIA DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (BRASIL)

## Rio de Janeiro

- **1561:** 1º sistema de abastecimento de água no Brasil
- **1648:** início da canalização das águas do rio Carioca, uso de calhas de madeira, montadas nas encostas dos morros.
- **1673** Início das obras de adução de água para a cidade
- **1723:** Construção do primeiro aqueduto
- **1750:** Aqueduto Carioca, com 13 km
- **1810:** 20 chafarizes públicos
- **1860:** Distribuição de 8 milhões de litros por dia
- **1876:** 1º sistema de abastecimento de água encanada tubos de ferro e aparelhos importados da Inglaterra.



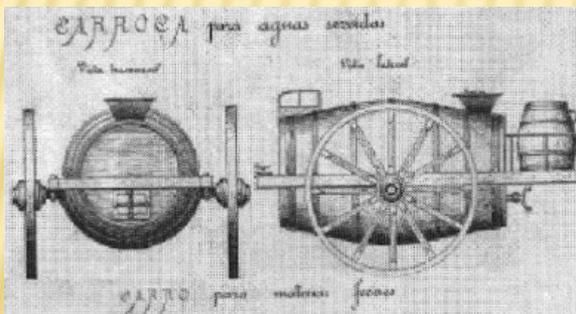
# HISTÓRIA DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (BRASIL)

## São Paulo:

- 1744 –Primeiro chafariz público



- 1746 –Adutoras para os conventos de Santa Teresa e da Luz (Telhas cerâmicas invertidas)



- 1842 –Primeiro projeto de adução e distribuição de água em Ferro Fundido



## HISTÓRIA DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (BRASIL)

- 1861 –Porto Alegre, RS
- 1870 –Santos, SP
- 1880 –Campos, RJ
- 1891 –Campinas, SP
- 1892 –Bofete, SP
- 1897 –Belo Horizonte, MG



# MATERIAIS CERÂMICOS

- Mesopotâmios, Babilônios e assírios usavam argilas

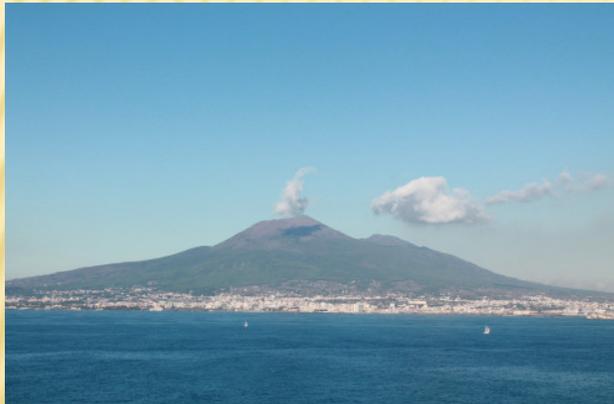


-Indícios apontam utilização de Cal antes de 3.000 a.c.



Barro

-Cinzas do vulcão Vesúvio (Itália)



-Calcário

Óleo de Baleia



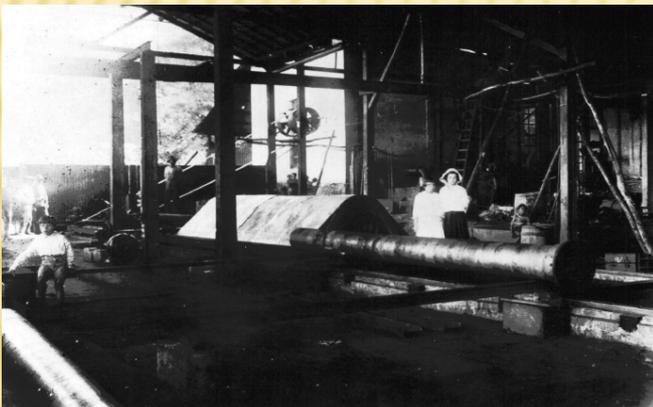
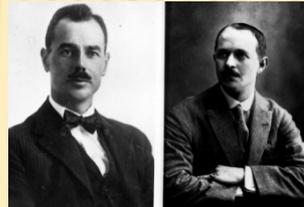
Conchas



# MATERIAIS FERROSOS

## PRODUTOS FERROSOS:

- Ferro: 0 a 0,1 de C
  - Aço: 0,1 a 1,7 de C
  - Ferro Fundido: 1,7 a 5,0 de C
- Até a segunda década do **século XX** eram usados tubos de ferro fundido cinzento que continham lamelas de grafita (Esforços anormais provocariam trincas )

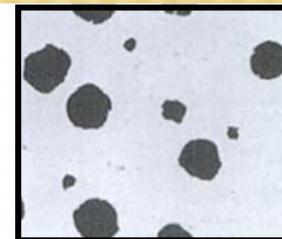


- **1914**: Santos – Brasil: Fernando Arens Jr. & Dimitri Sensaud de Lavaud desenvolveram o processo de centrifugação de tubos de ferro fundido produzindo lamelas mais finas (Maiores resistências em relação ao cinzento)

- **1948**, pesquisas feitas nos EUA e Inglaterra obtiveram ferro com grafita esferoidal, mais conhecido pelo nome de ferro fundido dúctil. (mais resistente)



Ferro fundido cinzento



Ferro fundido dúctil

# MATERIAIS PLÁSTICOS

---

**1839** – Styrol

**1927** – Cloreto de Polivinila (PVC)

**1935** – Descoberta do polietileno (PE)

**1937** – Moldagem por Extrusão de PE

**1941** – PET – Polietileno tereftalato

**1945** – Produção de Filmes de PE

**1947** – Produção de Frascos em PEBD

**1956** – Início dos testes para determinação da vida útil dos tubos, através da extrapolação via modelo matemático.

**1957** – primeira fabricação industrial de resina para tubos, GM5010 (PE63).

**1959** – Término dos testes creep indicando que o material teria vida útil de no mínimo 50 anos. / frascos PEAD

**1977** – Lançamento da resina GM5010T2 bimodal (PE80).

**1989** – Lançamento da resina PE100

**2006** – Encerrado testes de 50 anos – comprovação prática da Curva de Regressão

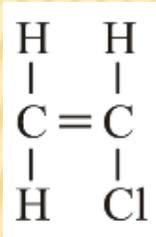
# MATERIAIS PLÁSTICOS

**Plástico** é uma **macromolécula** caracterizada por um **conjunto de monômeros** ;

**Polímeros** como os Plásticos se caracterizam pela **repetição de um mesmo monômero**;

O **grau de polimerização** é o **número de repetições** do monômero que o polímero apresenta.

**Monômero**

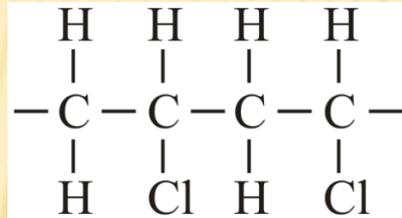


Vinyl Chloride

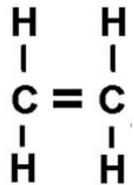
Polymerization



**Polímero**

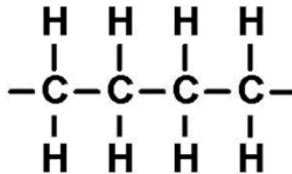


Poly **V**inyl **C**hloride



Etileno

Polymerization



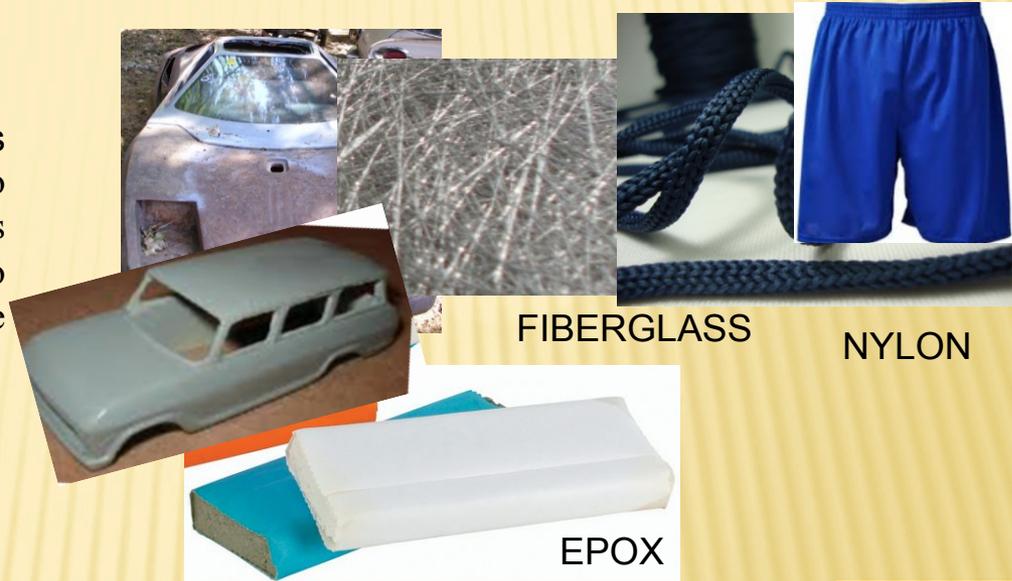
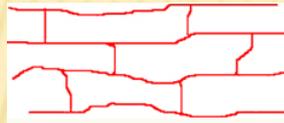
Poli **E**tileno



# CLASSIFICAÇÃO MATERIAIS PLÁSTICOS

Plásticos podem ser classificados:

**Termofixos (Termorígidos):** Após moldagem sofrem um endurecimento permanente, (cura) apresentando moléculas tridimensionais (reticulado), não permitindo seu reprocessamento, pois se reaquecidas, se desintegram antes da fusão do material.

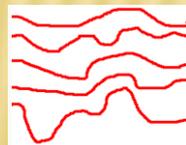


FIBERGLASS

NYLON

EPOX

**Termoplásticos:** Após moldagem não apresentam alterações moleculares mantendo com a mesma estrutura linear permitindo reprocessamento (reciclagem) e para tubulações com este material apresenta uma grande vantagem, a possibilidade de soldagem.



PET

PEAD

PEBD

PP

PS

PVC

## SIMBOLOGIA DOS TERMOPLASTICOS



**1- PET (Polietileno Tereftalato)** Usado para fabricação de garrafas de refrigerante, garrafinhas de água e óleo e recipientes de produtos como antisséptico bucal e xampu. Na reciclagem, origina produtos como fibra para carpete, tecidos, vassoura e embalagens de produtos de limpeza.



**2- PEAD (Polietileno de Alta Densidade)** Usado em garrafas para iogurte, suco, leite, produtos de limpeza, potes para sorvete e frascos em geral. Após reciclado, origina frascos, tubulação de esgoto e condutas.



**3- PVC (Policloreto de Vinila)** Usado em frascos de produtos de higiene pessoal, brinquedos e embalagens para remédio. Também dá origem a mangueira de jardim, tubulação de esgoto, cones de tráfego e cabos.



**4- PEBD (Polietileno de Baixa Densidade)** Usado em embalagens para leite, iogurte, saquinhos de supermercado, bolsa para soro medicinal, filmes para fraldas descartáveis, bandejas e recipientes em geral. Gera artigos como sacos para lixo e tubulação para irrigação.



**5- PP (Polipropileno)** Usado para fabricar copos plásticos, recipientes para alimentos, remédios e produtos químicos, material hospitalar, embalagens industriais, caixas de bebidas, autopeças, potes para margarina, sorvete, tampas e rótulos. Reciclado, gera caixas e cabos para bateria de carro, caixas e bandejas.



**6- PS (Poliestireno)** Usados em potes e frascos em geral, bandejas de supermercados, geladeiras (parte interna da porta), aparelhos de barbear descartáveis, brinquedos, copos e pratos descartáveis, placas para isolamento térmico e acessórios para escritório.



**7- (Outros)** O símbolo é empregado para produtos plásticos fabricados com policarbonato, ABS, poliamida, acrílicos ou uma combinação de materiais

# POLIETILENO – ORIGEM DA MATÉRIA PRIMA

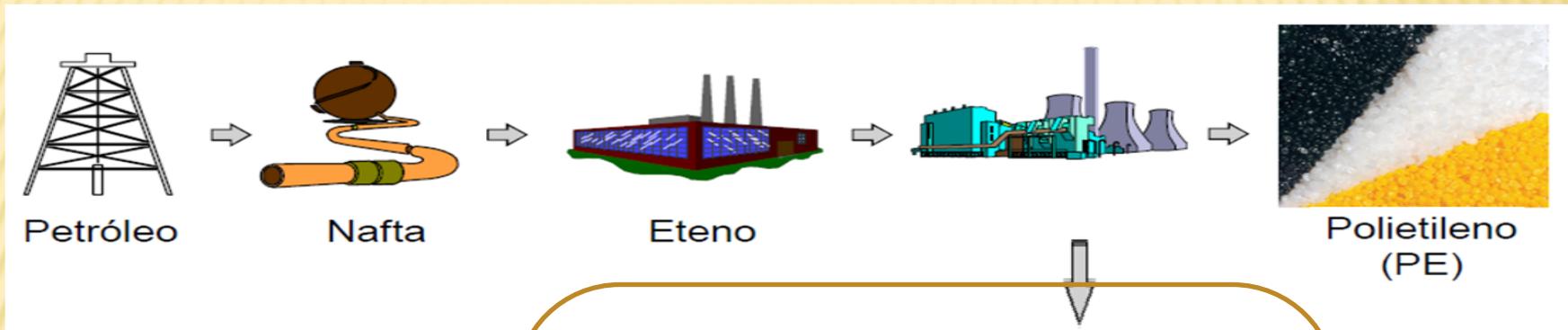
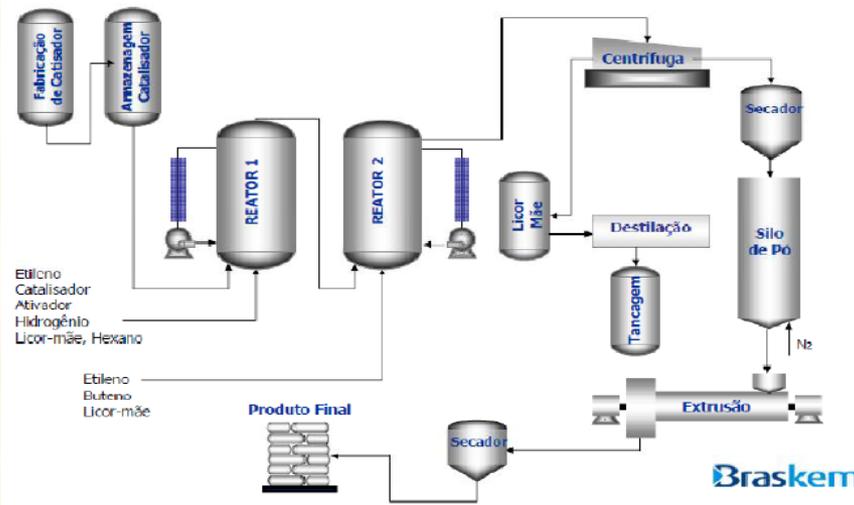


Diagrama Geral da Planta PE5 Slurry



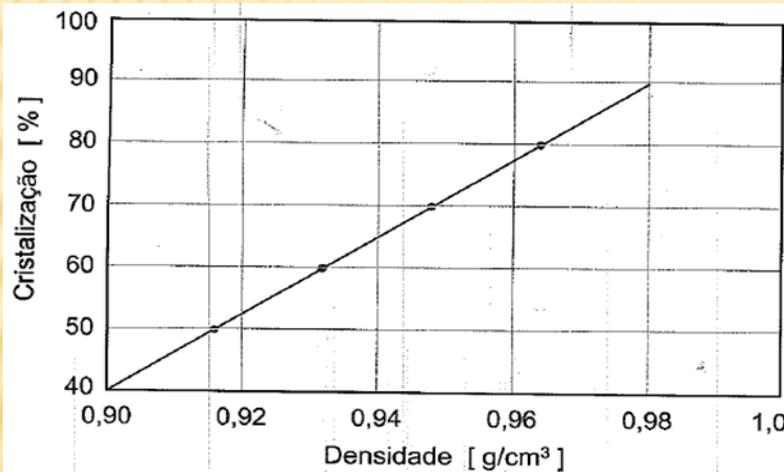
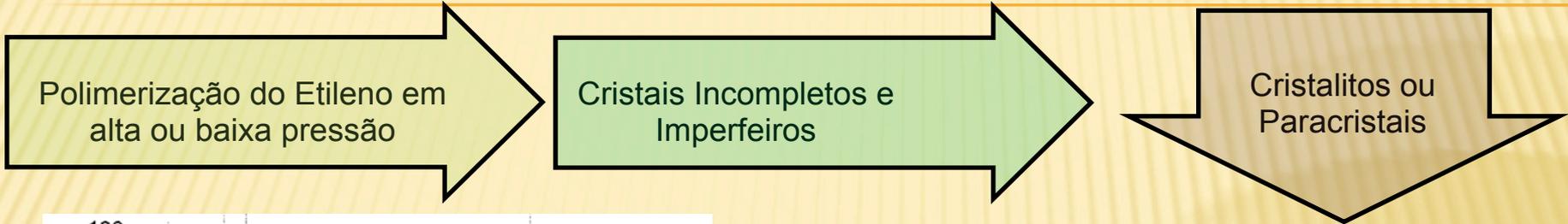
## Variando:

- pressão;
- Temperatura;
- Catalizadores;
- Quantitativos na polimerização

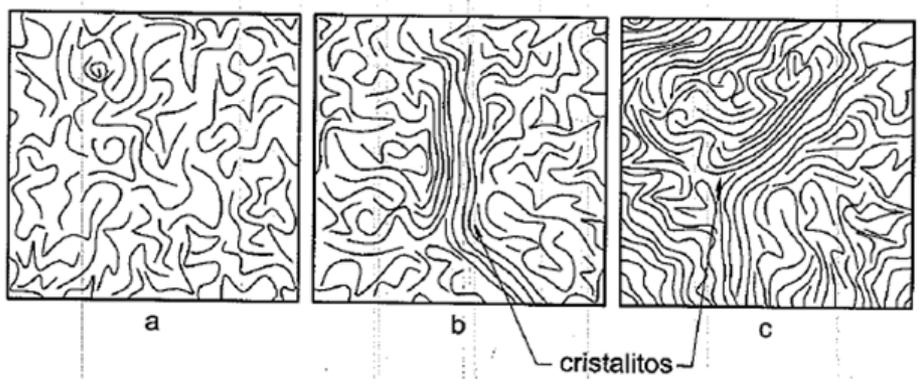
## Produtos de diferentes :

- Pesos moleculares;
- Densidades;
- Resistências mecânicas (maiores ou menores)

# POLIETILENO - CRISTALIZAÇÃO E A DENSIDADE



- **Alta pressão** = cadeias muito ramificadas; ramificações longas e curtas; 10 a 30 ramificações/1000 átomos de carbono.
- **Baixa pressão** = cadeias pouco ramificadas; 1 a 5 ramificações /1000 átomos de carbono; aproximação das cadeias adjacentes ; **maior grau de cristalização**



# ADITIVOS

Principais para aumento da **vida útil** contra termoxidação e fotoxidação

**Antiestatica** (blindagem eletromagnética em aparelhos eletrônicos)



**Chama** (flamabilidade)



**Antibloqueios** (Filmes tubulares)



**Cargas** (fibra de vidro ou mica para rigidez e elastômero para resiliência indústria automotiva);



**Negro de fumo** que é um dos mais efetivos filtro de luz



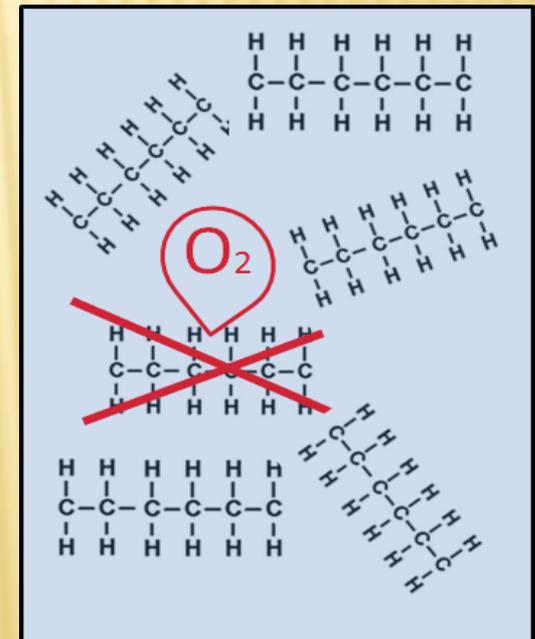
**Pigmentos** que podem inorgânicos oferecendo melhores resistência à temperatura e os orgânicos que apresentam cores mais vivas

## OXIDAÇÃO POLIMÉRICA (FOTOXIDAÇÃO / TERMOXIDAÇÃO)

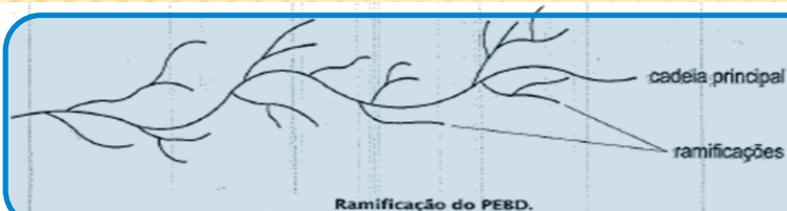
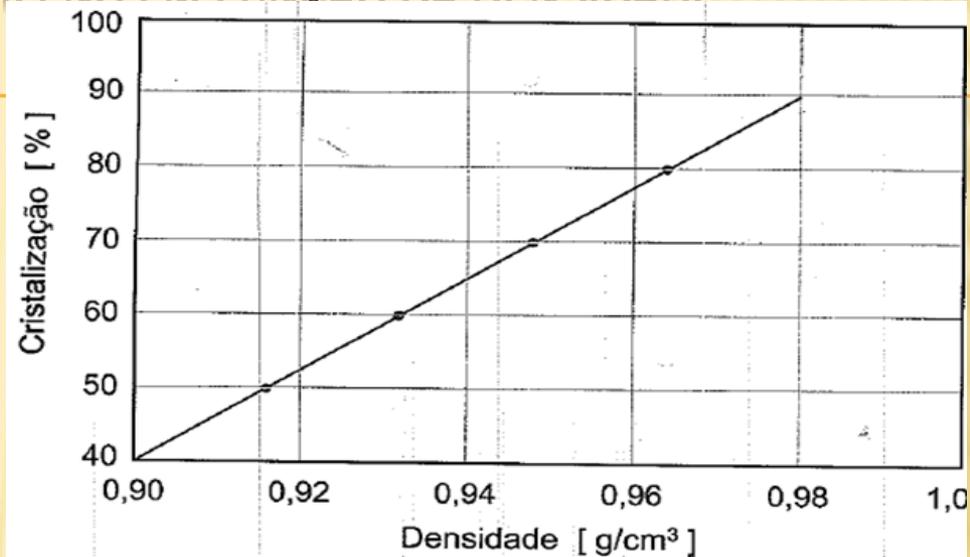
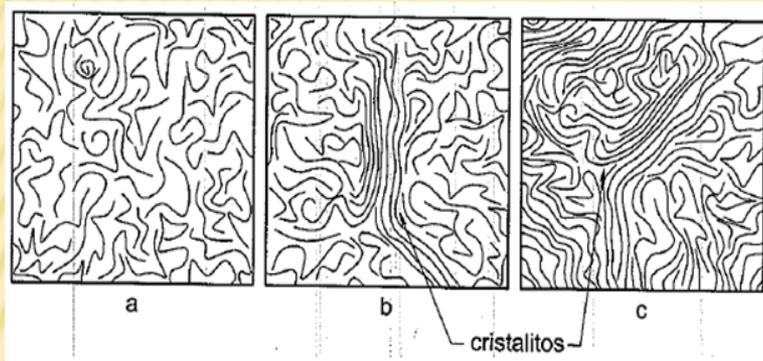


A oxidação de um polímero é uma reação química do oxigênio com a macromolécula sendo acelerada na presença de calor e luz

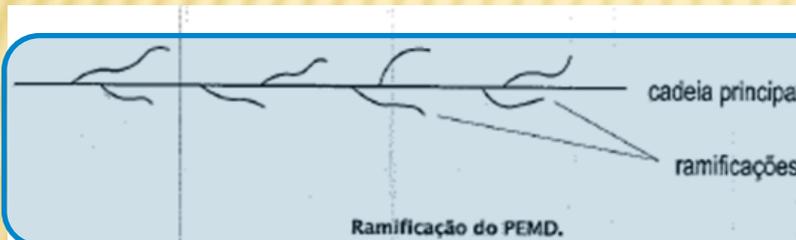
Presença do negro de fumo retarda ou impede a absorção destrutiva de radiação que pode impactar na flexibilidade, resistência mecânica e opacidade do polímero.



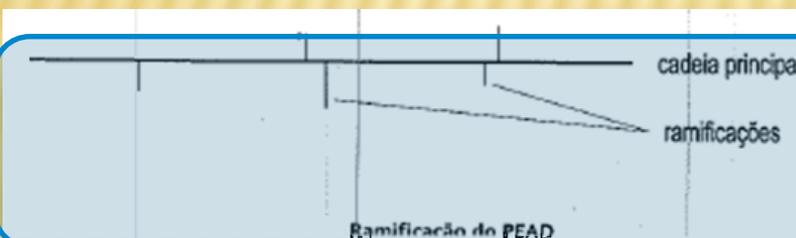
# TIPOS DE POLIETILENO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE



**PEBD** – Ramificações longas; Grau de cristalização entre 35 e 50%; Densidade de 0,915 a 0,925 g/cm<sup>3</sup>



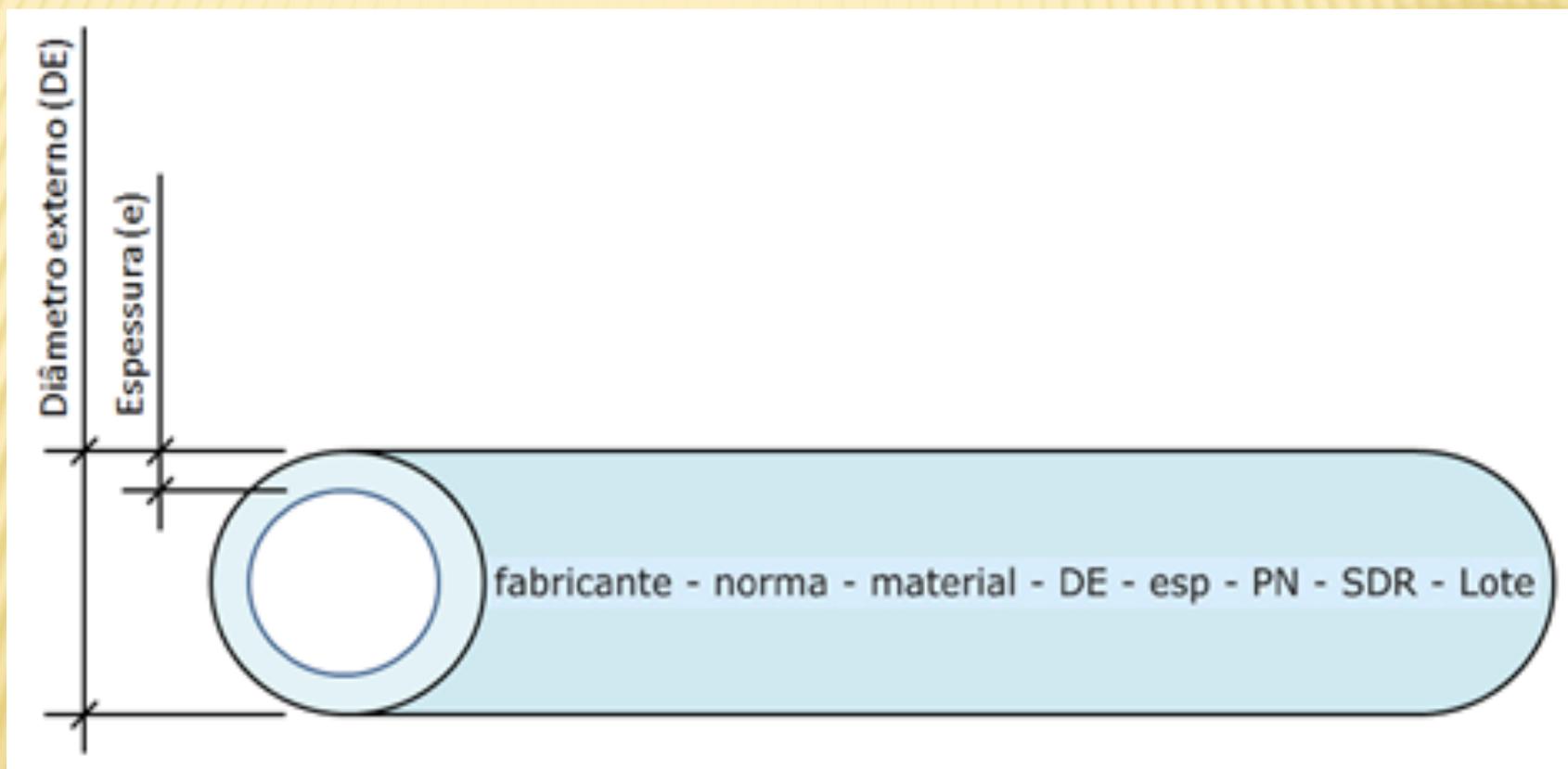
**PEHD** – Ramificações curtas; Grau de cristalização entre 50 e 60%; Densidade de 0,930 a 0,940 g/cm<sup>3</sup>



**PEAD** – Poucas ramificações curtas; Grau de cristalização entre 60 e 80%; Densidade de 0,941 a 0,965 g/cm<sup>3</sup>

(Danietto, 2007)

## TUBULAÇÕES DE POLIETILENO E SUAS CODIFICAÇÕES



## CORES E APLICAÇÕES DE TUBOS PLÁSTICOS

CORES:	Uso de Tubulações Plásticas – Norte Americana	Polietileno no Brasil
	Plastic Pipe Institute / APWA - Associação Americana de Trabalhos Públicos	Gás: ISO 4437 e NBR 14.462 Água e demais aplicações: ISO 4427 ; NBR 15.561 ; NBR 8417 ; DIN 8074 ; NTS 048/194
Vermelho:	Linhas de cabos ou condutes de energia elétrica ou iluminação elétrica;	
Laranja:	Linhas de cabos ou condutes de telecomunicação, alarmes ou sinais;	Gás PE 100
Ocre:		Esgoto
Amarelo:	Combustíveis: óleo combustível, gasolina, diesel, vapor e materiais gasosos derivados do petróleo (metano e propano).	Gás PE 80
Verde:	Águas servidas ou drenagem pluvial	
Azul Escuro:	Água Potável	Água Potável PE 100
Azul Claro:	Água Potável	Água Potável PE 80
Púrpura:	Água de reuso, irrigação e esgoto tratado	Algumas instalações de água de reuso (Ref. Não Encontrada)

## ENSAIOS REALIZADOS

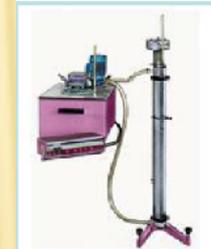
- **Índice de Fluidez (IF)** - influencia nas propriedades Mecânicas, caracterizando o polietileno



- **Densidade** – influencia nas propriedades Mecânicas e caracteriza o polietileno



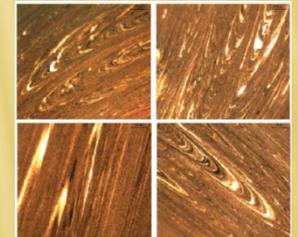
- **Tempo de indução oxidativa (OIT)** - avalia o processamento do produto final



- **Teor de negro de fumo** – proteção ao UV e qualidade do material



- **Dispersão de pigmentos** – qualidade do processamento e material



- **Resistência à pressão hidrostática interna** – resistência à pressão interna do tubo (80°C)  
(Braskem, 2015)

# RUPTURAS DE TUBULAÇÕES EM PEAD

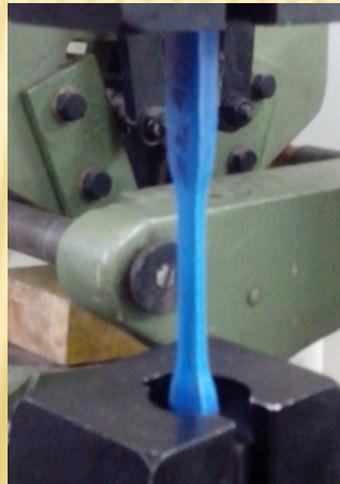
## Ruptura dúctil



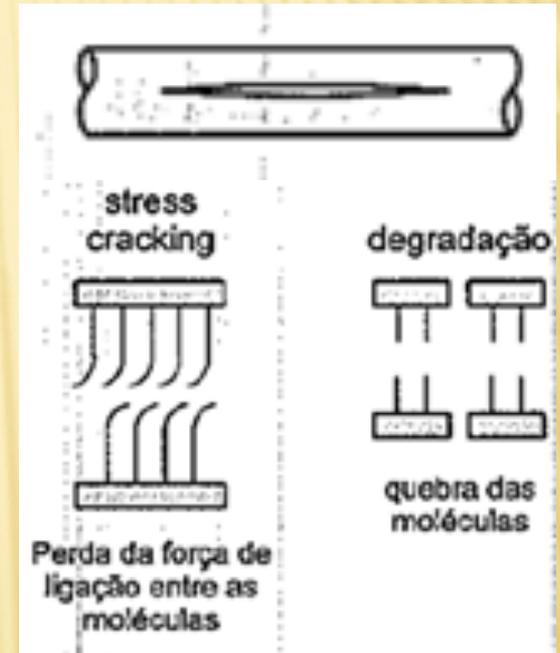
Grande alongamento na direção do esforço;

Após a deformação do cristalito ocorre a ruptura;

Ruptura ocorre no sentido transversal.



## Ruptura frágil



Microfissuras e arestas fiadas em sentido perpendicular ao esforço

Observadas em região “amorfa” onde não se cristalizou

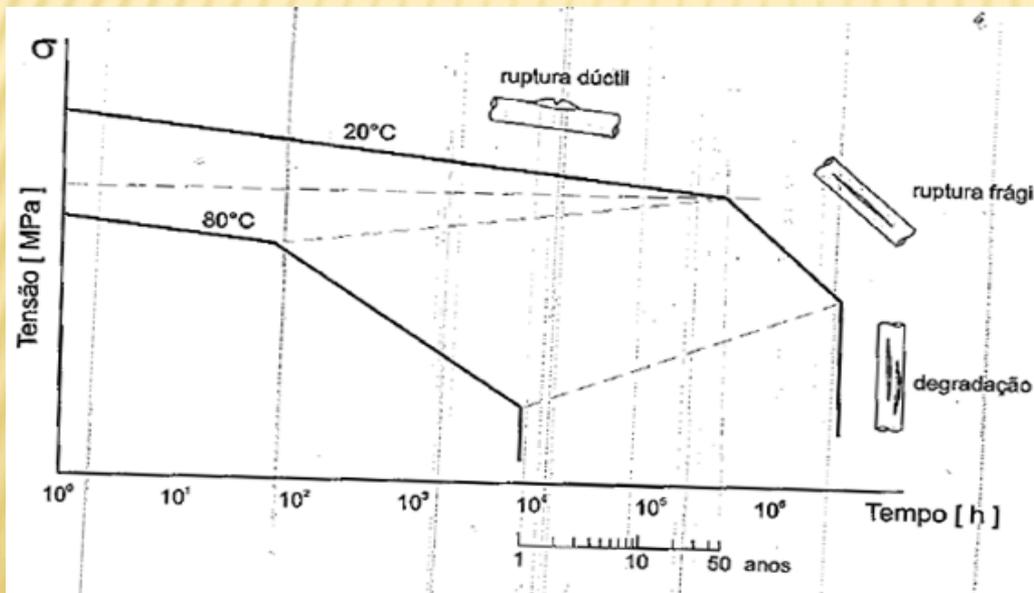
Ocorre geralmente a longo tempo em tensões 50% abaixo da tensão de escoamento

## CURVAS DE REGRESSÃO PARA TUBOS EM PEAD

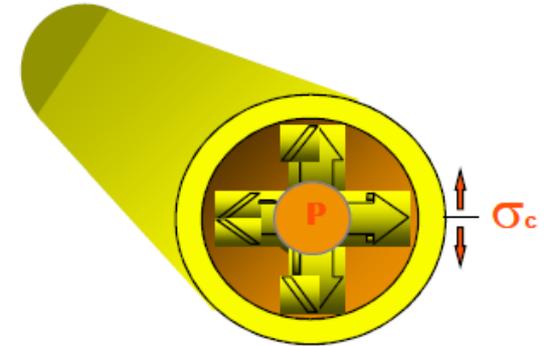
Resistencia do plástico varia com o tempo:

- Vida útil varia com o tempo e esforços;
- Inversamente proporcional ao tempo;
- Inversamente proporcional aos esforços.

**Analise** da tubulação através de curvas de regressão, que constituem um gráfico (**tensão circunferencial**) x tempo para uma determinada **temperatura de trabalho** por cada densidade de PEAD (cada material).



$\sigma_c$  - Tensão Circunferencial



$$\sigma_c = \frac{P \cdot D_m}{2e}$$

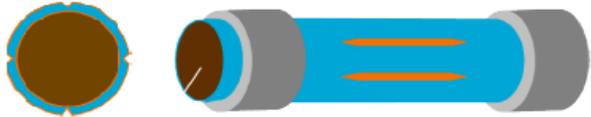
$P$  = pressão interna

$e$  = espessura

$D_m$  = diâmetro médio =  $D_i + e$

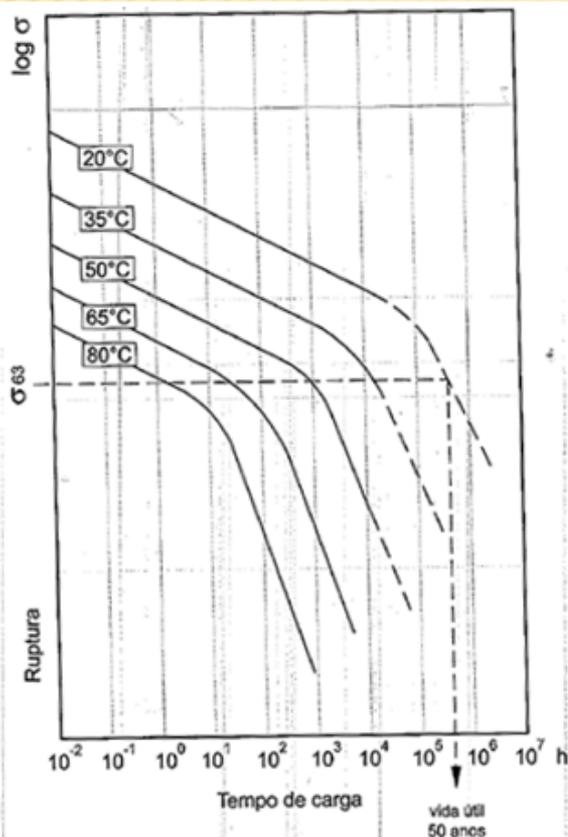
$D_i$  = diâmetro interno

## CLASSIFICAÇÃO DO PEAD QUANTO A TENSÃO CIRCUNERENCIAL



SCG – Slow Crack Growth (crescimento lento de fissura)  
Mínimo de 500 horas

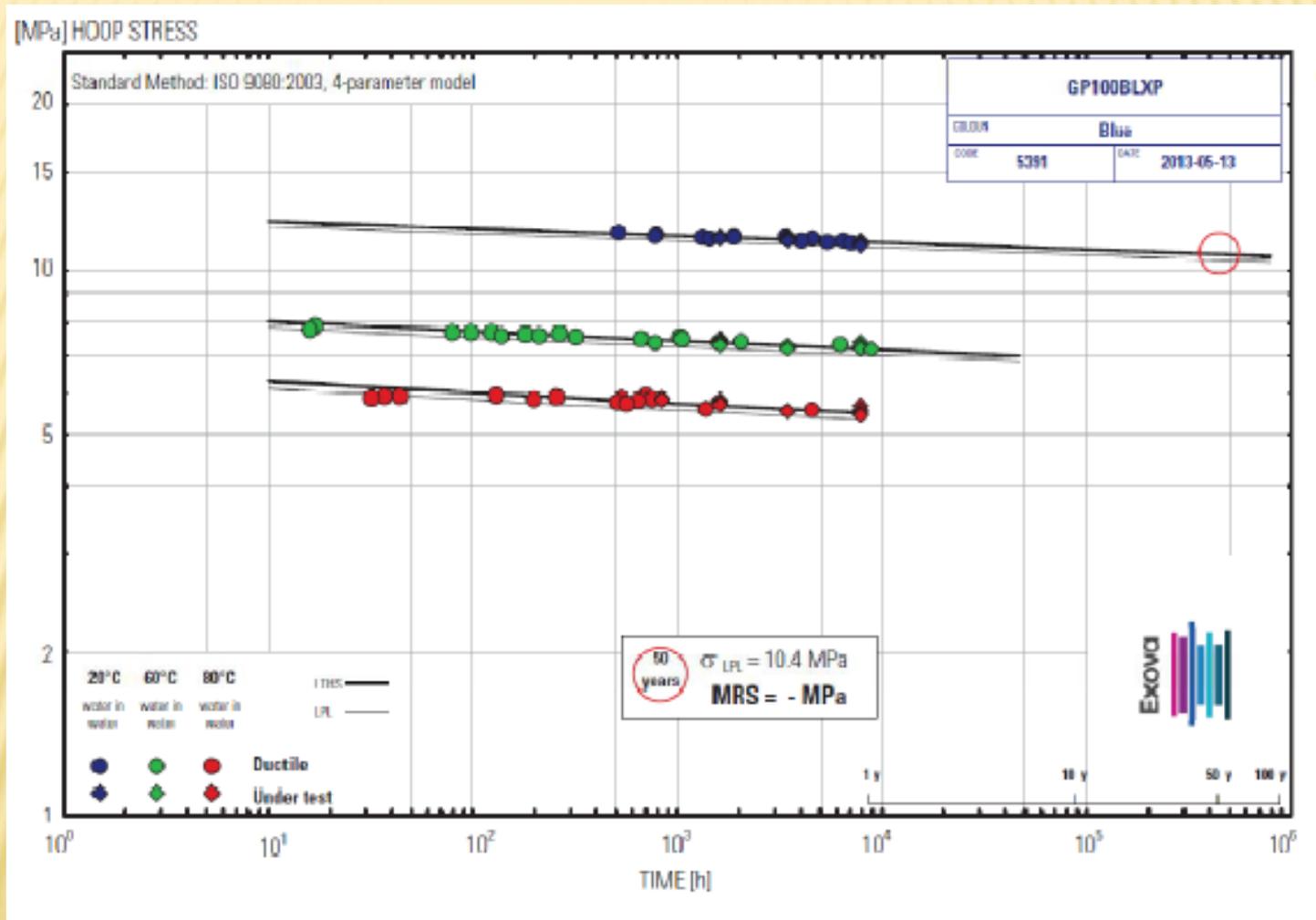
O material é classificado pela Mínima Resistência Requerida (**MRS – Mínimo Required Strength**) assim determinada em MPa, para uma vida útil mínima de 50 anos a 20°C.



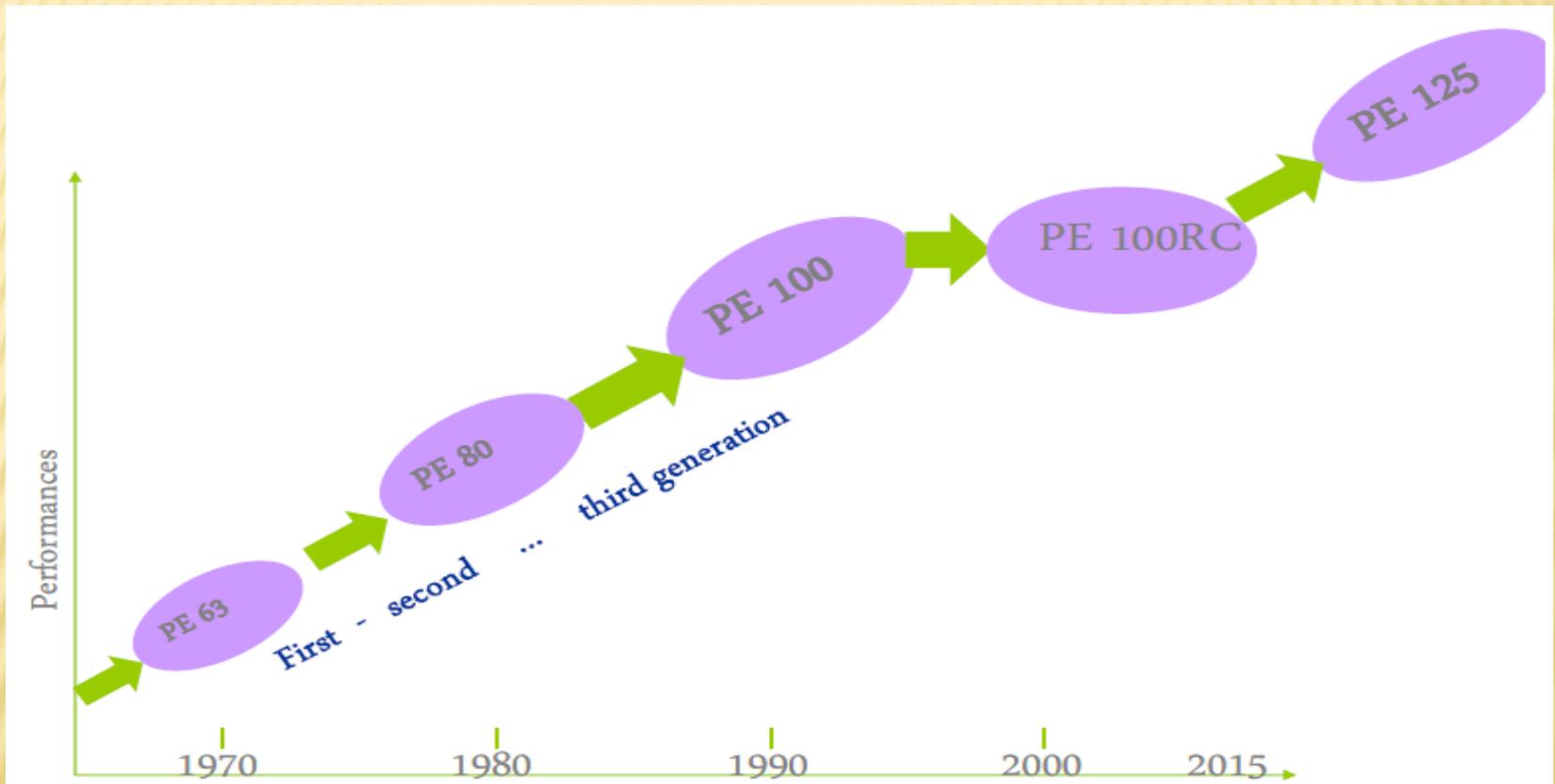
- Relação típica entre tensões de ruptura e tempo para PEAD. A linha contínua é obtida em testes e a tracejada por extrapolação (curvas de regressão).

- **(MRS8) PE 80:** Mais Flexível; usado em ramais sendo fornecidos em BOBINA (PE 80) com 100 m de comprimento com Diâmetro Externos (DE) 20 mm e (DE) 32mm. NBR 8417; NTS048. (ABPE, 2013).
- **(MRS10) PE 100:** Menos flexível, mais resistente a cisalhamento (cortes, danos superficiais) maior resistência a propagação de ruptura sendo preferencial para utilização em redes e adutoras podendo ser fornecidos em BARRAS ou BOBINAS, também em PE 80 NBR 15.561; NTS 194; EN 12.201-2. (ABPE, 2013).

# CURVA DE REGRESSÃO DO PEAD MRS 10 (PE100)



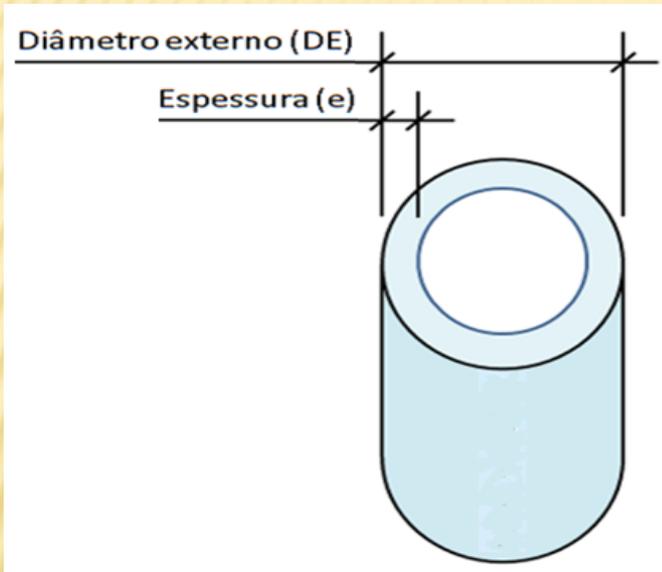
## EVOLUÇÃO DO PEAD QUANTO A TENSÃO CIRCUNERENCIAL



PE100 RC: Alta resistência à fissuração (resistência ao lento crescimento da fratura SCG > 8760 horas de acordo com a ISO 13479 e teste FNCT > 8760 horas de acordo com a ISO 16770)

## RELAÇÕES GEOMÉTRICAS E PRESSÕES NOMINAIS

A Pressão Nominal (PN em bar) do tubo é definida em função do MRS (MPa) e suas dimensões conforme fórmula abaixo:

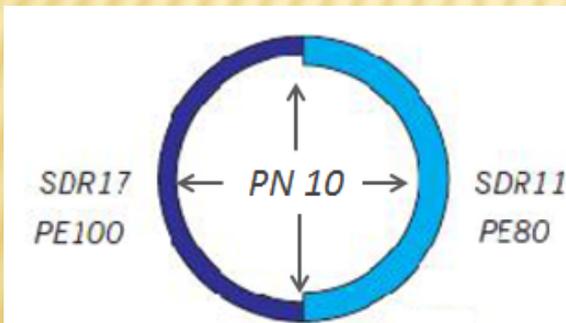


$$PN = \frac{20 * (MRS)}{C * [ (SDR) - 1 ]}$$

Onde:

- PN = Pressão Nominal em bar;
- C = Fator de Segurança aplicado (1,25);
- MRS = Mínimo Required Strength (Mpa);
- SDR = "Standard Dimension Ratio" = (DE/e).

1MPA = 10 BAR = 100 M.C.A  
PN 10 = 10 BAR = 100 M.C.A



MRS	SDR = RELAÇÃO DE/e		
	PN 8	PN 10	PN 16
8	17	11	9
10	21	17	11

(FGS, 2015)

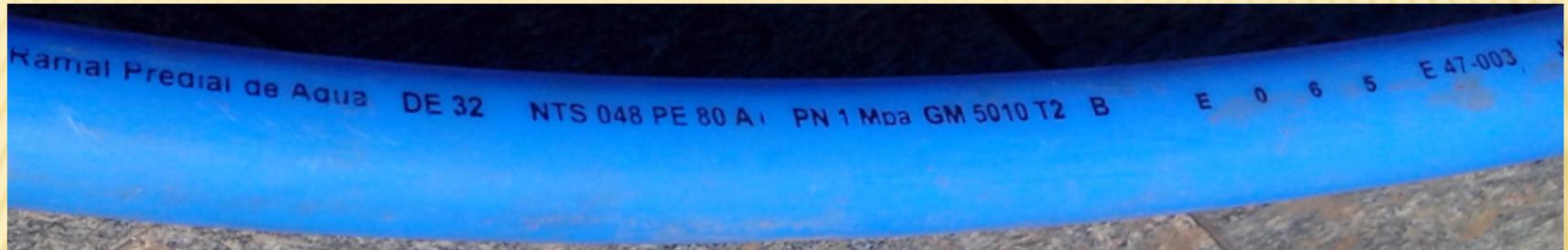
## FORNECIMENTO DE TUBULAÇÕES PARA REDES EM PEAD

		BOBINA				BARRA	
		PE 80		PE 100 <sup>(p)</sup>		PE 100 <sup>(p)</sup>	
		SDR13,6	SDR 11	SDR13,6	SDR 11	SDR 13,6	SDR 11
DE	DN	PN	PN	PN	PN	PN	PN
63	50	10	12,5	12,5	16	12,5	16
		PE 80		PE 100 <sup>(p)</sup>		PE 100 <sup>(p)</sup>	
		SDR 17	SDR 11	SDR 17	SDR 11	SDR 17	SDR 11
DE	DN	PN	PN	PN	PN	PN	PN
90	75	8	12,5	10	16	10	16
110	100	8	12,5	10	16	10	16
160	150	-	-	-	-	10	16
200	-	-	-	-	-	10	16
250	-	-	-	-	-	10	16
315	300	-	-	-	-	10	16

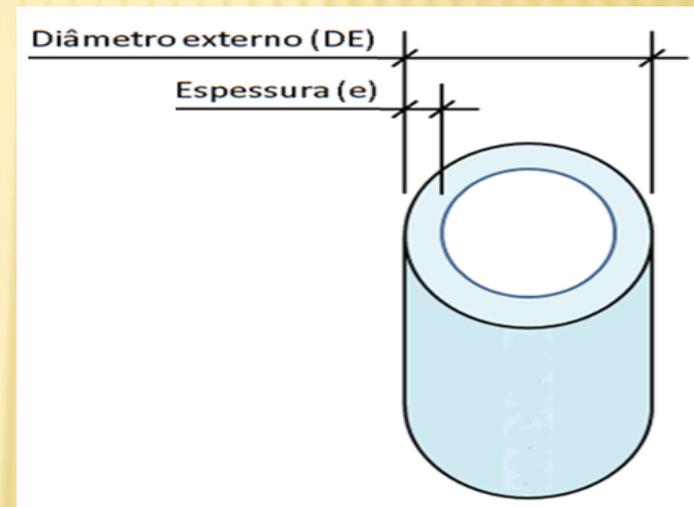
(p) = preferencial – PE 100 - Via de regra: DE 63 SDR 13,6 e DE 90 a 315 SDR 17 (PN 12,5)



## FORNECIMENTO DE TUBULAÇÕES PARA RAMAIS EM PEAD

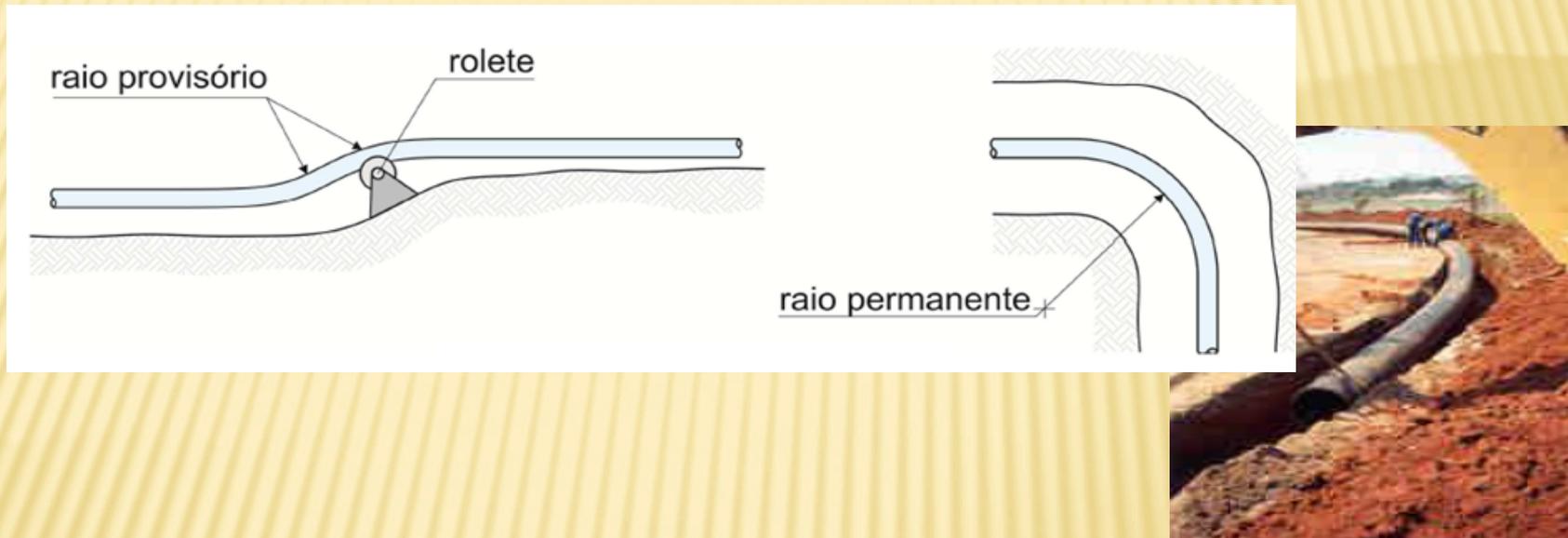


DN	DE (mm)		e	(mm)
20	20,0	+0,3 -0,0	2,3	+0,4 -0,0
32	32,0	+0,3 -0,0	3,0	+0,4 -0,0



- Ramais DE 20mm = SDR 9 – PE 80 (1MPa)
- Ramais DE 32mm = SDR 11 – PE 80 (1MPa)

## RAIOS DE CURVATURA DE TUBULAÇÕES EM PEAD



Raios de curvatura admissíveis em função do SDR

SDR	Raio Permanente (mm)	Raio Provisório (mm)
$\leq 17$	30 . DE	15.DE
21	33 . DE	20.DE
26 a32,25	40 . DE	30.DE
41	50 . DE	35.DE

## PRESSÕES EXERCIDAS NAS TUBULAÇÕES

- **PSA** = Pressão de serviço admissível com total segurança, de forma contínua e em regime hidráulico permanente, excluindo golpes de aríete;
- **PMS** = Pressão máxima de serviço que um componente pode suportar o golpe de aríete;
- **PTA** = Pressão hidrostática máxima admissível, no teste de campo, de um componente de uma tubulação recém-instalada;
- **PN** = Pressão Nominal expressa por um número utilizado como referência. Todos os materiais com flanges de um mesmo DN e designados por um mesmo PN tem as dimensões dos flanges compatíveis.

# PRESSÕES MÁXIMAS DE SERVIÇO (PMS) EM TUBULAÇÕES DE PEAD

## Sobrepessão Máxima Admissível (Transientes Hidraulicos) PSO

**MPO = Máxima Pressão de Operação = Pressão de Serviço (ABPE, 2013)**

**Pressão de derviço = 1 x PN a 25°C**

**PSO = 1,5 MPO (transientes hidráulicos)**

**portanto PSO = 1,5 x PN a 25°C**

DE	DN	PRESSÃO NOMINAL (PN)				PSO = Sobrepessão Máxima Admissível devido a Transientes Hidráulicos (1,5 * MPO 25°C)				PMS = Sobrepessão Máxima Admissível devido a Transientes Hidráulicos (MPa)			
		PE 80		PE 100		PE 80		PE 100		PE 80		PE 100	
		SDR 13,6	SDR 11	SDR 13,6	SDR11	SDR 13,6	SDR 11	SDR 13,6	SDR11	SDR 13,6	SDR 11	SDR 13,6	SDR11
63	50	10	12,5	12,5	16	15	18,75	18,75	24	1,5	1,9	1,9	2,4
		SDR 17	SDR 11	SDR 17	SDR11	SDR 17	SDR 11	SDR 17	SDR11	SDR 17	SDR 11	SDR 17	SDR11
90	75	8	12,5	10	16	12	18,75	15	24	1,2	1,875	1,5	2,4
110	100	-	-	10	16	-	-	15	24	-	-	1,5	2,4
160	150	-	-	10	16	-	-	15	24	-	-	1,5	2,4
200	-	-	-	10	16	-	-	15	24	-	-	1,5	2,4
250	-	-	-	10	16	-	-	15	24	-	-	1,5	2,4
315	300	-	-	10	16	-	-	15	24	-	-	1,5	2,4

**(CABRAL, 2015)**

## COMPARATIVOS ENTRE PRESSÕES MÁXIMAS DE SERVIÇO (PMS) EM TUBULAÇÕES DE FOFO; PVC E PEAD

TUBOS	DN (mm)	PMS (MPa)	
		mín.	máx.
Tubo PVC classe 12; 15 e 20 JE PBA	50	0,6	1,0
Tubo PVC classe 12; 15 e 20 JEI PBA	50 a 180	0,6	1,0
Tubo PVC JE DEFoFo	100 a 300		1,0
Tubo PVC JEI DEFoFo	100 a 500		1,0

PMS: pressão máxima de serviço incluindo transientes hidráulicos; 12, 15 e 20 indicam as classes de pressão; JE: junta elástica; JEI: junta elástica integrada.

TUBOS	DN (mm)	PMS (MPa)	
		mín	máx.
Tubo PEAD (PE 100/80) e (SDR 13,6/11)	50	1,5	2,4
Tubo PEAD (PE 100/80) e (SDR 17/11)	75	1,2	2,4
Tubo PEAD (PE 100) e (SDR 17/11)	100 a 300	1,5	2,4

TUBOS	DN (mm)	PMS (MPa)	
		mín	máx
Tubos de Fofo classe K-7 / Junta elástica	150 a 1.200	2,5	6,0
Tubos de Fofo classe K-7 / Junta travada interna	150 a 300	1,2	1,9
Tubos de Fofo classe K-9 / Junta elástica	80 a 2.000	3,1	7,7
Tubos de Fofo classe K-9 / Junta travada interna	80 a 300	1,9	3,0
Tubos de Fofo classe K-9 / Junta travada externa	300 a 1.200	1,7	4,4
Tubos de Fofo classe K-9 / Junta Pamlock	1.400 a 1.800	1,9	3,0

## PERDAS DE CARGA EM TUBULAÇÕES DE ÁGUA (VANTAGEM DOS PLÁSTICOS)

- Diâmetros entre 50 e 3500mm, para cálculos de perdas de cargas, é recomendada a fórmula proposta por Allen Hazen e Gardner S Williams descrita abaixo:

$$J=10.643*Q^{1,85}*C^{-1,85}*D^{-4,87}$$

- Diâmetros (1/2 a 2 polegadas), Fair-Whipple-Hsiao (1930) descritas abaixo:

(aço carbono galvanizado ou não):

$$J=19,8*10^6*Q^{1,88}*D^{-4,88}$$

J = (perda de carga unitária (m/m))

D = diâmetro (m)

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s)

**C = Coefficiente adimensional dependente da natureza (material e estado) das paredes dos tubos**

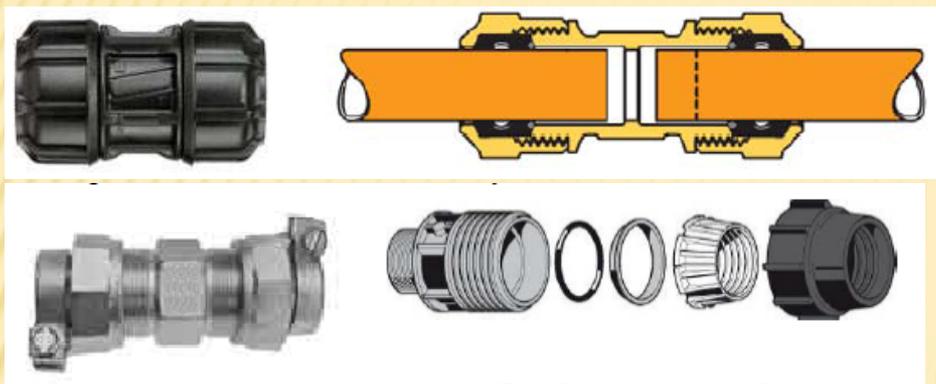
(plástico, cobre ou ligas de cobre):

$$J=8,63*10^6*Q^{1,75}*D^{-4,75}$$

MATERIAL	C	MATERIAL	C
Aço corrugado (chapa ondulada)	060	Cobre	130
Aço com juntas "Look-Bar" novas	130	Concreto bem acabado	130
Aço galvanizado novo e em uso	125	Concreto acabamento comum	120
Aço rebitado novo	110	Ferro fundido novo	130
Aço rebitado em uso	085	Ferro fundido em uso	090
Aço soldado novo	120	Ferro fundido revestido de cimento	130
Aço soldado em uso	090	Grés cerâmico vidrado (Manilha)	110
Aço soldado com revestimento esp. novo e em uso	130	Latão	130
Chumbo	130	Madeira em aduelas	120
Cimento amianto	140	Tijolos condutos bem executados	100
		Vidro	140
		Plástico	140

# CONEXÃO JUNTA MECANICA

## Tipo Compressão:

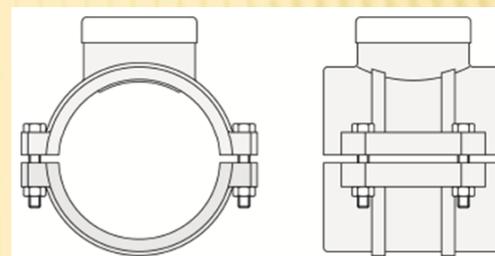


Tês; Uniões; Cotovelos;  
Adaptadores rosqueados.  
Plásticos ou metálicos.



Disponibilidade de diâmetros DE 20 a 400 mm  
(mais usual de DE 20 a 160mm)

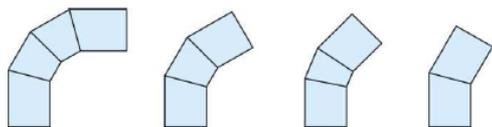
## Tipo Colar de Tomada:



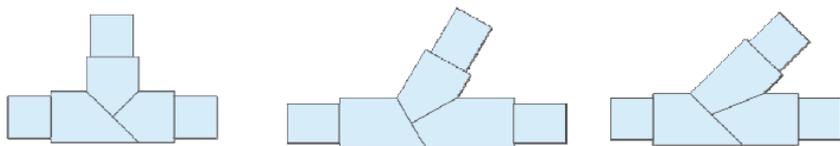
# CONEXÕES TIPO INJETADAS OU GOMADAS

## Gomadas ou segmentadas

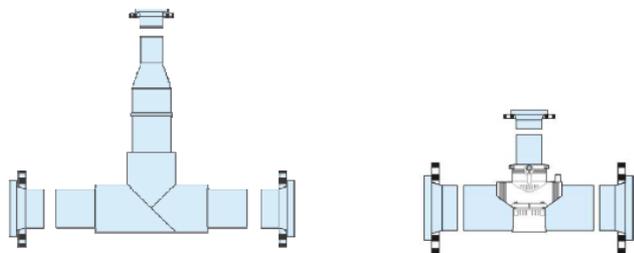
Curvas gomadas 90°, 60°, 45°, 30°, com raio longo (1,5.DE e 3.DE)



Tê gomado 90° ou 60° ou 45°

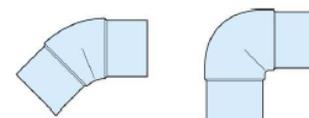


Tês de redução, produzidos com Tê + redução ou por colar de tomada EF



## Conexões injetadas ou usinadas

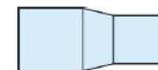
Cotovelo injetado de 45° e 90° - SDR 17 ou 11



Tê 90° e Tê de Redução injetado - SDR 17 ou 11



Redução injetada (SDR 17 ou 11) ou usinada (todos SDRs)



Cap injetado (SDR 17 ou 11) ou usinado (todos SDRs)



Colarinho injetado (SDR 17 ou 11) ou usinado (todos SDRs)



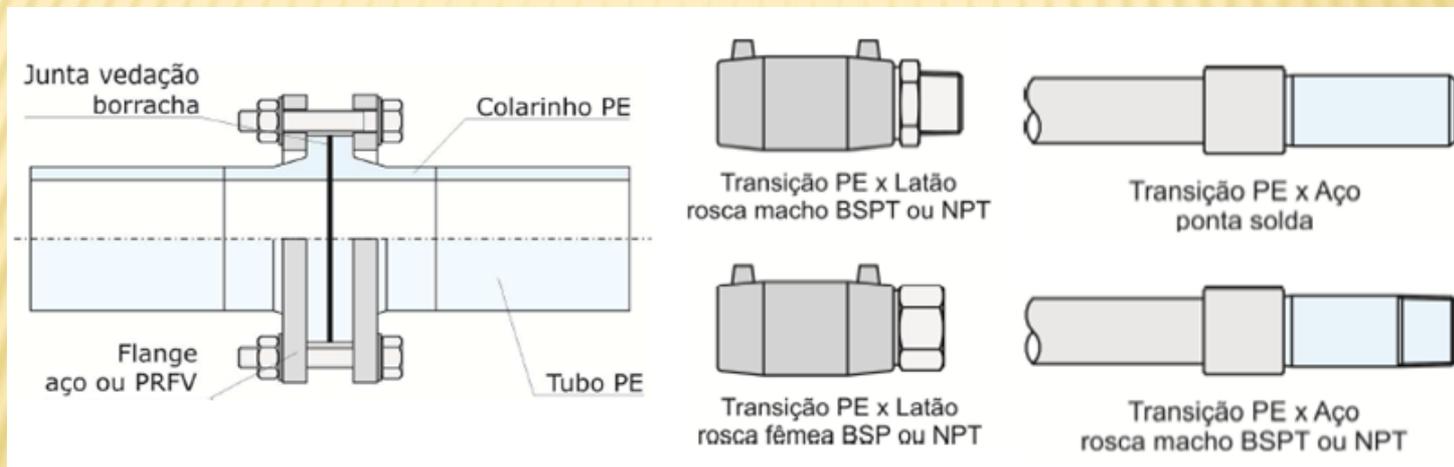
Para Curvas gomadas ou segmentadas são adotadas reduções da resistência mecânica descrita no tubo!

- Para curvas a Pressão Nominal é 80% a descrita!
- Para Tes Pressão Nominal é 50% a descrita!

## CONEXÃO HÍBRIDA OU DE TRANSIÇÃO

Aplicadas em transições de materiais ou elementos de tubulação em geral em **transições entre tubos de materiais diferentes**:

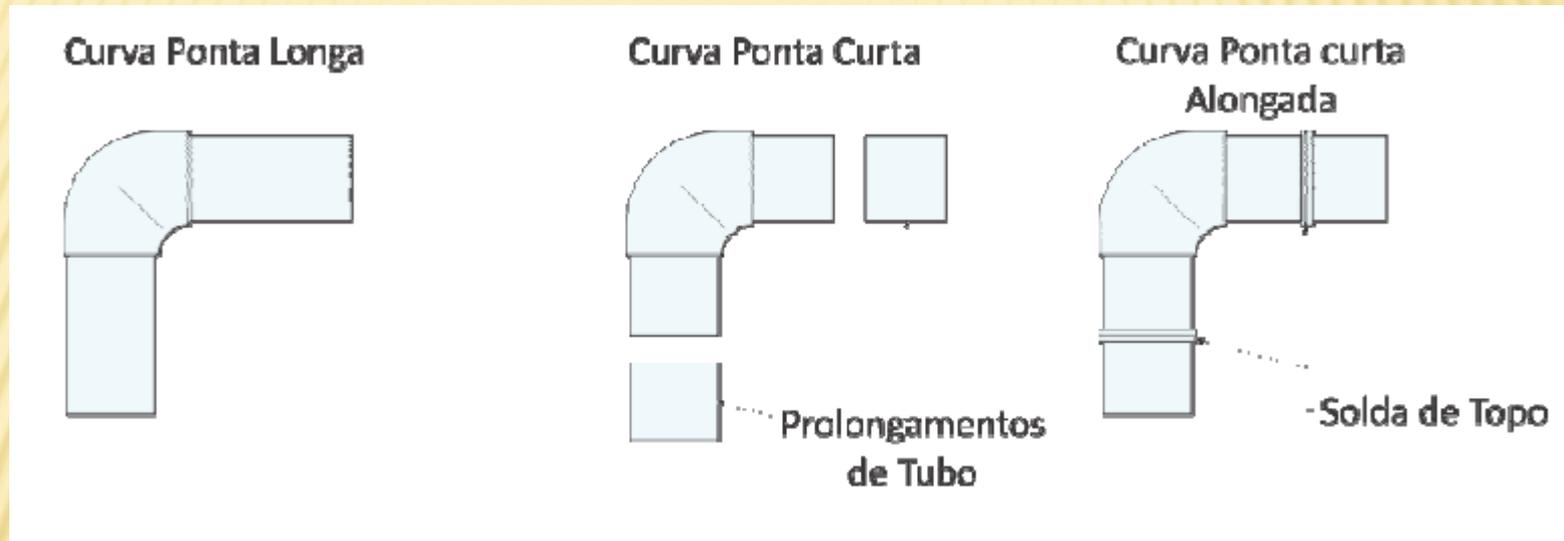
- **Plástico – metal** (PE (PP) - AÇO, PE (PP) - LATAO, PE - Flange, PE - Roscas)
- **Elementos de tubulação**, como válvulas, bombas, ventosas, instrumentos de medição, etc. Também são designadas por adaptadores ou Juntas de Transição.



- Uma das **extremidade soldável**
- Outra **extremidade para junta mecânica.**



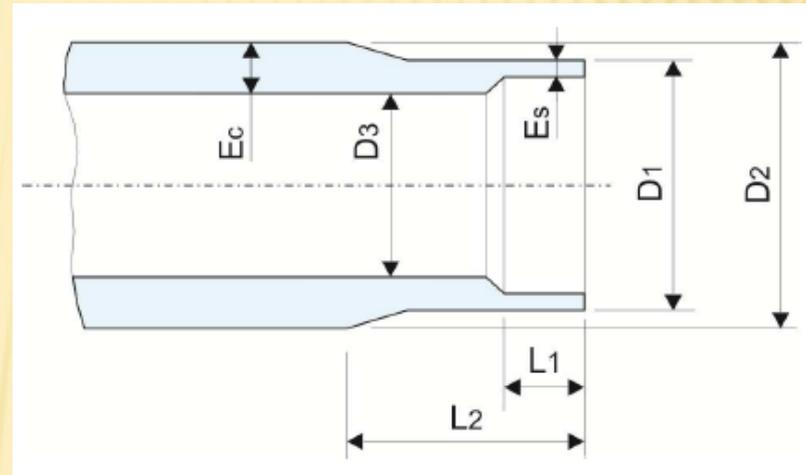
## CONEXÕES TIPO PONTA PARA UNIÃO DE TOPO POR TERMOFUSÃO OU POR ELETROFUSÃO



- Suas dimensões nas extremidades são equivalentes ao tubo que se destina (DE e SDR).
- São disponíveis em **pontas curtas** e **pontas longas (polivalentes)**

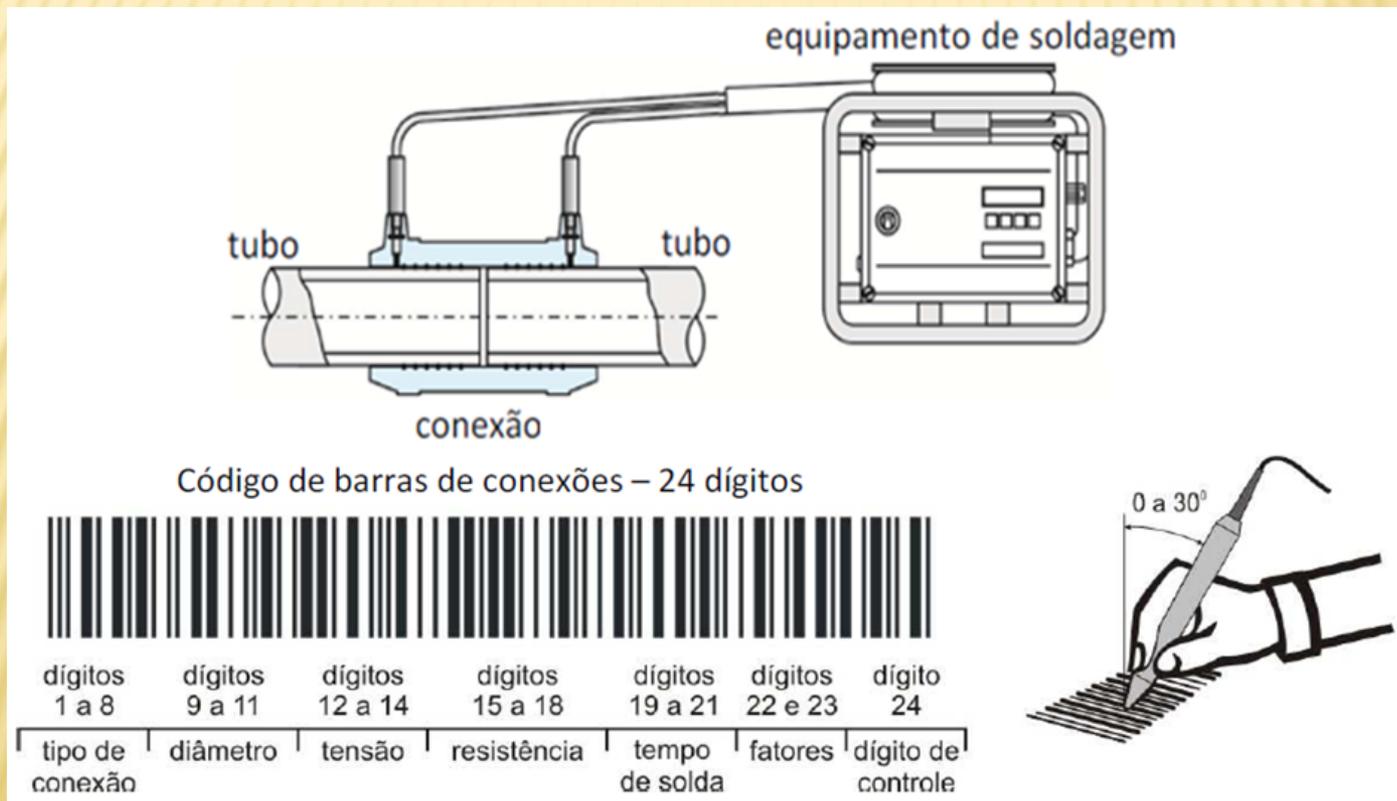
## DIMENSOES DAS CONEXOES TIPO PONTA POLIVALENTES

DE	L <sub>1</sub> min mm	L <sub>2</sub> min mm	D <sub>3</sub> min mm
20	25	41	13
25	25	41	18
32	25	44	23,8
40	25	49	29,8
50	25	55	37,4
63	25	63	47,4
75	25	70	56,2
90	28	79	67,8
110	32	82	82,6
125	35	87	94,2
140	38	92	105,4
160	42	98	120,6
180	46	105	135,8
200	50	112	150,6
225	55	120	169,8
250	60	130	188,6
280	75	150	211,0
315	75	150	237,8
355	100	165	267,6
400	100	180	301,8
450	100	195	339,8
500	100	215	377,4
560	100	235	447,6
630	100	255	503,6
≥ 630	100	≥ 300	≥DE-2e

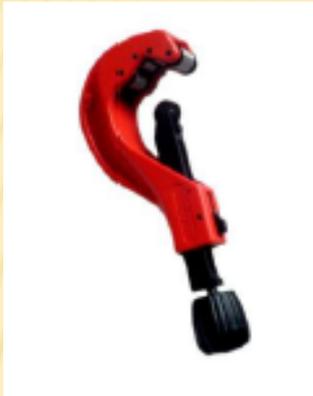


## SOLDAGEM POR ELETROFUSÃO

O equipamento de soldagem tem como princípio uma fonte de tensão elétrica controlada que assegura a quantidade de energia necessária a solda (controle de tensão por tempo). (20 a 1200mm)



## ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS PARA SOLDAGEM (ELETROFUSÃO)



Cortadores



Alinhadores



Raspadores

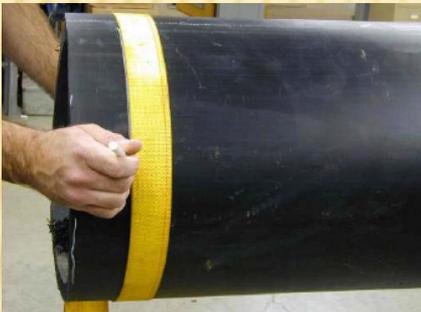


Maquinas de Solda

## PREPARAÇÃO PARA SOLDAGEM POR ELETROFUSÃO



**1 - Verificar a perpendicularidade das faces dos tubos;**



**2 - Ajustar, usando o corta-tubos;**



**3 - Medir e marcar a área de soldagem;**



**5 - Raspar a área marcada, para eliminar a camada oxidada dos tubos retirando as rebarbas internas e externas (cantos vivos) das faces dos tubos;**



**6 - Verificar a ovalização dos tubos e utilizar o dispositivo arredondador, caso necessário;**



**7 - Verificar a folga entre a conexão e o tubo e substituir a conexão ou o tubo ou cortar a extremidade, caso necessário;**

# SOLDAGEM POR ELETROFUSÃO



1. Limpar as áreas de solda.



2. Inserir os tubos na conexão até o limitador com tubos perfeitamente alinhados.

3. Ligar os conectores.

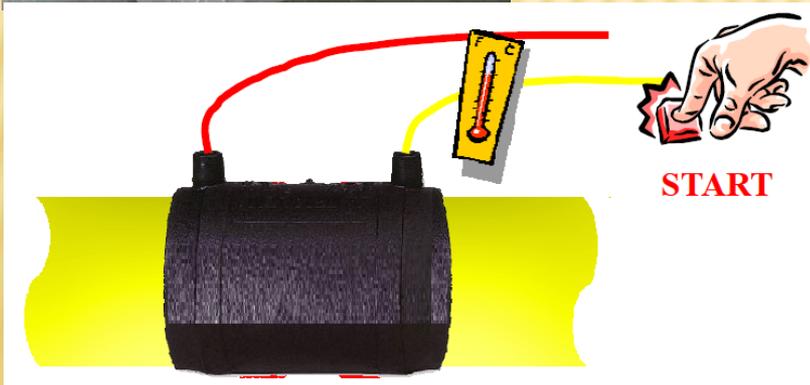


4. Ler o código de barras com a caneta ótica.



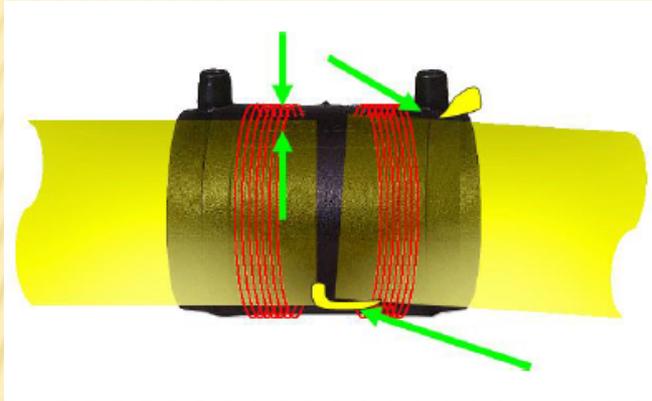
5. Inserir na máquina as informações solicitadas.

6. Pressionar OK e aguardar.....

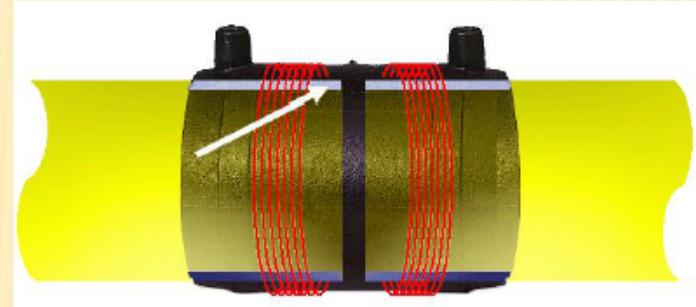


# RESULTADO POR FALHAS DA SOLDAGEM POR ELETROFUSÃO

DESALINHAMENTO

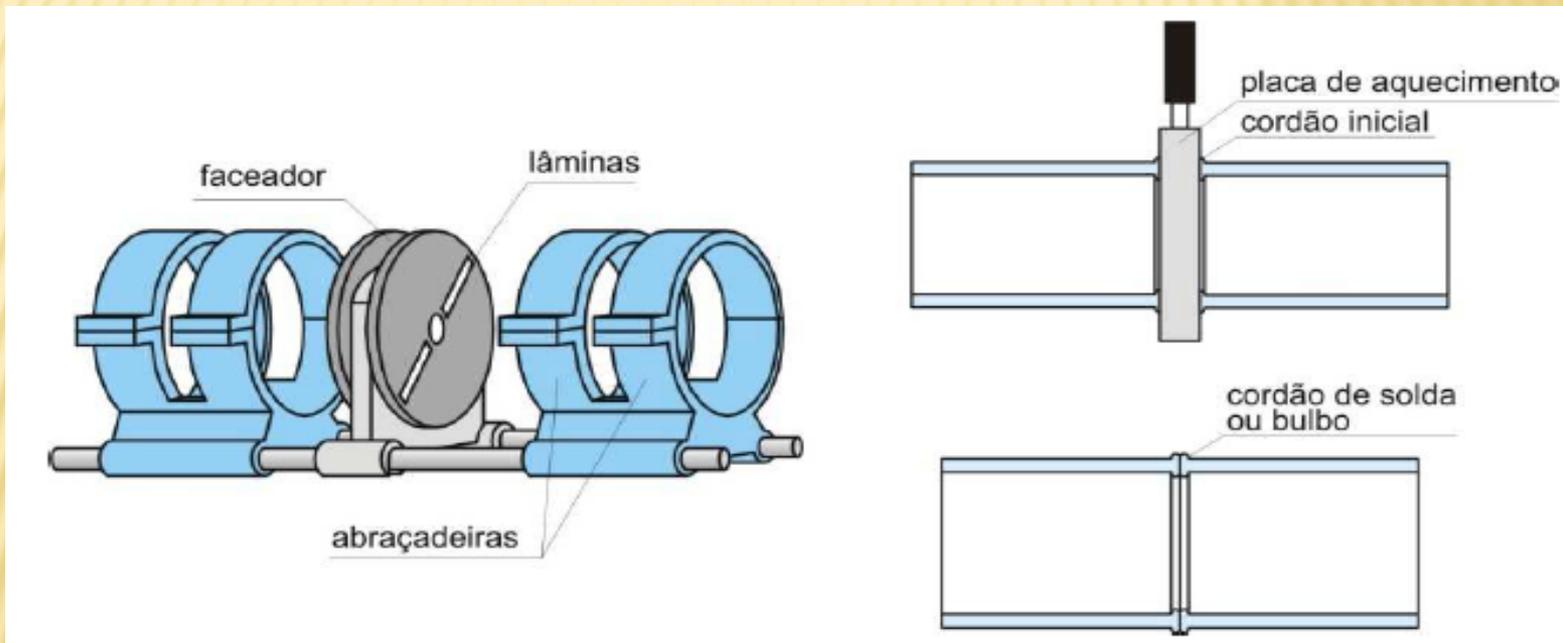


FALTA DE RASPAGEM



## SOLDAGEM POR TERMOFUSÃO

Soldas por termofusão não necessita de peças de união. Os tubos e/ou conexões são soldados seus topos através de um equipamento de soldagem que funde as extremidades e as comprime, uma contra a outra provendo a interação das superfícies fundidas e sua soldagem. Aplicáveis a diâmetros maiores ou equivalentes a DE 63mm.



Os tubos e/ou conexões devem ter as mesmas dimensões nas extremidades de solda (mesmo diâmetro e SDR).

## ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS PARA SOLDAGEM (TERMOFUSÃO)



Estrutura Básica



Unidade de Comando



Máquina de solda de topo



Casquilho de Redução

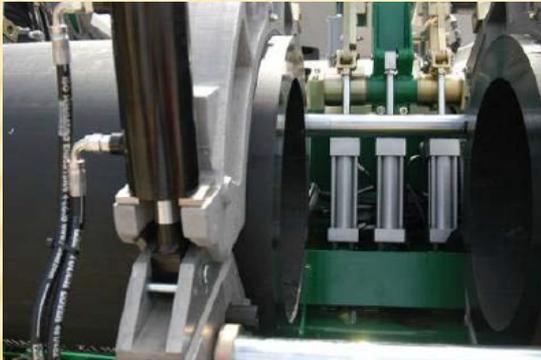


Placa de Solda



Faceador

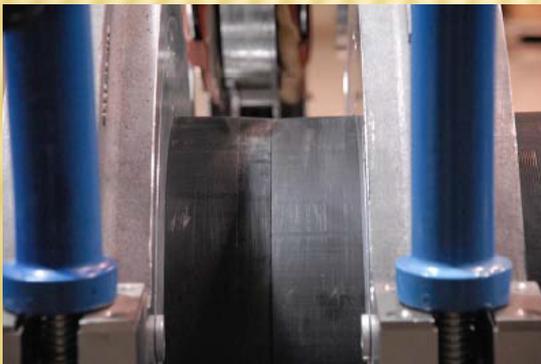
# PREPARAÇÃO PARA SOLDAGEM POR TERMOFUSÃO



1- Ajuste das pontas dos tubos em estrutura básica

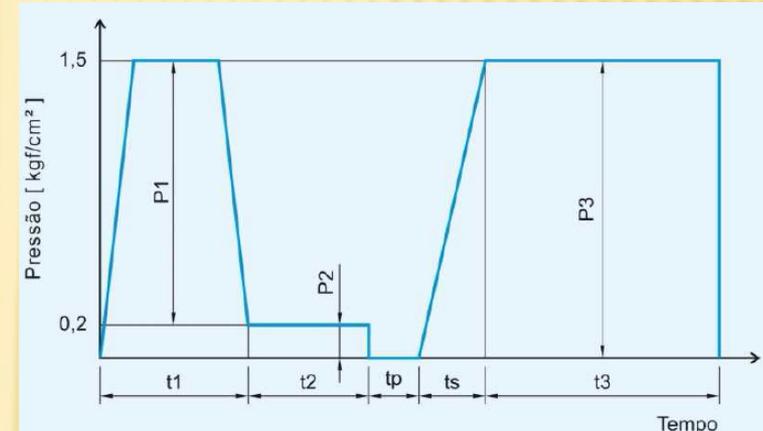


2- Faceamento das pontas para preparação para soldagem com o faceador



3- Alinhamento das pontas do tubo para serem fundidas em estrutura básica

4- Ciclo de execução de solda ( verificar valores tabelados)

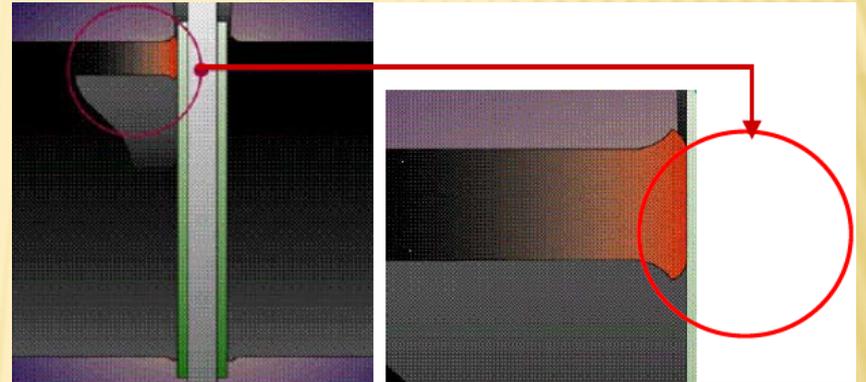


$P_1$	=	Pressão de Pré-Aquecimento para formar o cordão inicial
$t_1$	=	Tempo de Pré-Aquecimento para formar o cordão inicial
$P_2$	=	Pressão de Aquecimento
$t_2$	=	Tempo de Aquecimento
$t_p$	=	Tempo de retirada da Placa de Solda
$t_s$	=	Tempo para elevar a pressão à Pressão de Solda
$P_3$	=	Pressão de Solda / Resfriamento
$t_3$	=	Tempo de Solda / Resfriamento

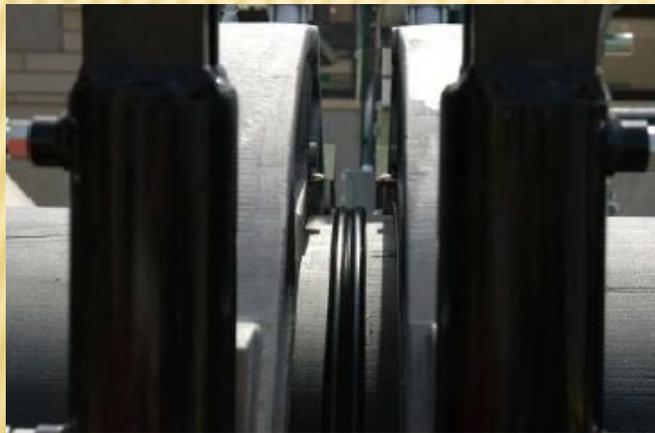
## SOLDAGEM POR TERMOFUSÃO



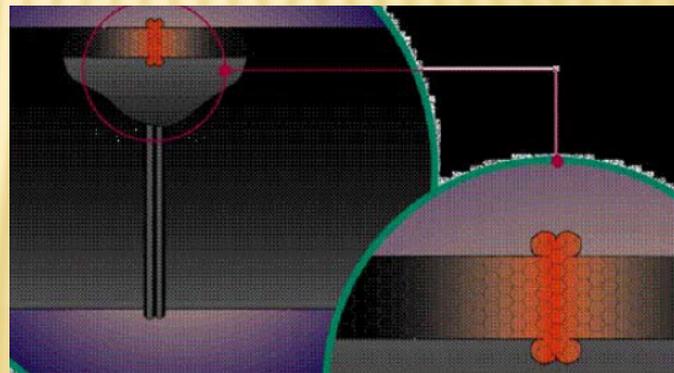
Aquecimento das pontas faceadas através da placa de solda



Aquecimento das pontas até a temperatura de fusão



Aquecimento das pontas faceadas através da placa de solda



Fusão entre as pontas aquecidas

## RESULTADO POR FALHAS DA SOLDAGEM POR TERMOFUSÃO



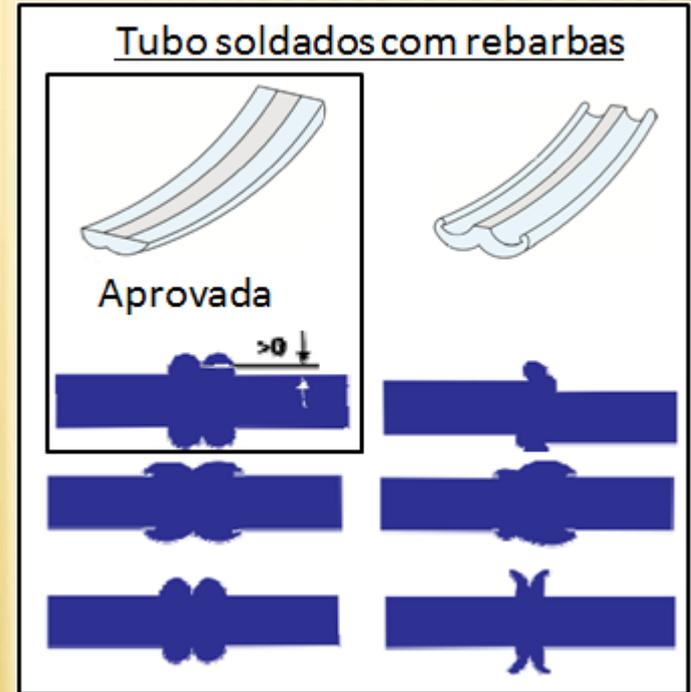
Tubo soldados com os topos desalinhados



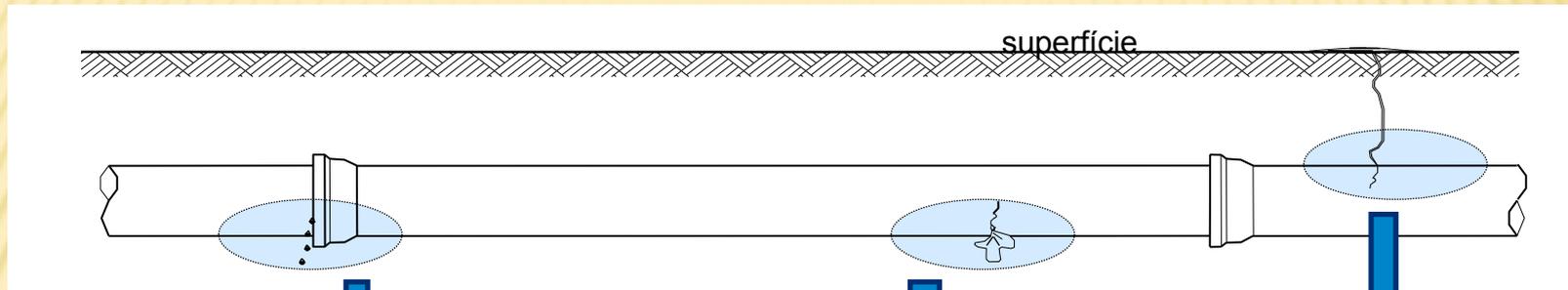
Tubo soldados com rebarbas



Tubos soldados desalinhados



## VOLUMES PERDIDOS POR TIPO DE VAZAMENTO



Vazamentos Inerentes: não-visíveis, baixa vazão, não-aflorantes, não-detectáveis por métodos acústicos de pesquisa. ( longa duração)

(37% VOLUME DOS VAZAMENTOS DA RMSP)

Vazamentos visíveis, aflorantes ou ocorrentes nos cavaletes, geralmente comunicados pela população

(13% VOLUME DOS VAZAMENTOS DA RMSP)

Vazamentos não - visíveis, não - aflorantes, detectáveis por métodos acústicos de pesquisa ( duração depende da frequência da pesquisa de vazamentos)

(50% VOLUME DOS VAZAMENTOS DA RMSP)

Os vazamentos inerentes ocorrem geralmente em junta e conexões de tubulações pressurizadas

# RENOVAÇÃO DE ESTRUTURA

## VRP – IDIOMA ESPERANTO (2012)

- Substituição de 5,92 km de rede FoFo (73% do total)
- Troca de 754 ligações (47% do total)
- Método “pipe bursting”
- Novos tubos de PEAD DE-110mm (PE80) – (Conexão ponta – Eletrofusão)



### Situação inicial:

- Baixas pressões
- Falta d'água
- Muitos vazamentos
- Água “amarela”



### Situação final:

- Ajustes de pressões
- Regularidade da vazão
- Melhora da qualidade

IPDt: 896 L/lig.dia

IPDt: 254 L/lig.dia

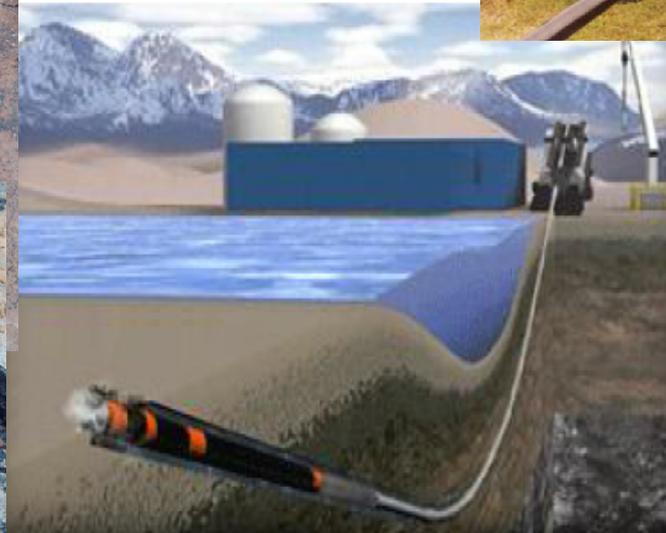
## METODOS NÃO DESTUTIVO

### Impact Moling



(CABRAL, 2015)

### Perfuração direcional (HDD) ou guiada (Unidirecional)



(ABRATT, 2014 )

# METODOS NÃO DESTUTIVO

## Pipe Bursting

### Inserção



## REPAROS EM TUBULAÇÕES EM PEAD



- Se houver passagem de água, utilizar juntas mecânicas
- Se as juntas mecânicas forem acima de 110mm, utilizar juntas auto travantes

# OPÇÕES PARA SUBSTITUIÇÃO DE TRECHOS

REPARO COM LUVAS DE ELETROFUSÃO



REPARO COM LUVAS DE COMPRESSÃO (DE 20 a 110mm)



REPARO COM FLANGE E COLARINHO DE PE (DE 63 a 1600 mm)



SOLDA DE TOPO



LUVA DE ELETROFUSÃO



SOLDA DE TOPO



UNIÃO DE COMPRESSÃO



SOLDA DE TOPO



FLANGE E COLARINHO DE PE



## REPAROS DE TUBULAÇÕES ENTRE DE 250 E 1.200 MM



1. Verificar as geometrias para realização de reparo



2. Limpeza dos componentes para instalação



3. Aplicação de vácuo para contato entre reparo e a tubulação

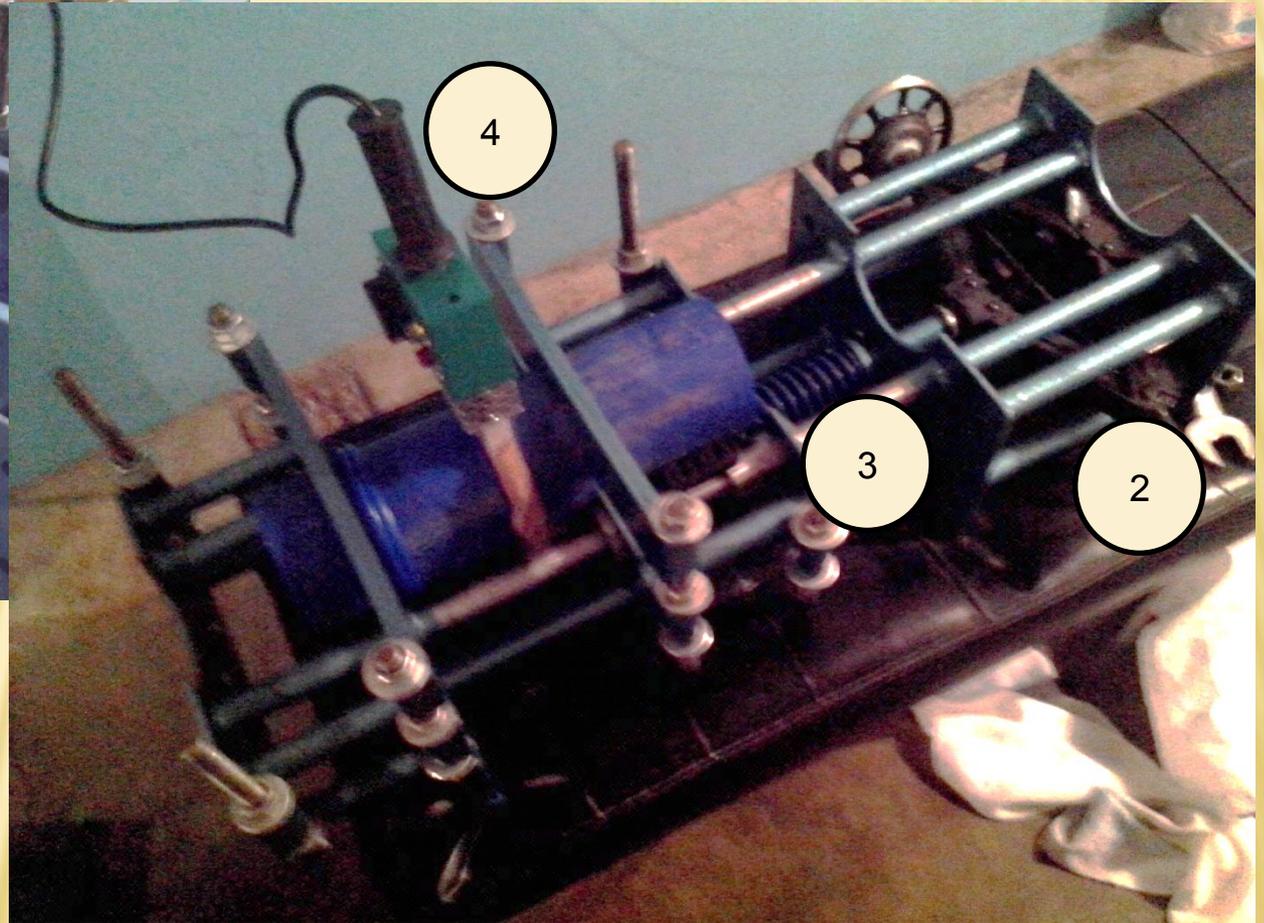


4. Soldagem tipo eletrofusão

## ACESSÓRIOS PARA PROPOSTA DE TERMOFUSORA

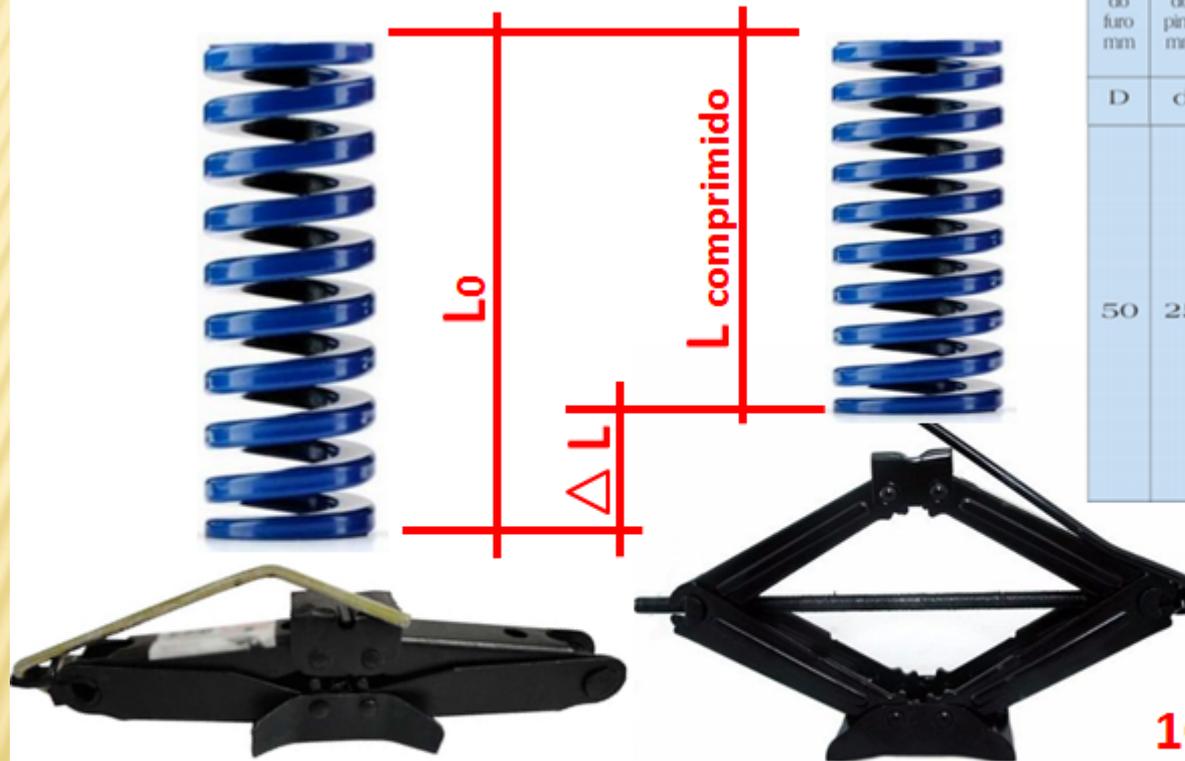


- 1 – Cortador de tubos
- 2 – “Macaco sanfona”
- 3 – Mola Compressão
- 4 – Placa aquecedora



# PARAMETRIZAÇÕES DA FORÇA APLICADA PELO “MACACO SANFONA” (TERMOFUSORA PROPOSTA)

Ø do furo mm	Ø do pino mm	Comp. livre mm	Constante elástica daN para comprimir 1 mm	Tabela de cargas			
				Curso máximo de trabalho (37,5% de LO)		Compressão total	
				Carga daN	Curso mm	Carga daN	Curso mm
50	25	64	21,2	509	24	566	27
		76	16,7	468	28	532	32
		89	14	462	33	525	37
		102	12,2	464	38	525	43
		115	10,7	460	43	525	49
		127	9,5	459	48	518	54
		140	8,6	447	52	507	59
		152	7,8	445	57	508	66
		178	6,6	442	67	506	77
		203	5,7	433	76	506	88
		229	5,1	439	86	506	100
		254	4,6	437	95	506	117
305	3,8	433	114	504	134		



**1 Kgf = 9,8N**

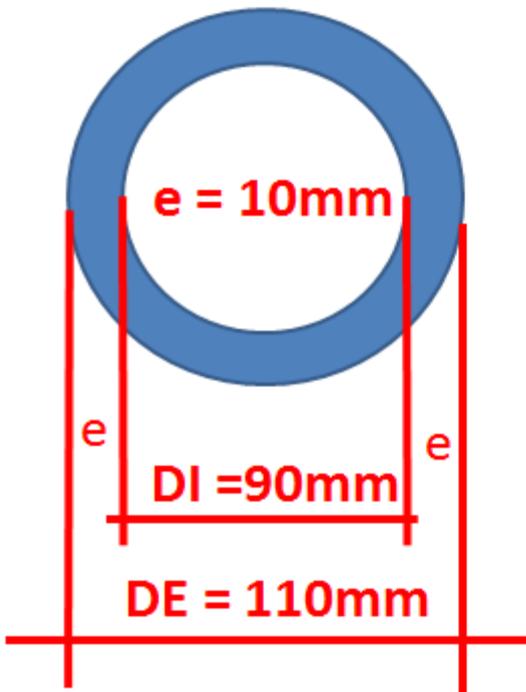
**1N = 0,102Kgf**

**107N/mm = 11Kgf/mm**

**Adotada uma mola com constante elástica = (K) = 11Kgf/mm**

**Deformação aplicada será =  $\Delta L$  (mm) = F / K**

## PARAMETRIZAÇÕES DA PRESSÃO APLICADA NA PAREDE DO TUBO (TERMOFUSORA PROPOSTA)



$$\text{Área PEAD} = 0,785 [(DE*DE) - (DI*DI)]$$

Pressão adotada para soldagem:  
5Kgf/cm<sup>2</sup> (portanto DE e DI em cm)

$$\text{FORÇA} = 3,927 [(DE*DE) - (DI*DI)]$$

$$\text{FORÇA} = 3,927 [(11*11) - (9*9)]$$

$$\text{FORÇA} = 157 \text{ Kgf}$$

$$\text{SDR} = \frac{DE}{e}$$

$$e = \frac{110}{11}$$

## FORMULA GERAL DE DESLOCAMENTO (TERMOFUSORA PROPOSTA)

$$\Delta L \text{ (mm)} = \frac{3,9 [(DE*DE) - (DI*DI)]}{K}$$

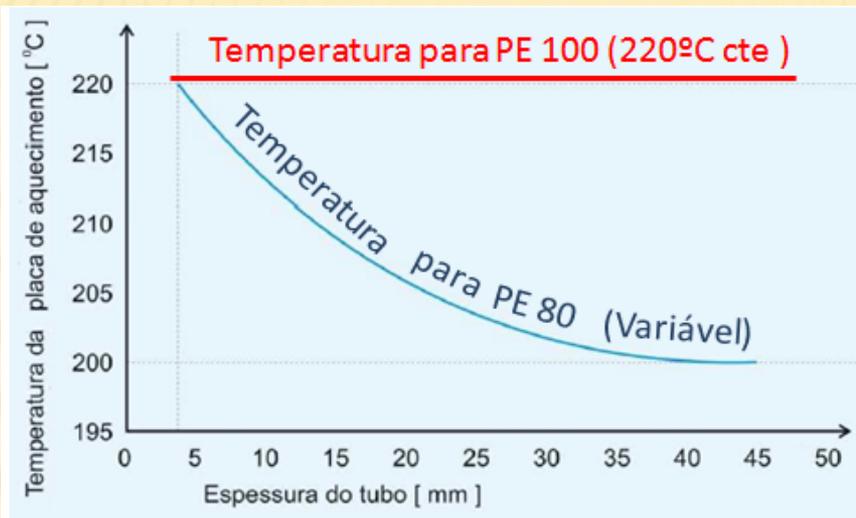
Onde:

DE = Diâmetro Externo do tubo PEAD(cm);

DI = Diâmetro Interno do tubo PEAD (cm);

K = Constante elástica da mola (Kgf/mm)

# PARAMETRIZAÇÕES DE TEMPERATURAS E TEMPOS (TERMOFUSORA PROPOSTA)



Espessura do Tubo (e)	Pré-Aquec. (1,5± 0,1) bar	Aquec. 0 a 0,2 bar	Retirada da Placa aquec	Elevar a pressão	Resfriam. (1,5±0,1) bar
mm	Larg. Inicial Cordão (B) mm	Tempo [10x(e)] s	Tempo Max s	Tempo S	Tempo min
até 4,5	0,5	Até 45	5	5	6
4,5 – 7	1,0	45 – 70	5 – 6	5 – 6	6 - 10
7 – 12	1,5	70 – 120	6 – 8	6 – 8	10 - 16
12 – 19	2,0	120 – 190	8 – 10	8 – 11	16 - 24
19 - 26	2,5	190 – 260	10 – 12	11 – 14	24 - 32
26 - 37	3,0	260 – 370	12 – 16	14 – 19	32 – 45
37 - 50	3,5	370 – 500	16 – 20	19 – 25	45 – 60
50 - 70	4,0	500 - 700	20 – 25	25 - 35	60 – 70

(Danietto, 2007)

(CABRAL, 2015)

## TESTE DE ESTANQUEIDADE (SOLDAGEM TERMOFUSÃO PROPOSTA)

Foi utilizando um fluido para lubrificante hidráulico com viscosidade ISO 68 conforme método ISO 3448, em um cilindro com 50cm de comprimento, confeccionado com tubos de 110mm, SDR 11, PE100, PN16, azul, os quais foram soldados 2 CAPs pretos em PN16 nas suas extremidades em termofusão através do protótipo do equipamento proposto.



A pressão aplicada foi de 25 Bar ou 250 mca, durante 1 hora e posteriormente mais 1 hora a 1 bar não apresentando vazamento.

## PREPARO PARA O TESTE DE TRAÇÃO (SOLDAGEM TERMOFUSÃO PROPOSTA)



Dois elementos de tubos em PEAD, SDR 11, PE100, PN16, azul, foram soldados em termofusão através do protótipo do equipamento proposto. Após soldados os elementos apresentaram um só conjunto o qual foi cortado em filetes, apresentando larguras de 25mm; 22,4mm e 22,4mm



Para realização de métodos comparativos, foi cortado em filetes o mesmo tubo, em trecho sem a presença de solda, com mesmo comprimento em seções com mesmas larguras ao tubo soldado para realização do método comparativo.

## TESTE DE TRAÇÃO (SOLDAGEM TERMOFUSÃO PROPOSTA)



Foram feitos ensaios de tração em equipamento adaptado para esta finalidade que apresentou em todos os ensaios, a estrição fora da região de solda evidenciando que a região soldada por termofusão com a termofusora proposta apresenta maior resistência a ruptura em relação a região sem solda sem intervenções na região conectada.

# OBRIGADO

