



UNILAB

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM GESTÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS, AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS**

DANILO DO ROSÁRIO E SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DO PEAD NO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

SÃO PAULO

2018

DANILO DO ROSÁRIO E SILVA

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DO PEAD NO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gestão de Recursos Hídrico, Ambientais e Energéticos da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos.

Orientador: Prof. Cleiton da Silva Silveira

SÃO PAULO
2018

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA

DANILO DO ROSÁRIO E SILVA

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DO PEAD NO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Monografia julgada e aprovada para obtenção do título de Especialista em da
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Data: 19/11/2018

Nota: 10

Banca Examinadora:

Prof. Cleiton da Silva Silveira (Orientador)

Prof. Renan Vieira Rocha

Prof. Victor Costa Porto

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Silva, Danilo do Rosário e.

S578a

Análise da Viabilidade do Uso do PEAD no Sistema de Abastecimento de Água / Danilo do Rosário e Silva. - Redenção, 2018.

68f: il.

Monografia - Curso de Especialização em Gestão De Recursos Hídricos, Ambientais E Energéticos, Instituto De Engenharias E Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

Orientador: prof. Cleiton da Silva Silveira.

1. Abastecimento de água. 2. PEAD. 3. MND. I. Título

CE/UF/BSCL

CDD 628.1

AGRADECIMENTOS

Dedico a todos os amigos e familiares que me deram todo o apoio, coragem e força no caminho que percorri. A todos os professores que já passaram nessa minha jornada de estudos contribuindo com seus conhecimentos e por sempre me incentivarem a continuar buscando o conhecimento.

À minha Vó Maria, por sempre ter me incentivado à estudar e ir em busca dos meus sonhos.

Ao Francimar por me dar todo apoio que precisei aqui no Ceará, por me incentivar e acreditar que era possível.

Minha eterna gratidão a todos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo mundial de polietileno de alta densidade.	17
Figura 2 - Participação do consumo de PEAD por regiões.....	18
Figura 3 - Instalação de uma tubulação de PEAD	20
Figura 4 - Tubo de PEAD.....	21
Figura 5 - Tubo de PEAD.....	23
Figura 6 - Espessuras do tubo	25
Figura 7 - Solda de uma tubulação de Polietileno.....	34
Figura 8 - Termofusão	35
Figura 9 - Máquinas de Solda de Topo.....	35
Figura 10 - Conexão para solda de topo por termofusão - tipo ponta.....	36
Figura 11 - Colarinho/Flange com outros materiais.	37
Figura 12 - Solda Soquete	38
Figura 13 - Tê de Sela.	39
Figura 14 - Máquina de solda Eletrofusão.	40
Figura 15 - Solda por Eletrofusão.	41
Figura 16 - Luva de compressão.	41
Figura 17 - Junta Mecânica de compressão.	42
Figura 18 - Luva de Correr.....	43
Figura 19 - Torniquete.	43
Figura 20 - Juntas Auto-Travadas.....	44
Figura 21 - Envolvimento da tubulação para SDR > 17.....	47
Figura 22 - Inserção de tubo.....	49
Figura 23 - Esquema da técnica de <i>Relining</i>	49
Figura 24 - Esquema da operação de Furo Direcional	50
Figura 25 - Método <i>Pipe Bursting</i>	51
Figura 26 - Esquema da Rede de Água - PVC.	59
Figura 27 - Esquema da Rede de Água - PEAD.....	60
Figura 28 - Tê de eletrofusão e Luva de eletrofusão..	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de Aplicação - Tubo de PEAD para Água	25
Tabela 2 - Fatores de resistência	27
Tabela 3 - Fatores de resistência à pressão em função da vida útil.....	27
Tabela 4 - Comprimentos equivalentes.....	30
Tabela 5 - Curvatura	30
Tabela 6 - Diâmetro recomendado de ventosa em função do diâmetro da tubulação.....	32
Tabela 7 - Principais propriedades físicas, mecânicas, térmicas e elétricas.	57
Tabela 8 - Lista de material: Rede de distribuição - PVC.....	59
Tabela 9 - Quantidade de serviços e materiais - PVC.....	59
Tabela 10 - Lista de material: Rede de distribuição - PEAD	60
Tabela 11 - Quantidade de serviços e materiais - PEAD	61
Tabela 12 - Quantidade de serviços e materiais - PVC.....	63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
cm	centímetro
cm ²	centímetro ao quadrado
cm ³	centímetro ao cubo
CPVC	Cloreto de polivinila clorado
DE	diâmetro externo
DN	diâmetro nominal
ESCR	<i>Enviromental Stress Cracking Resistance</i>
Ff	fator de redução de pressão em função do fluido
Fo	fator de reistência à pressão em função das condições de operação
fs	fator de solda
FT	fator em função da temperatura
Fv	fator de resistência à pressão em função da vida útil
F°F°	ferro fundido
g	grama
h	hora
HDB	<i>Hydrostatic Design Basis</i>
HDD	<i>Horizontal directional drilling</i>
ISO	<i>International Organization Standardization</i>
kgf	quilograma força
Kv	Kilovolt
m	metro
mm	milímetro
MPa	Mega Pascal
MPO	Máxima Pressão de Operação
MRS	<i>Minimum Required Strenght</i>
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEBDL	Polietileno de Baixa Densidade Linear

PEMD.....	Polietileno de Média Densidade
PIB	Produto interno Bruto
PN.....	Pressão Nominal
PP	Polipropileno
PVC.....	Policloreto de Vinila
PVDF	Fluoreto de Polivinilideno
SDR	Relação entre o diâmetro e a espessura da parede do tubo
°C.....	grau Celsius
Ω	Ohm
%.....	porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 História.....	15
2.2.1 A primeira geração.....	16
2.2.2 A segunda geração	16
2.2.3 A terceira geração.....	17
2.2 Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	20
2.2.1 Características do PEAD	20
2.2.2 Designação dos tubos.....	23
2.2.3 Projeto estrutural dos tubos	24
2.2.3.1 Dimensionamento à pressão interna.....	24
2.2.3.2 Relação entre diâmetro e espessura (SDR)	25
2.2.3.3 Máxima pressão de Operação	26
2.2.4 Dimensionamento Hidráulico	28
2.2.4.1 Perdas de carga em condutos forçados (sob pressão).....	28
2.2.4.2 Perdas de carga em conexões.....	29
2.2.4.3 Curvatura dos tubos.....	30
2.2.4.4 Ventosas	31
2.2.4.5 Ancoragens.....	32
2.3 Conexões.....	33
2.3.1 Conexões Soldáveis	34
2.3.1.1 Conexões Tipo Ponta por Termofusão	35
2.3.1.1 Colarinho/flange	36
2.3.1.2 Conexões Soquete.....	37
2.3.1.3 Conexões tipo sela por Termofusão	38
2.3.2 Conexões para Eletrofusão.....	39
2.3.3 Conexão Tipo Junta Mecânica.....	41
2.3.3.1 Conexões de Compressão.....	41
2.4 Juntas mecânicas para Reparo	42
2.5 Métodos e procedimentos de instalação.....	44

2.5.1 Tubulação enterrada	44
2.5.1.1 A vala	45
2.5.1.2 Assentamento	46
2.6 Métodos Não Destrutivos	47
2.6.1 Inserção ou Relining (sliplining)	48
2.6.2 Furo Dirigido ou Direcional	49
2.6.3 Pipe Bursting ou Torpedo Rompedor	51
2.7 Vantagens e Desvantagens do uso do PEAD	51
3 METODOLOGIA	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1 Comparação entre materiais	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS	66

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DO PEAD NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

Danilo do Rosário e Silva¹

Cleiton da Silva Silveira²

RESUMO

O objetivo é apresentar o PEAD como um produto com boas propriedades físicas, resistência mecânica, flexibilidade, boa resistência química, resistência abrasiva superiores ao ferro fundido, dentre outras. Em suma, o foco é analisar o PEAD e, mais especificamente, os métodos construtivos para avaliar suas vantagens e desvantagens dentro do sistema de abastecimento de água. Os materiais e ferramentas serão as pesquisas nos principais catálogos dos fabricantes de PEAD, como: Aflon (2018), Brastubo (2018), Ecopipe (2018), Engepol (2018), Fgs (2018), Hidropipe (2018), Polyeasy (2018), Polierg (2018), Tigre (2018), Tríplicecor (2018) e Sybs (2018). Nossa principal fonte é Danieletto (2007).

Palavras-chave: Abastecimento de água, PEAD, MND.

¹ Estudante do Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira e Universidade Aberta do Brasil, polo Limoeiro do Norte.

² Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) Universidade Federal do Ceará.

ABSTRACT

Our goal is to introduce PEAD as a product with good physical properties, mechanical resistance, flexibility, good chemical resistance, super abrasion resistance to cast iron, among others. In short, our focus is to analyze PEAD, specially the constructive methods to evaluate its advantages and disadvantages within the water supply system. The materials and methods used are searches in the main PEAD manufacturer catalogs, such as Aflon (2018), Brastubo (2018), Ecopipe(2018), Engepol (2018), Fgs (2018), Hidropipe (2018), Polyeasy (2018), Polierg (2018), Tigre (2018), Trípliceor (2018) and Sybs (2018). Our main search is Danieletto (2007).

Keywords: water supply system; PEAD, MND.

1 INTRODUÇÃO

A água constitui-se como um elemento essencial à vida humana, animal e vegetal. Desde sua existência o homem tem a necessidade de água, seja para uso próprio (abastecimento doméstico), seja para irrigação, recreação e lazer, navegação, uso na indústria, ou seja, é fundamental não só para abastecimento doméstico como para o desenvolvimento econômico. Assim sendo, o abastecimento de água é primordial ao homem.

O sistema de abastecimento de água reflete diretamente na questão econômica de uma região, uma vez que se traduz em um aumento de vida média da população servida, na diminuição de doenças e na maior produtividade por parte dos trabalhadores.

Um Sistema de Abastecimento de Água pode-se caracterizar-se pela retirada da água do manancial (natureza), tratamento (adequação aos padrões de potabilidade), transporte até os reservatórios e a rede de distribuição, cuja finalidade é conduzir a água à população em quantidade demandada, de acordo com suas necessidades.

No sistema de abastecimento de água, mais precisamente na rede de distribuição, são usualmente utilizados os seguintes materiais: os metálicos, onde são usualmente utilizados o Ferro Fundido e o Aço, e os plásticos; o PVC e o Polietileno. Sendo este último, ainda pouco usado. Na era do plástico, ainda pode-se dizer que as aplicações das tubulações plásticas principalmente em São Paulo, ainda deixam muito a desejar. No que diz respeito ao uso do PEAD (Polietileno de Alta Densidade), principalmente no abastecimento público de água ainda falta muito investimento, mesmo com sua utilização sendo usualmente empregada a mais de duas décadas.

Na escolha do material da rede devem ser estudados diversos fatores, dentre os quais se destacam pressão, tipo do solo, diâmetro, o método construtivo, a vida útil, etc. Na maioria dos parâmetros estudados para a escolha do material o PEAD é uma das opções.

O PEAD destaca-se em diversos quesitos, tais quais; a resistência à abrasão, sendo esta maior que a do aço (cinco vezes). No que diz respeito à leveza do material, o PEAD têm sua densidade menor do que a da água, o que ajuda a economizar dinheiro no manuseio e transporte. Pelas características plásticas sua

flexibilidade é incontestável, no caso do PEAD permite raios de curvatura mais expandidos e a ausência de conexões.

O trabalho tem como diretiva principal apresentar uma síntese das propriedades do PEAD, das suas principais características para que assim haja uma comparação entre ele e os seus concorrentes, como por exemplo, o PVC. A metodologia adotada são as pesquisas nos principais catálogos dos maiores fabricantes destes materiais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1.História

A história do plástico iniciou-se por volta de 1860 com o inglês Alexandre Parkes que realizava estudos com o nitrato de celulosa, um tipo de resina que ganhou o nome de *Parkesina*. A utilização desse material era feita em estado sólido tendo como características principais flexibilidade, cor opaca, fácil pintura e resistência a água (INNOVA, 2018).

Dois anos depois do início dos seus estudos Parkes apresentou, na Exposição Internacional de Londres, as primeiras amostras do que podemos considerar o antecessor da matéria-plástica, esse foi o ponto central de uma grande família de polímeros que nos dias de hoje contém centenas de componentes. Foi em 1870 que o tipógrafo americano John Wesley Hyatt (1837-1920) obteve sucesso aperfeiçoando a celulosa com adição de piroxilina, cânfora, álcool, polpa de papel e serragem. Essa composição deu origem à primeira matéria plástica artificial. Herman Staudinger iniciou seus estudos teóricos de estrutura e propriedades dos polímeros naturais (celulose e isoprene) e sintéticos em 1920. Nos anos 30 surge o poliestireno que em sua composição possui o eteno e o benzeno (INNOVA,2018).

O Polietileno de Alta Densidade, o PEAD caracteriza-se como um plástico cuja obtenção é através da polimerização do etileno, isto na década de 50 (COUTINHO et al. 2003).

Com os constantes aperfeiçoamentos dos catalisadores e no seu processo produtivo a possibilidade de um aumento em seu espaço no mercado é muito grande, atualmente o PEAD é o quarto termoplástico mais vendido do mundo, em 1995 suas vendas chegaram próximo ao US\$ 12 bilhões, além de estar na segunda posição de resina mais reciclada. (MONTENEGRO et al 2018).

Segundo MONTENEGRO et al (2018) levando-se em consideração os grandes segmentos de uso final do PEAD, o setor de embalagens tem uma representação de 75% do mercado mundial enquanto que o setor da construção civil representa em torno de 10 a 15% do mercado. Por conta desses dados pode-se afirmar que o mercado de PEAD está suscetível às flutuações da economia. Em 1995 a demanda em toneladas de PEAD chegou a um número de 16 milhões.

2.1.1.A primeira geração

Nos anos 50, fabricados pela Hoechst alemã, surgiu à primeira geração do PEAD, cuja geração se caracterizava pela sua alta densidade ($>0,950 \text{ g/cm}^3$) e alta resistência ao *creep*³, ou seja, alta resistência a 20°C a 100.000 h. Porém esse material tinha um ponto negativo que era a ruptura frágil no teste a 80°C entre 10 e 100 h, por esse motivo a partir dos 10 anos de uso os tubos começavam a apresentar este problema, chamando a atenção da indústria ao caso (DANIELETTO,2007).

2.1.2.A segunda geração

A segunda geração do polietileno com o intuito de melhorar a ruptura frágil aumentou o peso molecular através do aumento de comonômeros⁴, consequentemente incorrendo em alguma diminuição da densidade e da resistência ao *creep*, mas melhorando o balanço geral das propriedades (DANIELETTO,2007).

Essa segunda geração de materiais, mais populares nos anos 80, foi produzida tanto pelo método *Ziegler* quanto pelo *Phillips*. Os primeiros, com comonômero buteno, resultando em densidade um pouco maior e menor ESCR. Os segundos usando principalmente comonômeros de hexeno, com densidade menor ($=0,938 \text{ g/cm}^3$)” [...]

Nessa época, a BRITISH GAS procurou estabelecer uma diferenciação do comportamento dos polietilenos em função da densidade do material, separando-os em polietileno de média densidade e alta densidade (PEMD e PEAD).

Se de um lado a diferenciação era adequada, na prática criou algumas confusões e dúvidas entre alguns usuários. Pois se estabelecia que seriam PEMD aquelas resinas que tivessem densidade $\leq 0,940 \text{ g/cm}^3$, tal qual as ASTM 3350 e 1248. Entretanto verificava-se que algumas resinas que tinham densidades muito próximas apresentavam comportamentos bem distintos quanto ao ESCR e vice-versa. Tornava-se difícil estabelecer um limite de densidade que realmente distinguisse os materiais.

Para piorar, surgiram incautos que misturavam PEAD com PEDB resultando em blendas com densidade na faixa do PEMD, enganando consumidores desavisados (DANIELETTO,2007).

³ Creep: é a resistência ao escorregamento, a resistência mecânica.

⁴ Comonômeros: são os monômeros secundários, os que geralmente entram em menor quantidade na reação, os buteno e propeno.

2.1.3.A terceira geração

Segundo DANIELETTO (2007) para que o polietileno se tornasse mais competitivo havia a necessidade de aumentar o MRS (*Minimum Required Strength*), o que seria a força mínima necessária, sem que houvesse a diminuição do ESCR (*Environmental Stress Cracking Resistance*), ou seja, a resistência a quebra por tensões ambientais, com esse propósito conduziram-se pesquisas que resultaram nos materiais bimodais.

O cerne do processo consiste na introdução seletiva de comonômeros nas cadeias moleculares mais longas, conseguindo aumento de peso molecular, mas sem baixar a densidade. Conseguindo alta resistência ao *creep* (alto valor de MRS) bem como ao ESCR, surgindo o PE 100.

Como os materiais estão em constante evolução, devem-se esperar novos materiais, com maiores MRS, tornando os tubos plásticos cada vez mais competitivos, entretanto, essa nova forma de conceituação e classificação da ISO 12162 deve perdurar, dada sua maneira prática e clara para técnicos e usuários (DANIELLO, 2007).

O consumo mundial de PEAD em bilhões de toneladas foi crescente de 1984 a 1995 como consta na figura 1.

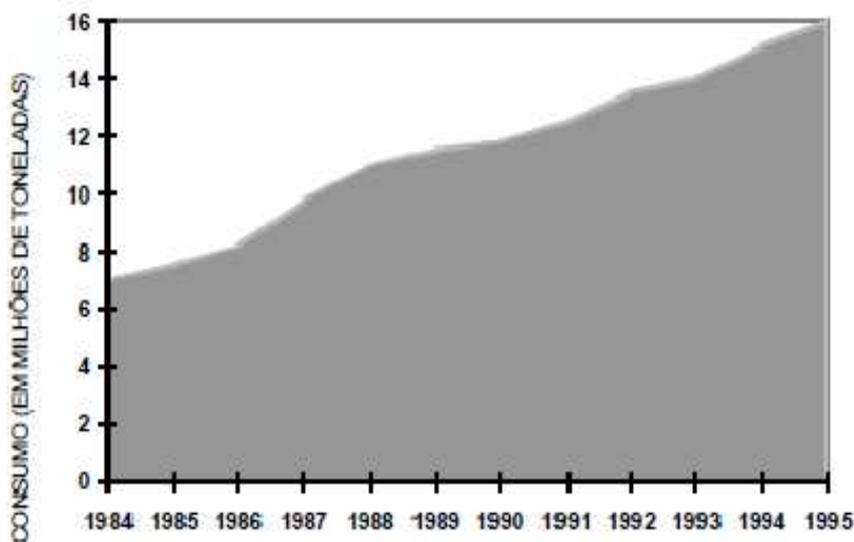


Figura 1 – Consumo mundial de polietileno de alta densidade

Fonte: (MONTENEGRO et al 2018)

“Aproximadamente 60% do consumo mundial de PEAD se concentra nas regiões da América do norte, Europa Ocidental e Japão [...]” (MONTENEGRO et al 2018).

Na figura 2 pode-se verificar a distribuição do consumo de PEAD por regiões.

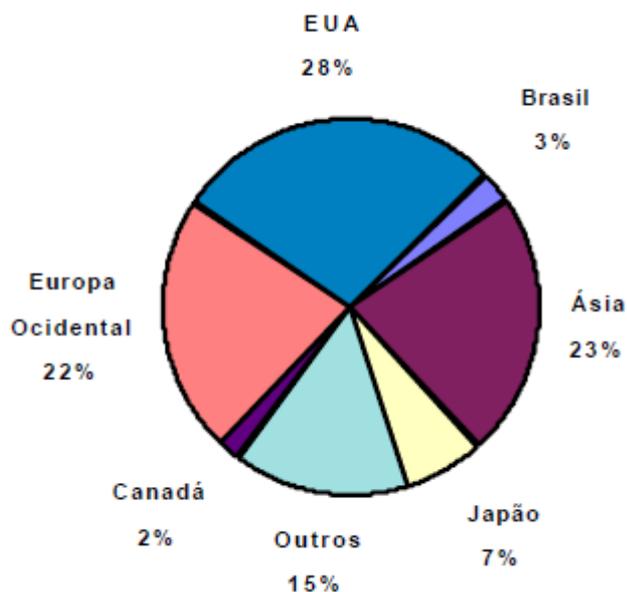


Figura 2 – Participação do Consumo de PEAD por regiões

Fonte: (MONTENEGRO et al 2018)

Podendo observar que o Brasil ainda encontra-se em grande desvantagem na utilização em relação a outros países.

Conforme TRÍPLICECOR (2018) há quatro tipos de polietileno comercial, os quais são: o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), cuja variação é mais leve e flexível, sendo esse mais utilizado em filmes, laminados, recipientes, embalagens, brinquedos, etc. Outro tipo é o Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL), se comparado ao PEBD, ele têm propriedades mecânicas ligeiramente superiores em termos de resistência mecânica, e uma vantagem é que seu custo de fabricação é menor. A utilização desse tipo é basicamente para bolsas de gelo, embalagens de alimentos, utensílios domésticos e tubos.

O terceiro tipo é o Polietileno de média densidade (PEMD), sendo este o qual possui propriedades intermediárias entre o PEAD e o PEBD. O PEMD tem uma aplicação no ramo da engenharia, como em tubos plásticos para sistemas de distribuição de água e de gás, conforme (TRÍPLICECOR, 2018).

Polietileno de Alta Densidade (PEAD) é o último tipo de polietileno, sendo esse caracterizado por ser rígido, resistente à tração, tensão, compressão e com moderada resistência ao impacto, é impermeável, inerte (ao conteúdo), apresenta baixa reatividade, possui pouca estabilidade dimensional, dentre outras características (TRÍPLICECOR, 2018).

O PEAD é utilizado para diversos fins, dentre eles em recipientes, garrafas, filmes, brinquedos, materiais hospitalares, tubos para distribuição de água e gás, tanques de combustível automotivos, bolsas para supermercados, caixotes para peixes, dentre outros. Outra utilização é recobrir canais, lagoas, tanques de água, lagoas artificiais, etc.

Como já mencionado, o polietileno é obtido pela polimerização, com a presença de catalisadores e obedecendo a determinadas condições de pressão e temperatura, depende também do gás etileno e do propeno.

A principal diferença entre o processo de polimerização de etileno sob baixa pressão e o processo sob alta pressão está no tipo de sistema iniciador usado. Os iniciadores (catalisadores) utilizados para polimerizar sob pressões próximas à atmosférica foram descobertos por Ziegler e Natta, graças aos seus estudos sobre compostos organometálicos, particularmente organo-alumínio. (COUTINHO et al. 2003)

Segundo diversas literaturas, dentre as quais os catálogos da POLYEASY (2018), HIDROPIPE (2018) e ECOPIPE (2018) as principais características do PEAD são:

- Possuem baixo coeficiente de atrito;
- Podem ser aditivado;
- Possuem boa resistência dielétrica;
- Boa resistência ao impacto;
- Excelente resistência química;
- Soldável, moldável e estancável, dentre outras.

Nos últimos tempos está sendo notório o crescente desenvolvimento das redes de PEAD com a finalidade da distribuição de água. Como já citado o PEAD possui ótimas resistências químicas, o que o fortalece muito no mercado.

O mercado brasileiro de polietileno cresce em um ritmo duas vezes superior ao do Produto Interno Bruto (PIB). Entre 1999 e 2000, as vendas aumentaram em mais de 150 mil toneladas (cerca de 10% da produção nacional). O mercado de polietileno linear avança acentuadamente sobre a resina de baixa densidade convencional, cujas vendas estão estagnadas e a sua produção apresenta tendência de queda. Enquanto o volume de produção do polietileno linear de baixa densidade cresceu 25% entre 1999 e 2000 e o de alta densidade

aumentou 17%, o de baixa densidade convencional caiu 2%. (COUTINHO et al. 2003).

2.2. Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

O PEAD é o que possui a estrutura mais simples dentre todos os polímeros, o que se altera na confecção entre os polietilenos são as características próprias de densidade, peso molecular e distribuição de peso molecular. O PEAD é um material de baixo custo, elevada resistência a solventes, elevada resistência química, macio e flexível, excelentes propriedades isolantes, baixa permeabilidade à água, dentre muitas outras características que serão descritas a diante, conforme diversas literaturas.

2.2.1. Características do PEAD

Segundo MAXWEEL (2018), o PEAD tem a densidade situada entre 0.93 e 0.96 g/cm³, oferecendo assim como consequência um material de baixo peso, que permite a fabricação de tubulações com grandes comprimentos, sem prejudicar a facilidade de instalação como ilustrado na figura 3.



Figura 3 - Instalação de uma tubulação de PEAD.

FONTE: MAXWEEL (2018).

O PEAD tem, segundo MAXWELL (2018) o módulo de elasticidade limitado entre 850 e 1200 MPa – ou seja, é muito baixo. Assim, permite a apresentação de

tubos em bobinas, como se observa na figura 4. Consegue-se desta forma instalar a tubulação em troncos não retilíneos e possibilitar a utilização de técnicas de entubamento ou "relining", descritos no item 2.6.1.



Figura 4- Tubo de PEAD.

Fonte: do autor.

A classificação frente à resistência aos agentes químicos é dada como excelente, isso ocorre pelo PEAD ser uma poliolefina e com isso apresentar muita baixa polaridade, a qual se refere às concentrações de cargas da nuvem eletrônica. Citam-se as seguintes ótimas resistências: é pouco sensível a água, até mesmo a fervura, e à umidade, da qual se absorve menos de 0,01%, podem-se elevar as temperaturas que a qualidade é mantida. Outro fator é a resistência aos ácidos e bases, que são classificados como alta. Isto é confirmado uma vez que ao colocar estreitas de polietileno submersas durante algumas horas a 100 °C em ácido nítrico e clorídrico concentrado a 50 % de soda cáustica, não são apresentados nenhuma alteração. E outra ótima resistência é que o polietileno é praticamente inerte na grande maioria dos solventes orgânicos e inorgânicos a 20 °C (MAXWELL, 2018).

O PEAD possui uma característica muito interessante e importante para a hidráulica, esta se refere ao comportamento face a microorganismos e roedores.

A superfície redonda e lisa dos tubos de plástico não oferece área suficiente de contacto para os dentes dos roedores serem cravados. Nos estudos realizados pelo Instituto Botânico da Escola Superior de Karlsruhe, ficou demonstrado que o polietileno de alta densidade não constitui terreno de cultivo adequado para a proliferação de bactérias, fungos e esporos. Por isso é resistente a qualquer corrosão microbiana (MAXWEEL, 2018).

Os tubos e conexões de PEAD são a melhor alternativa para os processos onde haja presença de sólidos, uma vez que possuem uma ótima característica de resistência à abrasão, o seu coeficiente de resistência à abrasão é aproximadamente 5 vezes superior ao do aço e até 20 vezes maior que o concreto, logo não permite a incrustação de sólidos em seu interior. (AFLON ,1998)

Segundo MAXWELL (2018) o polietileno é um bom isolante elétrico (resistividade transversal > 10¹⁶ Ω.cm), o que permite eliminar as proteções catódicas, pois não existe corrosão por este fato. O dimensionamento dos plásticos deve ser calculado de forma a levar-se em consideração a perda lenta de características ao longo da sua vida útil, assim sendo esses cálculos devem ser efetuados com base nas características extrapoladas para 50 anos, em média, segundo algumas literaturas.

Ao submeter uma tubulação a esforços mecânicos, o material tende a ter deformações plásticas, de forma similar ao que sucede aos metais a alta temperatura. Por isso, para determinar o limite de resistência de um plástico a uma carga constante é necessário estabelecer curvas de regressão. (MAXWELL, 2018).

É certo que o polietileno cada vez mais vem ganhando mercado, porém há diversos critérios para a escolha do material a ser utilizado na realização de um projeto, cabe aqui mencionar alguns dos parâmetros:

- a pressão e a temperatura de serviço;
- o tipo de fluído a transportar;
- o lugar (zona urbana ou rural);
- a natureza do solo (dureza, acidez, movimentos do solo).

Ao escolher o material, devem-se estudar todos os parâmetros, para que assim possa se determinar qual a opção mais adequada. As tubulações de PEAD são usadas em aplicações em que se deseja certa flexibilidade, as aplicações mais comuns são para abastecimento de água, transporte de gás e proteção de cabos.

Atualmente um material muito utilizado junto com o PVC são os tubos metálicos, porém uma desvantagem do ferro é a questão da corrosão.

Ao contrário dos tubos de aço ou de ferro fundido dúctil, que podem apresentar corrosão sob a forma de "pits", por vezes de modo muito rápido (até 0,5 mm por ano), as tubulações de PE são quimicamente estáveis, em especial face à acidez do solo. Neste caso

não é necessária, em consequência, qualquer proteção especial (MAXWEEL, 2018).

A mangueira de jardim não deixa dúvida quanto à flexibilidade do PEAD, como pode ser visto na figura 5. O fato do PEAD ser flexível reduz a rigidez de se escavar valas retilíneas, uma vez que a tubulação adapta-se com facilidade a curvatura, desde de que dentro da norma; no caso podem-se excluir algumas curvas de raios menores, como as de raio $11^{\circ}15'$ ou mesmo a curva de $22^{\circ}30'$ (utilizadas para ferro fundido e PVC); outra vantagem é que em caso de movimento moderado do solo, ocorre uma deformação da tubulação, porém a chance da mesma se romper é muito menor do que se fosse em outros materiais.



Figura 5 – Tubo de PEAD.

FONTE: POLIERG (2018)

2.2.2. Designação dos tubos

Comercialmente utiliza-se o diâmetro externo para comprar, especificar e definir o diâmetro da tubulação de projeto em PEAD, uma vez que se for de PVC ou Ferro Fundido usa-se o diâmetro nominal (DN), porém é válido mencionar que no projeto hidráulico de uma rede de PEAD, deve-se sempre utilizar o diâmetro interno do tubo.

A pressão máxima que o tubo pode suportar à 25°C é denominada como a Classe de Pressão do tubo, esta Classe de Pressão pode ser expressa por: PN (Pressão Nominal), que corresponde à pressão em bar (ou kgf/cm^2), ou seja, PN 10 corresponde a 10 bar (ou kgf/cm^2) de pressão. Logo, PN 8 corresponde a 8 bar (ou kgf/cm^2) de pressão, e assim por diante. Ou ainda em MPa (Megapascal), que corresponde à PN 10. Ou seja, 1 MPa corresponde a PN 10, assim como 0,6 MPa corresponde a PN 6. Todos os tubos de mesmo SDR (relação diâmetro externo/espessura), cujo será melhor descrito no item 2.2.3.2 e de mesmo material

(PE 80 ou 100) são da mesma classe de pressão, ou seja, de mesmo PN (BRÁSTUBO,2018).

2.2.3.Projeto estrutural dos tubos

Lembrando DANIELETTO (2007) o projeto estrutural de um tubo não deve levar em conta somente a pressão interna, pura e simples, mas também a máxima de operação (MPO) essa última encontrada através de alguns fatores, entre eles estão à temperatura, o fluido, vida útil desejada, além de alguns esforços que o tubo estará sujeito durante a operação, como por exemplo, transientes hidráulicos, pressões externas (cargas de aterro e instalações subaquáticas), dilatações, flexões, etc. O fato de não se levar em conta esses fatores leva-se a inúmeros insucessos em projetos de tubulações.

2.2.3.1.Dimensionamento à pressão interna

Como já citado anteriormente, no dimensionamento hidráulico da tubulação de PEAD usa-se a pressão nominal.

Segundo DANIELETTO (2007) as classes de pressão normalizadas são para temperatura de 25°C e vida útil de 50 anos. Claro que para fornecimento de grande vulto, o fabricante poderá manufaturar, eventualmente, tubos de dimensões especiais, respeitando todas as normas. O procedimento de cálculo para determinação das paredes dos tubos de pressão, como definidas nas normas técnicas, apresenta-se a seguir:

Esse cálculo é baseado na fórmula simplificada da tensão circunferencial de dimensionamento:

$$e = \frac{P \cdot D}{2\sigma + P}$$

Onde : e=Espessura da parede (mm)

P = Pressão nominal (kgf/cm²)

D = Diâmetro externo nominal (mm)

σ= Tensão de dimensionamento.

Logo, com o auxílio da fórmula anterior e das curvas de regressão é possível calcular-se, para um determinado diâmetro externo, o qual é expresso em função da

vazão que irá passar pela tubulação, a espessura da parede necessária para a vida útil e temperatura de trabalho desejada (DANIELETTO,2007).

2.2.3.2.Relação entre diâmetro e espessura (SDR)

Como já citado anteriormente a tubulação de PEAD é designada pelo diâmetro externo nominal, especificado em catálogos como DE, e também pela pressão nominal. A classificação de pressão é dado pelo diâmetro, espessura da parede e tipo de material, exemplificado acima. Esse valor é a combinação da máxima pressão de operação a 25°C, para a vida útil de 50 anos (sendo a pressão igual à MPa x 10). (ENGEPOL,2018)

SDR é um valor adimensional que relaciona o diâmetro externo e a espessura mínima da parede do tubo ($SDR = DE / e$). Assim sendo, cada SDR associado ao composto no qual foi fabricado o tubo (PE 80 e PE 100), representará uma classe de pressão do tubo. (TIGRE,2018). A figura 6 exemplifica o tubo e sua respectiva espessura de parede.

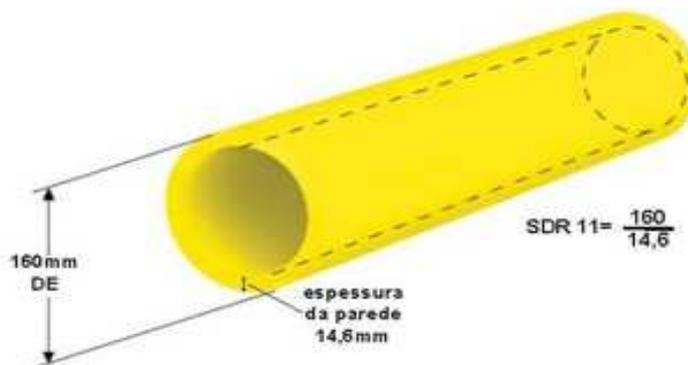


Figura 6 – Espessuras do Tubo.

Fonte: TIGRE (2018).

Conforme a ENGEPOL (2018), a pressão nominal é calculada pela seguinte fórmula: $PN = [2x(\sigma_d \times 10) \times e] / (DE - e)$. Sendo σ_d = tensão de dimensionamento, DE= diâmetro externo e e= espessura da parede do tubo. E a relação entre a pressão nominal e do tubo e o número SDR é: $PN = (20x \sigma_d) / (SDR-1)$. Logo, quanto menor for a SDR do tubo, maior é sua espessura e mais próximo fica aos tubos rígidos, como o ferro fundido e o concreto, como pode ser observado na tabela 1:

Tabela 1 - Tabela de Aplicação – Tubo de PEAD para Água									
	SDR 33	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13.6	SDR 11	SDR 9	SDR 7.4	SDR 6

PE 80	PN 4	PN 5	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12.5	PN 16	PN 20	PN 25
PE 100	PN 5	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12.5	PN 16	PN 20	PN 25	

Fonte: FGS, 2018

São usualmente utilizados PE 80 até o diâmetro de 90mm, sendo o SDR 11. E PE 100 para diâmetros acima de 200mm, e detalhados com SDR 17. Tendo em média uma variação de 20% de preço de uma SDR para outra.

2.2.3.3. Máxima pressão de Operação

Conforme DANIELETTO (2007) a máxima pressão de operação (MPO) é encontrada através de alguns fatores como temperatura, fluido, condições de operação e vida útil desejada, aplicando-se os mesmos a pressão nominal (PN), esse cálculo é praticamente o mesmo utilizado na norma API apenas com uma diferença de se aplicar os fatores sobre HDB – *hydrostatic design basis* ao invés da PN. Apesar de existir essa diferença no cálculo o resultado final de ambos serão praticamente o mesmo.

Assim, $MPO = PN \times FT \times Ff \times Fo \times Fv$. Onde FT= fator em função da temperatura, Ff= o fator de redução de pressão em função do fluido, Fo= fator de resistência à pressão em função das condições e Fv= fator de resistência à pressão em função da vida útil. Serão apresentados os parâmetros e fórmulas para os seguintes fatores: Fator de resistência à pressão, função da temperatura (FT), Fator de resistência à pressão em função do fluido (Ff) (resistência química), o Fator de resistência à pressão em função das condições de operação (Fo) e o Fator de resistência à pressão em função da vida útil (Fv), respectivamente. (DANIELETTO, 2007)

O fator de resistência à pressão em função da temperatura (FT) é com o auxílio da curva de regressão, extraindo-se o valor da tensão circunferencial para a vida útil de 50 anos na curva correspondente à temperatura de operação desejada. (DANIELETTO, 2007)

Conforme DANIELETTO (2007) “aplica-se sobre esse valor o fator de segurança normalizado (C) de 1,25 para obter a tensão de dimensionamento (σ_T) e a tensão de dimensionamento (σ) a 20°C padrão, ou seja, $FT = \sigma_T / \sigma$ ”. Assim sendo, a máxima pressão de operação resultante na temperatura desejada é dada pela fórmula: $MPO = PN \times FT$ (DANIELETTO, 2007)

Segundo DANIELETTO (2007) o fator de redução de pressão em função do fluido (Ff) deverá ser obtido através de ensaios de pressão executados com o próprio fluido e mesclados com os resultados obtidos em água para um mesmo tempo de ruptura:

$$Ff = \sigma_{fluído} / \sigma_{água}$$

De acordo com sugestão das normas finlandesas para tubos de PEAD, SFS 2336. Genericamente são adotados os seguintes fatores de resistência conforme tabela 2:

Tabela 2 – Fatores de resistência	
Condução de água e outros fluídos não corrosivos aos quais o PE e PP são resistentes	Ff = 1
Líquidos corrosivos aos quais o PE e o PP são resistentes	Ff = 0,63
Líquidos corrosivos aos quais o PE e o PP são resistentes dentro de certos limites	Ff = 0,4

FONTE: DANIELETTO (2007)

“Entretanto, em função da monta do projeto e suas consequências econômicas e ecológicas, a determinação de fatores mais precisos é sempre aconselhável.” (DANIELETTO, 2007).

O fator de redução de pressão (Fo) é obtido em função de condições locais de operação, instalação e riscos. Em regime contínuo, os valores para Fo variam entre 1 e 0,5 definidos conforme legislações locais e normas técnicas específicas para cada aplicação. De maneira geral, dentro do critério europeu e brasileiro, Fo=1. E Fo apresenta valores acima de 1 nas seguintes condições; quando houver transientes hidráulicos: Fo ≥ 1,5 ou quando nos testes de estanqueidade Fo ≥ 1,5 (DANIELETTO, 2007).

Segundo DANIELETTO (2007) para o Fator de resistência à pressão em função da vida útil (Fv), Normalmente, nas aplicações de engenharia sanitária espera-se e dimensionam-se as tubulações para a vida útil superiores ou iguais há 50 anos. Nesse caso, se poderia considerar um fator relativo à vida útil da tubulação, baseado, novamente, nas curvas de regressão, segue na tabela 3, a relação de fatores com a vida útil desejada de 1 a 50 anos.

Tabela 3 – 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

Fonte: (DANIELETTO, 2007)

2.2.4. Dimensionamento Hidráulico

Segundo DANIELETTO (2007) para se fazer o dimensionamento de um projeto hidráulico que se utiliza tubos de material plástico toma-se como base as mesmas técnicas e metodologias de tubos de outros materiais, a diferença que vai existir no dimensionamento hidráulico de um tubo plástico é a sua baixa rugosidade (menor atrito) o que resultará em diâmetros menores que os tubos convencionais para as mesmas vazões.

As fórmulas que mais são aplicadas para o dimensionamento hidráulico são; para condutos forçados (sob pressão) a fórmula de *Hazen – Williams* e a fórmula Universal (*Colebrook ou Darcy- Weisbach*). Já para os condutos livres (por gravidade) usa-se a fórmula de *Manning* (DANIELETTO, 2007).

Conforme DANIELETO (2007) “Na fórmula de *Hazen – Williams*, a influência rugosidade apresenta-se embutida no coeficiente C, que para tubos plásticos a literatura técnica tem adotado valores entre 140 e 150”.

Na fórmula Universal, no cálculo de perda de carga a rugosidade determina o coeficiente de atrito. Para tubos plásticos os valores de rugosidade normalmente adotados são: para diâmetros ≤ 200 mm: $k = 10 \mu\text{m}$ e para diâmetros > 200 mm: $k = 25$ a $50 \mu\text{m}$ (DANIELETTO, 2007).

2.2.4.1. Perdas de carga em Condutos forçados (sob pressão)

Segundo DANIELETTO (2007) as perdas de carga podem ser calculadas entre outras fórmulas, pela de *Hazen–Williams* ou *Colebrook*, no entanto algumas vezes recomenda-se que se calcule por ambas as fórmulas e adota-se a perda de carga de maior valor.

- Fórmula de *Hazen – Williams*

$$H = 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87} \cdot L$$

Onde: H = Perda de carga (m)

$$C = 140 \text{ a } 150$$

D = Diâmetro interno (m)

L = Comprimento do tubo (m)

Ou: $h = 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87}$

Onde: h = Perda de carga unitária (m/m)

- Fórmula Universal (*Colebrook*)

$$\Delta P = f \cdot \frac{\rho \cdot 10}{d \cdot 2g} \cdot v^2 \cdot L$$

Onde: ΔP = Perda de Carga (kgf / cm²)

f = Coeficiente de atrito

ρ = Peso específico do fluido (kN/m³)

d = Diâmetro interno (mm)

g = Aceleração da gravidade (m/s²)

v = velocidade média (m/s)

L = Comprimento do tubo (m)

Para a água, a fórmula pode ser simplificada para:

$$H = \frac{f \cdot v^2 \cdot L}{d \cdot 2g}$$

Onde: d = Diâmetro interno (m) e H = Perda carga (m).

O coeficiente de atrito (f) depende do regime do fluxo, ou seja, fluxo laminar ou turbulento. (DANIELETTO, 2007).

2.2.4.2. Perdas de carga em conexões

A perda de carga está diretamente relacionada às peças usadas no detalhamento do projeto, uma vez que quando detalhado um cotovelo de 90°, por exemplo, fará com que a água tenha uma perda de carga nesta conexão, devido à mudança de direção.

São listados vários componentes comuns de sistemas de tubulações e a queda de pressão associada através das conexões, expressa como um comprimento equivalente de tubulação reta em termos de diâmetros. Multiplicando os diâmetros de comprimentos equivalentes pelo diâmetro interno, obtém-se o comprimento equivalente de tubulação. Este comprimento equivalente é somado ao comprimento total de tubulação para calcular a perda de carga total do sistema.

Estes comprimentos equivalentes podem ser considerados como bons cálculos aproximados para a maioria das instalações (BRÁSTUBO, 2018).

Na tabela 4 são demonstrados os comprimentos equivalentes de acordo com a conexão:

Tabela 4 – Comprimentos equivalentes	
Conexões	Comprimento equivalente
Tê 90° (entrada longitudinal do fluído)	20 D
Tê 90° (entrada lateral do fluído)	50 D
Cotovelo 90°	30 D
Cotovelo 60°	25 D
Cotovelo 45°	18 D
Válvula de globo convencional (completamente aberta)	350 D
Válvula de ângulo convencional (completamente aberta)	180 D
Válvula de comporta convencional (completamente aberta)	15 D
Válvula borboleta (completamente aberta)	40 D
Válvula check convencional (completamente aberta)	100 D

Fonte: BRÁSTUBO, 2018

2.2.4.3. Curvatura dos tubos

A curvatura está relacionada com o raio máximo admitido para curvar a tubulação, sendo catálogo da BRÁSTUBO (2018), essa curvatura da tubulação depende do tipo de pressão (PN, SDR), do módulo de elasticidade do material e da tensão admitida, que podem variar em função do tempo de aplicação da carga e da temperatura. A seguir é apresentada a tabela 5 de raios máximos de curvatura do PE:

Tabela 5 - Curvatura	
SDR	Raio máximo de Curvatura
41	50D
33	40D
26	30D
17	30D
11	30D

D: diâmetro máximo externo da tubulação

FONTE: BRÁSTUBO, 2018

A curvatura da tubulação está diretamente relacionada com o SDR, como pode ser visto na tabela 05. A deformação maior ou menor depende da relação diâmetro/espessura (SDR), mas também está correlacionado com o tipo e grau de compactação do solo que o tubo está assentado.

Conforme catálogo da BRÁSTUBO (2018) o método mais usado para determinar as deflexões é o de M. Spangler, que publicou em 1941 sua fórmula de IOWA, que foi modificada por R. Watkins em 1955, que lhe deu a forma atualmente usada:

$$\Delta y = \frac{K (D W_e + W_t)}{(EI/r^3) + 0,061 E'}$$

Abaixo, expressa em termos da relação dimensional padrão, SDR:

$$\Delta y = \frac{K (D W_e + W_t)}{(2E/3) (SDR - 1)^3 + 0,061 E'}$$

Em ambas as fórmulas, os termos possuem o seguinte significado:

Δy = deflexão vertical da tubulação, cm

DL= fator de deflexão de longo prazo recomendado por Spangler $1 < DL < 1,5$ (por segurança, considera-se 1,5).

W_e = carga do terreno, Kgf/m linear

W_t = cargas vivas, Kgf/m linear

r = raio médio da tubulação, cm

I = momento de inércia da parede da tubulação por unidade de comprimento ($I = e^3/12$), cm.

E = módulo de elasticidade do polietileno

PE 80 : $E = 8000$ Kgf/cm²

PE 100 : $E = 14000$ Kgf/cm²

SDR = relação dimensional padrão (diâmetro externo/espessura)

E' = módulo de reação do solo, Kgf/cm²

e = espessura da tubulação, cm

K = fator de apoio, depende do ângulo de apoio

2.2.4.4.Ventosas

Conforme DANIELETTO (2007) para se evitar colapso nas redes de tubos quando houver vácuo parcial na linha são necessários alguns cuidados. A solução mais utilizada é a aplicação de ventosas nos pontos elevados da linha, esse cuidado deve ser tomado para tubos plásticos assim como os demais tubos de parede fina. Recomenda-se o uso de ventosas cujos diâmetros nominais sejam maiores que $D/8$, onde D é o diâmetro externo do tubo. Em alguns casos poderá ser necessário o uso de duas ou mais ventosas em um mesmo ponto crítico. Os seguintes pontos da linha devem ser analisados: todos os pontos altos, todos os pontos de mudança acentuada de inclinação em trechos ascendentes, também os pontos de mudança acentuada de declividade em trechos descendentes. Os pontos intermediários em trechos ascendentes muito longos, os pontos intermediários de trechos horizontais muito longos e os pontos intermediários de trechos descendentes muito longos também devem ser analisados, assim como os pontos iniciais e finais de trechos horizontais, e os pontos iniciais e finais de trechos paralelos à linha piezométrica (DANIELETTO, 2007).

Na tabela 6 estão especificados os diâmetros recomendados para uma ventosa em função do diâmetro da tubulação.

Tabela 6- Diâmetro recomendado de ventosa em função do diâmetro da tubulação	
Diâmetro do tubo (mm)	Diâmetro nominal da ventosa (mm)
Até 200 mm	50 mm (2")
225 a 500 mm	100 mm (4")
560 a 900 mm	150 mm (6")
1000 a 1200 mm	Duas de 150 mm (2 x 6")

FONTE: DANIELETTO (2007)

2.2.4.5.Ancoragens

Por existir uma pressão interna na tubulação, formam-se empuxos que resultam em momentos de flexão em peças de derivação, tês ou curvas, por isso o motivo para ancorá-las, ou protegê-las da ruptura. Particularmente é necessária que se faça a ancoragem em tubulações cujas junções sejam feitas por ponta e bolsa ou luva de correr, pois o empuxo formado pode fazer com que o acoplamento da

tubulação se solte, as soldáveis são mais resistentes. Nos tubos de PEAD com a maioria das uniões sendo do tipo auto-travantes (soldas, flanges, juntas mecânicas de compressão) torna-se a ancoragem desnecessária em grande parte dos casos, além de a flexibilidade desses tubos absorverem os esforços sofridos. Porém em conexões feitas a partir de tubos, tês gomados, sujeitas a pressões elevadas é aconselhável utilizar ancoragem ou reforços nas peças para que os momentos surgidos pelos esforços não provoquem sua ruptura (DANIELETTO, 2007).

2.3. Conexões

De acordo com diversas literaturas e catálogos técnicos há dois tipos de métodos para as conexões, os de junta mecânica e os de soldagem. Os quais serão descritos a seguir.

Segundo o catálogo da POLYEASY (2018) há dois métodos de soldagem; o de Termofusão, que se ramifica em três tipos; o tipo Topo, o soquete e do tipo sela. E o método da Eletrofusão, que se ramifica nos tipos Luva e tipo Sela. Esse tipo de conexão é muito utilizado quando se deseja uma redução no vazamento, visto que é soldável a chance de ocorrer um vazamento é infinitamente menor do que em um método de encaixe, como os tipos ponta e bolsa.

Dentre os métodos de união por junta mecânica, destacam-se os de conexões de compressão, colares de tomada, colarinho/flange e juntas de transição (DANIELETTO, 2007).

São usualmente utilizados para os diâmetros até 63mm o método por junta mecânica. Para os diâmetros de 63mm até 160mm por eletrofusão e para os diâmetros acima de 160 é recomendável pelo método de solda de topo. Já para os reparos são recomendáveis até 160mm utilizar os de junta mecânica e os maiores de 160mm os de eletrofusão. E para transições usualmente para diâmetros maiores que 110 mm usa-se colarinho/flange, e para os diâmetros menores que 110 mm são utilizados adaptadores mecânicos de ponta ou flanges. Para os ramais de ligação até 90mm são utilizados os tês de serviço mecânico. São fabricados pela POLYEASY conexões apenas para os SDR 11 e 17.

É importante salientar que para cada um desses métodos é oferecido um conjunto de peças, ou conexões, para curvas, tês, reduções, enfim para cada acessório. A solda pode ser observada na figura 7.

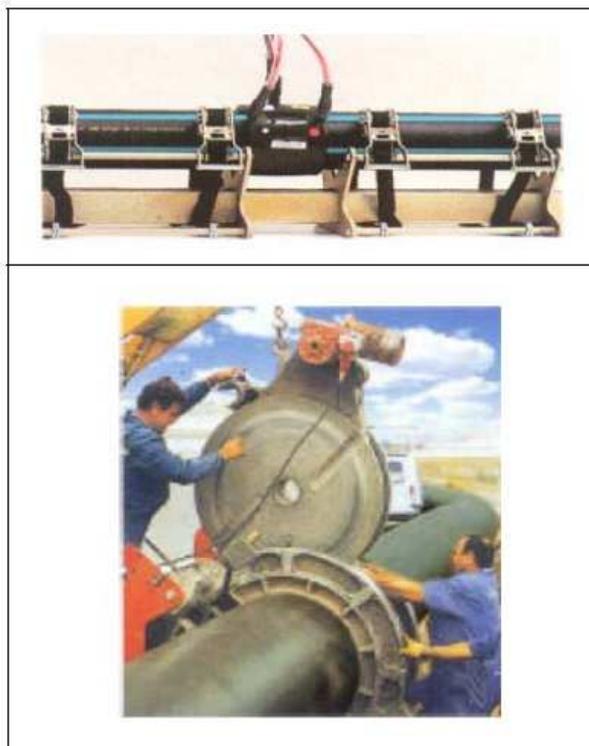


Figura 7- Solda de uma tubulação de Polietileno.

Fonte: MAXWEEL, 2018

2.3.1. Conexões Soldáveis

Foram desenvolvidas as técnicas de soldagem denominadas soldagem por termofusão e por eletrofusão, segundo DANIELETTO (2007) “isso devido às suas propriedades características de se fundirem sob determinadas temperatura e pressões, podendo ser moldados e resfriados na forma desejada e serem remoldados a novos ciclos de temperatura e pressão.”

A soldagem por termofusão, conforme figura 8, resume-se basicamente em submeter os materiais a determinada temperatura e por tempo tal que os materiais entrem em fusão. Logo em seguida uni-se as superfícies fundidas sob certa pressão, ocasionando a interação das massas fundidas, para que resfriem e resultem em um corpo único que mantém as mesmas propriedades e características dos materiais originais. Entre os métodos mais usados de soldagem por termofusão são encontrados: solda de topo (*butt fusion*); solda soquete ou de encaixe (*socket fusion* ou *polifusão*); e solda de sela (*saddle fusion*) (DANIELETTO, 2007).

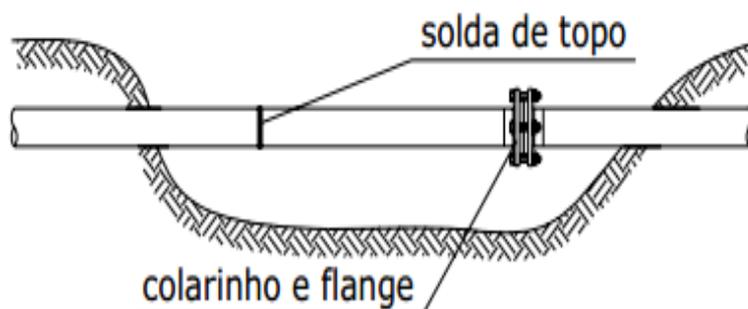


Figura 8 - Termofusão.

Fonte: POLYEASY, 2018

Conforme DANIELETTO (2007) é importante observar que a soldagem por eletrofusão, cuja utilização é mais recente, difere da termofusão, uma vez que o aquecimento dos materiais é feito através da passagem de uma corrente elétrica por uma resistência elétrica espiralada, junto à peça, resultando no calor para a fusão, a máquina para esse tipo de fusão é mostrada na figura 9.



Figura 9- Máquinas de Solda de Topo

Fonte: DANIELETTO, 2008.

2.3.1.1. Conexões Tipo Ponta por Termofusão

Segundo BRÁSTUBO (2018), este tipo de conexão é mais utilizado em diâmetros acima de 63 mm. É uma das formas de conexões mais empregadas atualmente, sendo segura e apresentando um bom desempenho.

Apresenta um fator de solda à tração (f_s) entre 0,8 e 1,0, representando a relação entre a resistência à tração da solda e a do tubo. Já seu fator de solda à pressão (função da pressão interna) chega a ser maior que 1,0. “As conexões para solda de termofusão de topo são também denominadas por conexões tipo ponta, isto é, suas dimensões na região de soldagem correspondem às dimensões do tubo equivalente.” (DANIELETTO, 2007).

Neste tipo de soldagem os tubos ou conexões são soldados topo a topo, assim não se necessitam peças para a união de tubos.

Segundo a BRÁSTUBO (2018) as conexões podem ser dos seguintes tipos: injetada, segmentadas, curvada a quente ou usinadas. Segue um modelo de termofusão na figura 10.

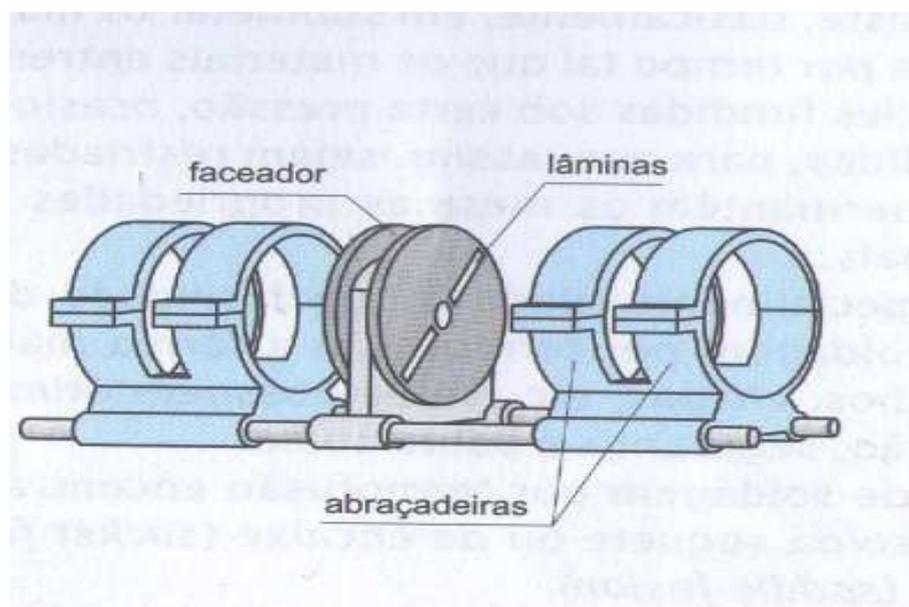


Figura 10- Conexão para solda de topo por termofusão – tipo ponta.

Fonte: DANIELETTO, 2008.

2.3.1.1.1. Colarinho/flange

Para que ocorra a transição de um tubo de um material para outro, por exemplo de um tubo de PEAD, onde a conexão é feita por termofusão, para um tubo de ferro fundido, é necessário usar uma transição de colarinho/flange, conforme figura 11 abaixo:

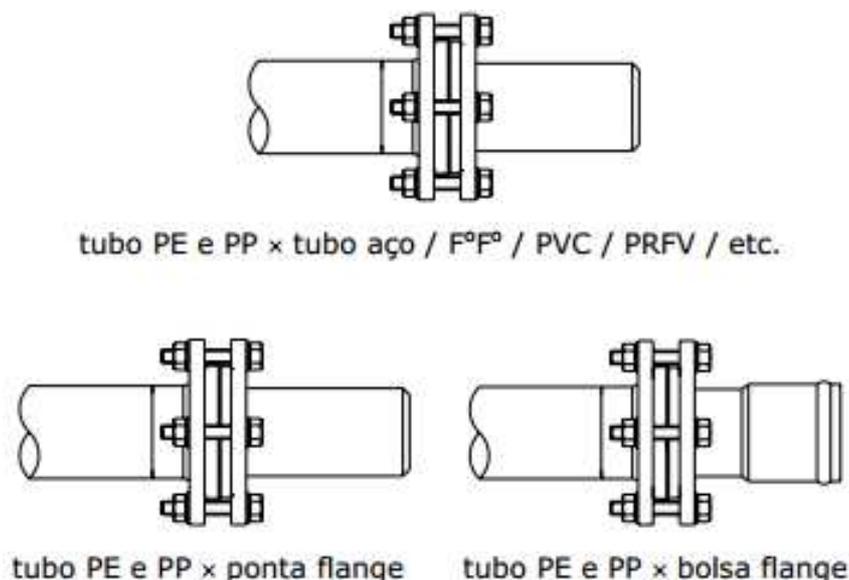


Figura 11 - Colarinho/Flange com outros matérias.

Fonte: POLYEASY, 2018

Segundo DANIELETTO (2007) consiste de uma peça de PEAD injetada ou usinada, que é soldada ao tubo respectivo, e um flange solto de aço ou plástico reforçado.

2.3.1.2. Conexões Soquete

Conforme DANIELETTO (2007) esse tipo de conexão são disponíveis apenas até o diâmetro de 125 mm, sendo comercialmente usados os de diâmetros de 20 a 63 mm. E não se aplicam a tubos de SDR maiores que 17.

Este tipo de conexão possui uma bolsa na extremidade (soquete), onde é inserido o tubo, e então é soldada a superfície inserida da bolsa com a externa do tubo. Para tanto, o diâmetro interno da bolsa tem que ser inferior ao do tubo e com certa conicidade, de forma a exercer uma pressão da massa fundida da conexão contra a massa fundida do tubo (DANIELETTO, 2007).

DANIELETTO (2007) ainda explica que é necessária uma placa de aquecimento com temperatura controlada para fundir a superfície interna e externa da bolsa, para que assim o tubo possa ser introduzido na bolsa e permanecer imóvel até o seu resfriamento. Todo o processo para diâmetros até 63mm é feito manualmente, sendo que para os diâmetros maiores é usado uma pequena máquina. Pela dependência de um soldador atualmente não é permitida a utilização dessa técnica para redes de abastecimento de água.

Segundo a BRÁSTUBO (2018) para as conexões do tipo soquete, como pode ser visto na figura 12, são disponibilizados: redução, tês, cotovelos, etc.

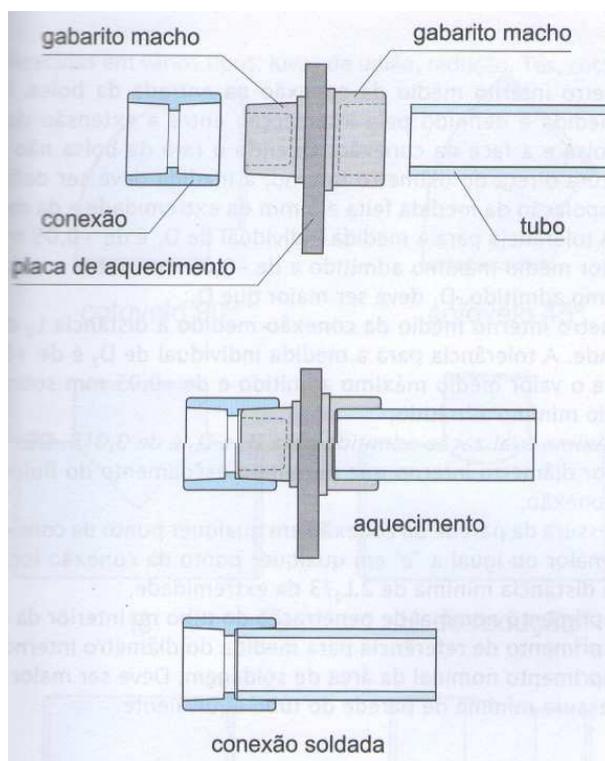


Figura 12 - Solda Soquete.

Fonte: DANIELETTO (2007).

2.3.1.3. Conexões tipo Sela por Termofusão

Conforme DANIELETTO (2007) pela mesma dependência de um soldador, as conexões tipo sela não são utilizadas para redes de água, porém é utilizada para fabricações de peças especiais, como o Tê de sela, conforme figura 13.



Figura 13- Tê de Sela.

Fonte: do autor.

Esse tipo de conexão, como definiu DANIELETTO (2007), é utilizada para fazer derivações de linhas, e são utilizadas para diâmetros acima de 63mm. A conexão tipo sela é injetada ou usinada.

[..] possui uma base em forma de sela que assenta sobre os tubos. Através de um dispositivo térmico de aquecimento, funde-se o material da base da conexão e o da superfície externa do tubo, comprimindo-se, a seguir a peça contra o tubo, promovendo-se a interação das massas fundidas, até que resfriem (DANIELETTO, 2007)

São disponibilizados dois tipos de conexões para o tipo Sela, sendo o Sela simples ou Tê de Sela, cuja aplicação é em linhas sem carga. Onde é utilizada uma broca ou serracopo logo após a soldagem para furar o tubo e estabelecer a ligação. Ou também pode ser por Sela com punção, Tê de serviço ou Tapping, cuja aplicação é para linhas em carga. E o seu método implica em utilizar uma ferramenta de corte integrada capaz de puncionar (furar) o tubo em carga, estabelecendo assim a ligação. (BRÁSTUBO,2018)

2.3.2. Conexões para Eletrofusão

Conforme DANIELETTO (2007), esse tipo de conexão são disponíveis para diâmetros entre 20 a 630mm, porém por uma questão de custo benefício são mais usados em diâmetros até 160 mm. Esse tipo de conexão é uma boa solução para os reparos e expansões de linhas. Um ponto forte a favor desse tipo de conexão é a

grande segurança e facilidade de execução e rastreabilidade com as máquinas automáticas, como visto na figura 14 e 15. As luvas de eletrofusão facilitam os reparos em carga, uma vez que com a utilização delas não há a necessidade de movimentar os tubos para sua instalação.

Este tipo de solda emprega uma conexão provida de uma bolsa, ou sela, respectivamente denominadas como do tipo bolsa, ou do tipo sela, que possui uma resistência elétrica espiralada incorporada, cujas extremidades são conectadas a terminais que se localizam na parte externa da peça e que, quando submetidas à determinada intensidade de corrente elétrica e tempo, geram calor a fim de possibilitar a solda da peça ao tubo, cuja superfície externa é concomitantemente fundida (BRASTUBO, 2018).



Figura 14 - Máquina de Solda Eletrofusão.

Fonte: DANIELETTO, 2008

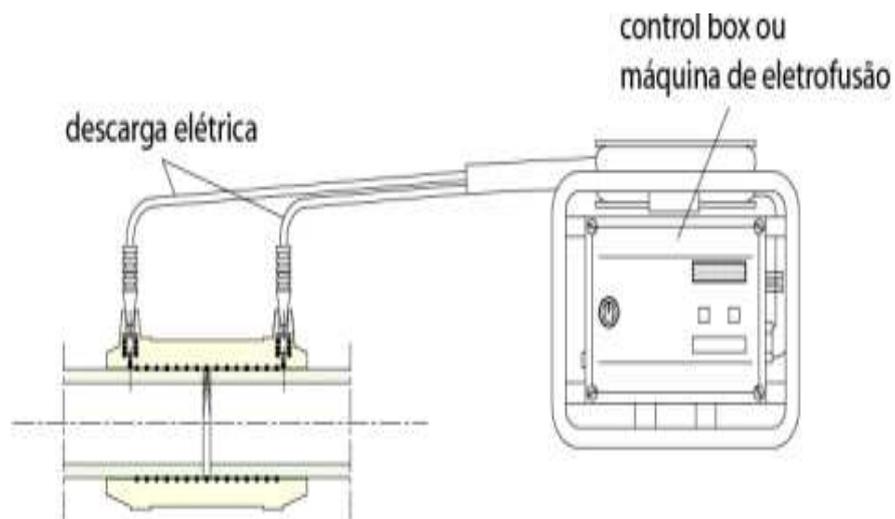


Figura 15 - Solda por Eletrofusão.

Fonte: (DANIELETTO, 2008)

2.3.3. Conexão Tipo Junta Mecânica

2.3.3.1. Conexões de Compressão

São produzidas por injeção. Seu funcionamento se resume a introduzir o tubo em uma bolsa, fazendo-se a vedação por anel de borracha. Para a eficiência da vedação faz-se necessário uma garra, cujo material necessita ser mais duro do que o PEAD, e uma porca externa cônica, a conexão morde o tubo e assim deve-se travá-lo para que possa resistir ao máximo esforço de tração que o tubo pode ser submetido sob pressão (DANIELETTO, 2007). Segue na figura 16 uma luva de compressão.



Figura 16 - Luva de Compressão.

Fonte: do autor, 2018

Ainda, segundo DANIELETTO (2007) esse tipo de conexão é de fácil instalação e também é uma excelente alternativa para reparos, em especial quando não se consegue estancar totalmente a tubulação para executar uma solda. E um ponto positivo é que ao contrário das técnicas de conexões de eletrofusão e termofusão, não necessitam de um bom soldador. A conexão por junta mecânica não exige grande qualificação, e nem equipamentos e ferramentas para se soldar. E outro ponto a favor é que não necessitam de ancoragens, uma vez que são auto-travadas, segue um exemplo na figura 17.

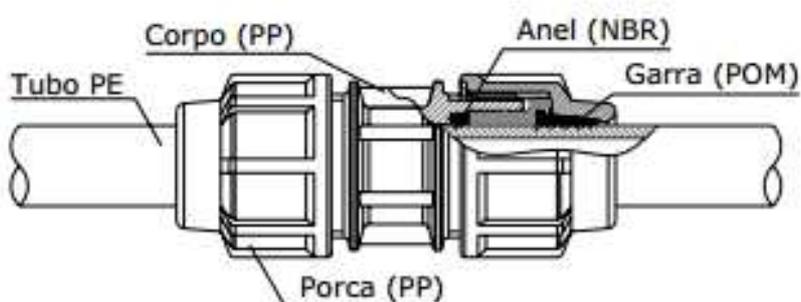


Figura 17 - Junta Mecânica de Compressão.

Fonte: POLYEASY, 2018

2.4. Juntas mecânicas para Reparo

Estas peças são utilizadas em situações de emergência, onde se faz necessário um reparo rápido, em especial quando a tubulação não pode ter o fluxo de água completamente estancado, impossibilitando os métodos de soldagem.

Conforme DANIELETTO (2007) algumas peças, por serem autotravadas, se adequam para um conserto permanente, outras se prestam como opção provisória. Os tipos existentes são descritos a seguir:

- Luva de correr: no sistema de abastecimento de água não são usualmente usadas, uma vez que segundo empresas de PEAD, como a POLYEASY (2018), essas peças não são projetadas para tubos de PEAD, apenas sob encomenda, visto que não são uma boa alternativa, segue uma imagem ilustrativa da luva na figura 18.

DANIELETTO (2007) ressalta que essas luvas devem ser usadas apenas quando não houver a disponibilidade de usar as juntas do tipo auto-travada, e lembra ainda que esta luva deve ser usada por um curto período de tempo.

➤ Torniquetes: estas peças seguem a mesma recomendação da Luva de Correr, apenas devem ser utilizadas quando não houver a possibilidade de usar as do tipo auto-travadas, e por um curto período de tempo, até que seja feito o reparo definitivo, um modelo de torniquetes como ser observado na figura 19.

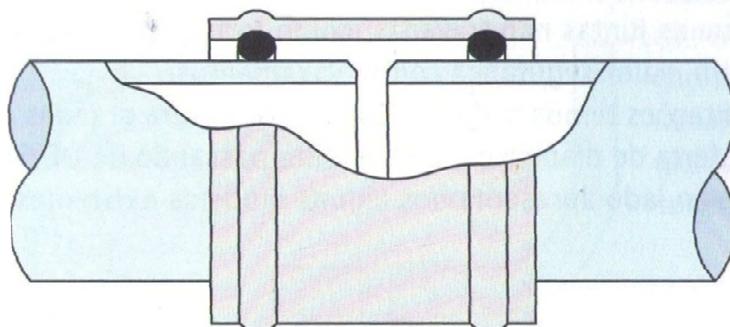


Figura 18 – Luva de Correr.

Fonte: DANIELETTO (2007)

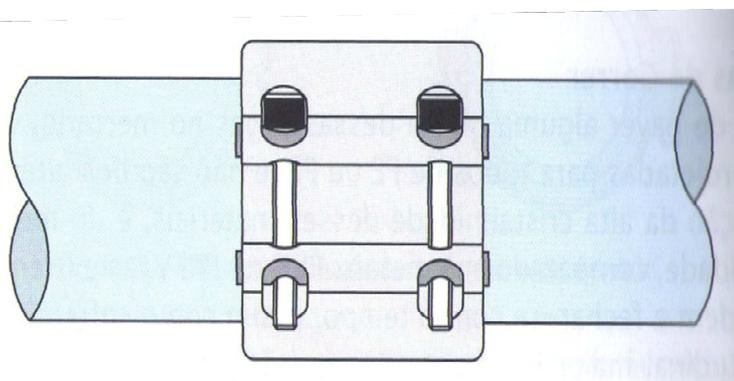


Figura 19 - Torniquete.

Fonte: DANIELETTO (2007)

São geralmente peças feitas em peças de aço, com mantas de borracha que envolvem o tubo na região que apresenta a ruptura, e que são apertadas por parafusos, comprimindo a manta de borracha contra o tubo, estancando o vazamento. (DANIELETTO, 2007).

➤ Juntas Mecânicas Auto-travadas, conforme figura 20: São as juntas de reparo com melhor aceitação de mercado. Segundo DANIELETTO (2007), existem

diversos modelos, dentre os quais se destaca a junta de compressão, uma vez que é de fácil utilização, segurança e têm um preço bom.

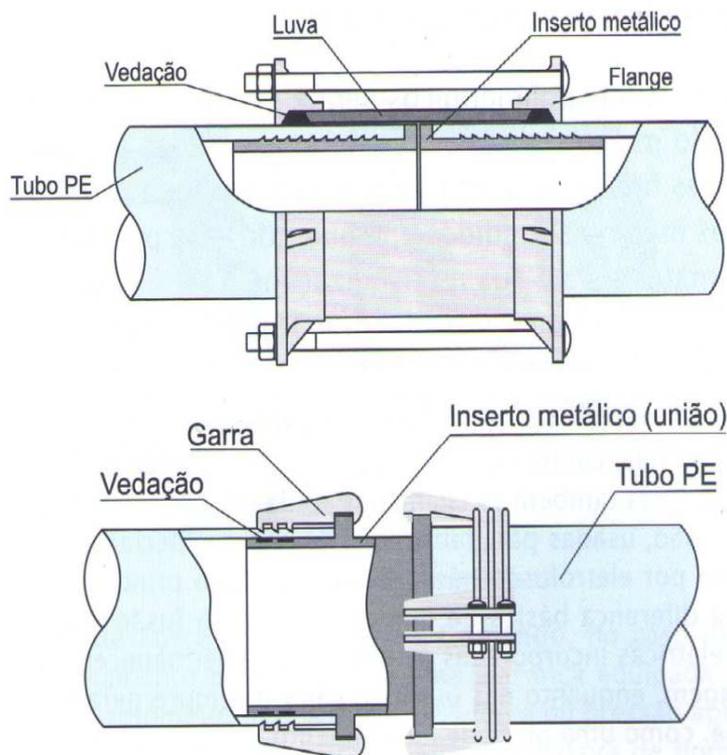


Figura 20 – Juntas Auto-Travadas.

Fonte: DANIELETTO (2007)

Conforme DANIELETTO (2007) é “[...] com vedação por anéis de borracha, tendo a capacidade de travar-se no tubo de polietileno resistindo aos esforços axiais, sendo assim mais apropriadas a reparos que as juntas não travadas. [...]”.

2.5. Métodos e procedimentos de instalação

2.5.1. Tubulação enterrada

Na execução de projetos de tubulações enterradas devem-se tomar alguns cuidados para evitar danos futuros na rede. Alguns procedimentos que são estabelecidos em projeto devem ser seguidos tais como a altura e o tipo de solo que serão utilizados no reaterro da vala, a presença de lençol freático, a especificação da compactação, as travessias de ruas e estradas, válvulas, ventosas, ramais, as curvaturas admissíveis e o adequado manuseio dos tubos e conexões para que não sejam danificados pela má instalação (DANIELETTO, 2007).

2.5.1.1.A vala

A abertura de vala é o método destrutivo utilizado para realizar o assentamento de tubulações, recomenda-se que no início da escavação da vala quer seja por processo manual ou mecânico afastar todo o entulho resultante da quebra do pavimento quando houver, ou base de revestimento do solo (subleito) evitando que esse material seja utilizado no envolvimento da tubulação danificando a mesma. A largura da vala deve ser a menor possível, no entanto essa largura deve ser o suficiente para permitir o manuseio da tubulação e a compactação mecânica ou manual entre o tubo e a parede da vala. Em algumas situações é necessário fazer a soldagem do tubo dentro da vala, para facilitar essa operação realiza-se uma escavação adicional nas laterais e profundidade da vala para que possa ser executada com segurança a soldagem da tubulação. (DANIELETTO,2007)

De acordo com DANIELETTO (2007) as valas profundas devem ter uma seção transversal trapezoidal visando sua maior estabilidade e serem escoradas nos seguintes casos:

- Valas com mais de 1,25m de profundidade em terrenos instáveis;
- Valas com mais de 1,75m de profundidade em qualquer tipo de terreno;
- Terrenos de consistência inadequada, independente da profundidade;
- Proximidades de locais onde se colocam equipamentos que provoquem vibrações no terreno, tais como, compressores, bombas, trafego pesado, etc.

Em locais onde o fundo da vala apresente pedras ou formações rochosas deve-se promover uma escavação adicional de 0,15 a 0,20m, cobrir o fundo da vala com uma camada de terra isenta de pedras e entulhos, ou, alternativamente, uma escavação de 0,10 m para formar um berço de areia desta espessura. Esta camada de terra ou de areia deve ser devidamente compactada;

Quando o fundo da vala for constituído de material sem condições mínimas de suporte para o assentamento da tubulação, deve-se executar o assentamento conforme recomendações de projeto e na inexistência destas recomendações utilizar uma base de brita (cascalho) ou concreto. A tubulação sobre tais bases deve ser assentada sobre colchão de areia de 0,10 m ou material escolhido de 0,15 a 0,20 m;

O fundo da vala deve ser uniforme, devendo-se evitar os calos e ressaltos. Para tanto, se necessário, deve ser regularizado utilizando-se areia ou outro material adequado (DANIELETTO, 2007).

Como a soldagem do material é feita fora da vala, uma grande vantagem do PEAD é que não é necessário escoramento da vala, uma vez que é tudo mecanizado e não há necessidade de proteção. Havendo exceção, sendo considerada a qualidade do solo. E em casos gerais, a vala aberta é pequena, sendo aberta para os diâmetros de 63mm à 250mm uma largura de 300mm, conforme tamanho da pá de abertura.

2.5.1.2.Assentamento

Sendo o PEAD um plástico, fica lógico que ao assentar a tubulação, esta não deve estar próxima de redes elétricas ou qualquer fonte de calor que excedam a 40°C. Deve-se tomar muito cuidado com redes já existentes no local, a fim de evitar sustentar ou apoiar nessas redes. É normatizada uma distância de 30 cm de uma rede PEAD com qualquer outra projetada ou existente (seja água, gás, linhas telefônicas, dentre outras). Já se a rede existente for elétrica e com tensão maior que 1KV, a tubulação deverá dar uma distância mínima de 50 cm. (DANIELETTO, 2007).

Ainda segundo DANIELETTO (2007), no assentamento deve-se tomar cuidado ao arrastar a tubulação dentro da vala, é necessário que o fundo esteja previamente regularizado com os materiais especificados e que não contenha pedras, ou materiais que venham a danificar a tubulação. É também, quando houver a necessidade de interromper o assentamento, as extremidades devem ser tamponadas a fim de evitar a entrada de sujeira ou animais. Outro fato importante é que toda água existente na vala deverá ser removida antes de começar a assentar a tubulação.

É importante também salientar que para os tubos com SDR menor ou igual a 17, a importância com o solo para o assentamento e para o aterro é minimizada, uma vez que esses tubos têm a parede mais grossa, tornando-o mais rígido. O recobrimento da tubulação deverá ser feito em camadas compactadas a até 20 cm acima da geratriz superior do tubo, com o material projetado, o restante do recobrimento poderá ser feito com o próprio material da escavação de abertura da vala (DANIELETTO, 2007).

Conforme DANIELETTO (2007) já para os tubos de SDR maior do que 17 são de grande importância a escolha correta do material de reaterro, priorizando materiais granulares, como areia grossa lavada por exemplo. Para esses tubos, devem-se seguir as seguintes etapas: Berço e zona de suporte: é a criação de um berço para a tubulação, em toda a extensão do tubo, envolvendo-o de 120° a 180° da superfície inferior do tubo. Depois se faz um reaterro inicial, deve-se aterrar de forma

compactada em camadas de 20 cm até a geratriz superior do tubo. A terceira etapa é colocar uma camada de proteção (trincheira falsa), onde aterra-se mais 30 cm acima da geratriz superior da tubulação, porém sem compactar, apenas dando soquetes. E por último vem o recobrimento final, no qual se completa o reaterro compactando-o com a própria escavação de abertura de vala, normalmente, conforme figura 21.

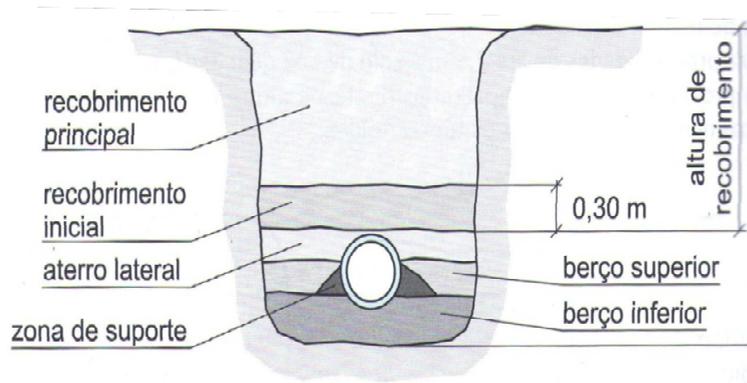


Figura 21 – Envolvimento da tubulação para SDR > 17.

Fonte: DANIELETTO (2007)

2.6. Métodos Não Destrutivos

Quando há necessidade de executar uma obra de assentamento de tubulação, seja de água ou não, ou há necessidade de recuperar uma rede em colapso ou substituí-la há dois métodos; o método destrutivo, o qual se abre uma vala e enterra conforme visto acima, recupera ou substitui a tubulação, ou o método não destrutivo que como o próprio nome já diz não destrói o que já fora construído anteriormente, ou seja, são obras que minimizam ou eliminam a necessidade de escavações, de aberturas de valas.

Existem casos onde a utilização deste método é o único exequível, por ser impossível a paralisação de uma grande avenida, por exemplo. A abertura de valas para o assentamento de tubulação pode causar grandes transtornos, isso porque é necessário fazer um corte no pavimento, escavar, assentar a tubulação, repor o pavimento, e têm também a necessidade do controle do tráfego automotivo e de pedestres.

Segundo DANIELETTO (2007), é nesse quesito que os tubos de polietileno demonstram uma de suas maiores vantagens em relação às tubulações convencionais.

As principais técnicas com a rede de PEAD para reabilitação e recuperação é o método chamado de Inserção ou *Relining*, já para a construção de novas redes têm-

se o Furo Dirigido ou Direcional e para substituição por arrebentamento pelo mesmo caminhamento o método mais utilizado é o *Pipe Bursting* ou Torpedo Rompedor.

2.6.1. Inserção ou *Relining (sliplining)*

É utilizado sempre que se pode diminuir o diâmetro da conduta inicial. É um processo onde domina a utilização de materiais como o PVC e o PEAD. (GRILLO, 2007).

Consiste em se introduzir livremente, por puxamento ou empurramento, tubos poliolefínicos em linhas e tubulações corroídas e/ou danificadas, de água, gás, efluentes industriais, etc., restabelecendo a integridade da linha sem necessitar abrir valas e interromper tráfego de veículos, o que resulta em maior velocidade de execução do serviço, menos volume de trabalho e economia.

Esta técnica torna-se viável devido à baixa rugosidade dos tubos poliolefínicos aliada à sua flexibilidade, permitindo que um tubo de diâmetro inferior ao tubo velho danificado possa escoar a mesma ordem de vazão anterior ou até superior, promovendo ainda boa barreira química, evitando corrosões e incrustações (DANIELETTO, 2007).

Conforme DANIELETTO (2007) o dimensionamento da tubulação deve-se levar em conta as pressões internas, externas e transientes que ocorrerão na linha, sem contar com suporte lateral, como quando enterrado, assim sendo o tubo deve ser inserido com folga, sem interferência com o tubo velho, como pode ser observado na figura 22.

“A inserção consiste em puxar ou empurrar uma nova tubulação dentro da antiga tubulação, ou enrolar uma nova tubulação em espiral (*spirally wound liners*).” (PALAZZO, 2018).

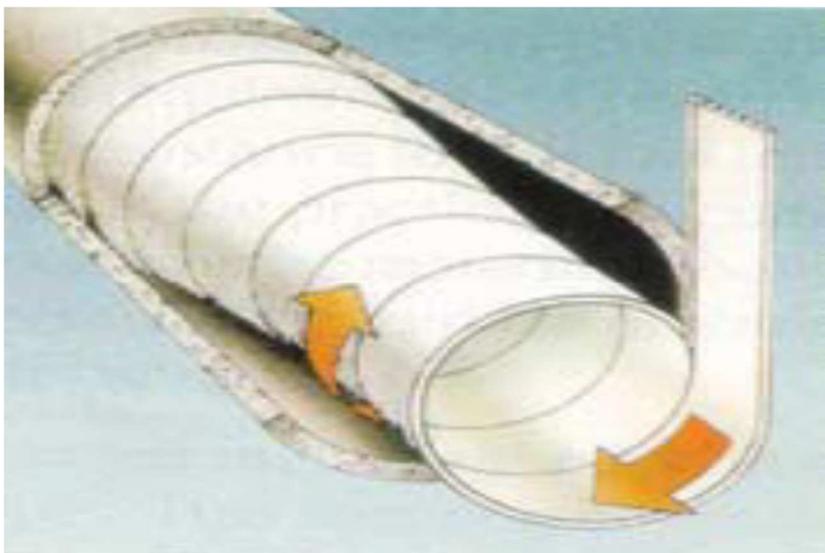


Figura 22 – Inserção de tubo.

FONTE: PALAZZO (2018)

Conforme GRILO (2007), a utilização deste processo apresenta várias vantagens tais como a possibilidade de aplicação em longos trocos, sua simplicidade de aplicação, a facilidade de superação de curvas e pendentes levadas, a rápida instalação, dentre outros. Segue um esquema na figura 23.

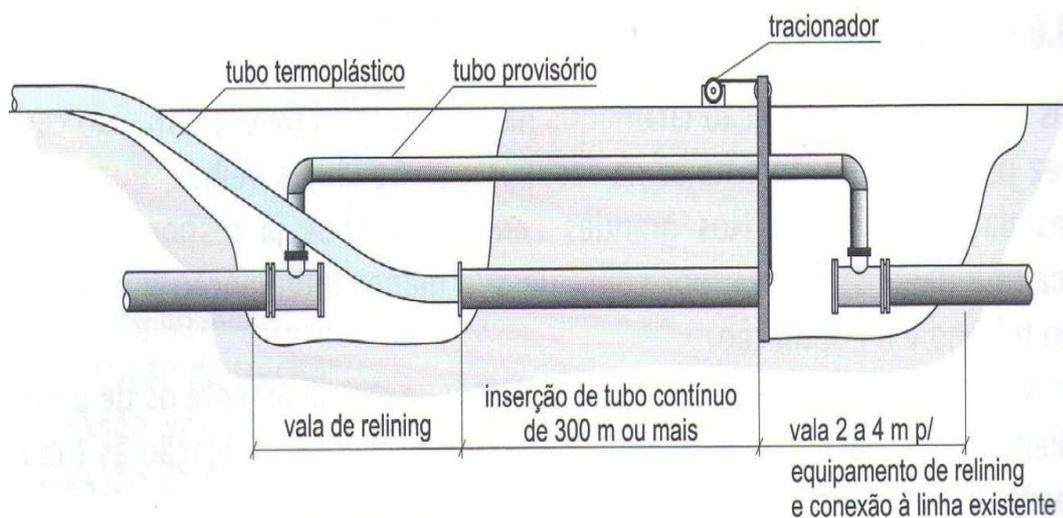


Figura 23 –Esquema da técnica de *Relining*.

Fonte: DANIELETTO (2007)

2.6.2.Furo Dirigido ou Direcional

Segundo PALAZZO (2018) é uma técnica muito utilizada em PEAD, é um método que substitui as redes danificadas ou as que necessitem de uma vazão maior, ou seja, também é possível aumentar o diâmetro da tubulação. Como todo o método não destrutivo causa menor distúrbio ao tráfego, uma vez que elimina em partes a

escavação. Tem uma ótima relação custo/benefício e um menor tempo de construção. Também é conhecida como HDD, *horizontal directional drilling*. “Hoje em dia é um dos métodos não destrutivos mais utilizados. Talvez sua principal limitação seja a dificuldade para usar tubos de parede fina, $SDR > 17$, que tendem a colapsar em função da alta força de tração durante a instalação.” (DANIELETTO, 2007).

Como pode ser visto na figura 24, conforme DANIELETTO (2007) o método consiste de Unidade de Força, Unidade de Perfuração, e Unidade de Monitoramento Direcional. Assim sendo, a Unidade de Força, fica instalada em um caminhão que contém as bombas de alta pressão, as bombas hidráulicas para acionamento dos motores hidráulicos o tanque misturador de fluidos de perfuração (água+bentonita), o tanque de água, gerador elétrico e instrumentos de medição (manômetros e/ou dinamômetros). “A Unidade de Perfuração incorpora a Unidade de Torque e o Dispositivo de Avanço e Recuo da unidade de torque”. (DANIELETTO,2007). Deve ser incorporado um dispositivo mecânico a fim de evitar que a força de puxamento seja maior que a admitida pela tubulação. Esses dispositivos se rompem quando atingem a força máxima especificada. Em função do diâmetro do tubo e de sua espessura deve-se escolher o fusível adequado para a instalação desejada. Já a Unidade de Monitoramento Direcional é um dispositivo eletrônico. Este recebe as ondas de rádio provindas da sonda de perfuração e identificando assim a sua posição e profundidade, a partir daí dá para se monitorar e controlar a direção de perfuração, através da Unidade de Perfuração.

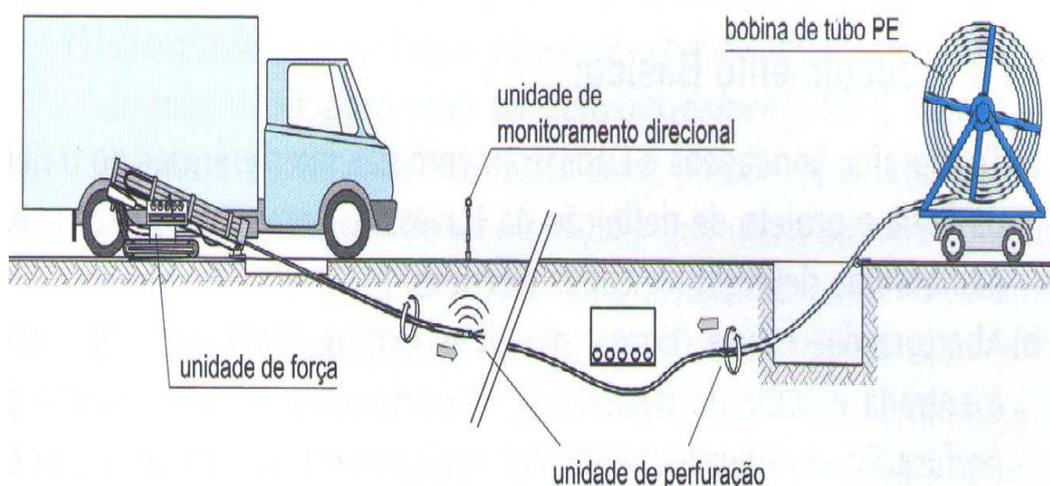


Figura 24 –Esquema da Operação de Furo Direcional.

Fonte: DANIELETTO (2007)

2.6.3. *Pipe Bursting* ou Torpedo Rompedor

Outra técnica com tubos estruturais que vem ganhando cada vez mais aplicação. É utilizada para substituição de redes. Usa-se a rede existente como caminho e substitui por uma de mesmo diâmetro ou maior, estando aí a sua grande vantagem em relação às outras, conforme esquema da figura 25.

“Adequa-se para substituir tubos cerâmicos, de concreto, ferro fundido e até mesmo alguns tipos de plásticos. Há ferramentas que possibilitam cortar tubos ao invés de rompê-los, como os de aço.” (DANIELETTO, 2007)

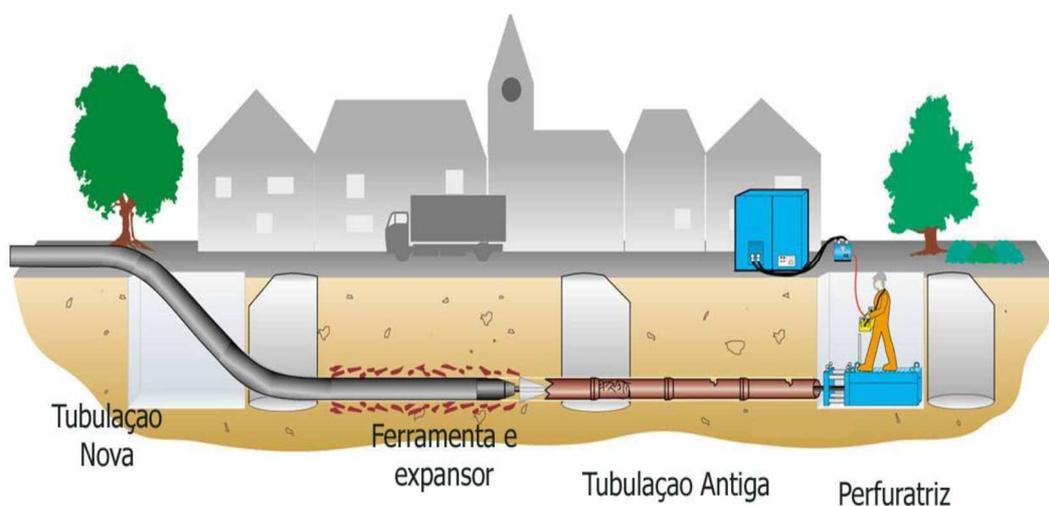


Figura 25 – Método *Pipe Bursting*.

FONTE: PALAZZO, 2018

A técnica consiste de uma ferramenta chamada de cabeçote ou torpedo rompedor, acionada normalmente por ar comprimido, e que é acoplada ao tubo novo. A mangueira de ar comprimido passa por dentro do tubo novo para conectar-se e acionar a ferramenta, enquanto ela é puxada por um guincho do lado de saída do tubo velho, inserindo o tubo novo enquanto quebra o velho, empurrando os fragmentos contra o solo (DANIELETTO, 2007).

2.7. Vantagens e Desvantagens do uso do PEAD

Como já mencionado diversas vezes o PEAD tem muitas características vantajosas. Segundo catálogos da POLYEASY (2018), HIDROPIPE (2018) e ECOPIPE (2018) algumas evidentes, como a flexibilidade, o manuseio, estocagem e instalação, a curvatura e a não utilização de peças para a mesma, outras perceptíveis quando analisado as características mais a fundo como rugosidade baixíssima, atóxico, impermeável, elevada resistência ao impacto, resistência a maioria dos

agentes químicos, imunidade a corrosões, elevada resistência à abrasão, ótima soldabilidade, excelentes características hidráulicas decorrente da superfície interna lisa, maior variedade de diâmetros e classes de pressão, alta resistência ao *stress-cracking*, baixo efeito de incrustação, longa durabilidade, leveza, alto índice de impermeabilidade a gases e vapores, a grande variedade de diâmetros, rapidez e economia no assentamento, dentre outras.

Quanto a leveza do PEAD, a BRÁSTUBO (2018) faz uma comparação entre o PEAD, cuja leveza é de 0,945 a 0,962 g/cm³, e o Ferro Fundido, na prática 6 metros de tubo de Ferro Fundido com diâmetro de 250 mm, K7, tem-se que o peso é aproximadamente 246 kg, já em 6 metros de tubo de PEAD com diâmetro de 280 mm (equivalente ao diâmetro de 250 de Ferro Fundido), PN6, o peso é aproximadamente 100,80 kg, ou seja o PEAD é 60% mais leve que o Ferro Fundido.

No que diz respeito à flexibilidade, a BRÁSTUBO (2018) também faz uma comparação entre os polietilenos e o aço, sendo o módulo de Elasticidade:

PEBD \approx 2.500 kgf/cm²

PEAD PE 80 \approx 9.000 kgf/cm² a 12.000kgf/cm²

PEMD \approx 8.000 kgf/cm²

PP \approx 12.000 kgf/cm²

AÇO \approx 2.100.000 kgf/cm²

PEAD PE 100 \approx 12.000 kgf/cm.

Outra vantagem é em relação ao custo por unidade de comprimento da instalação da tubulação, conforme MAXWELL (2018), para distribuição de água implica a soma dos seguintes custos: movimento de terras, escavação da vala, enchimento, colocação de tubos e acessórios, material (tubos e acessórios). “Embora o preço do material seja mais ou menos equivalente a outros, devido às propriedades especiais do PE, a escavação de valas e montagem da rede implicam um custo francamente inferior” (MAXWEEL, 2018).

Segundo GRILO (2007), O PEAD possui sua principal desvantagem nos seguintes itens: é necessário mão de obra especializada, principalmente para as soldagens que necessitam de uma precisão maior, outra desvantagem gritante em relação aos outros materiais utilizados é a necessidade de um equipamento na montagem da tubulação e das conexões. Também há o fato de não resistir a altas temperaturas e ter fraca resistência diametral. Atualmente também não há uma

especificação rígida para evitar a utilização de materiais inapropriados na fabricação do PEAD, como os materiais reciclados.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi do tipo pesquisa bibliográfica com abordagem qualitativa.

Como o foco desse trabalho acadêmico é o PEAD, foram detalhadas suas principais características, como sua densidade, módulo de elasticidade, a resistência aos agentes químicos, o isolamento elétrico, a resistência à corrosão e a flexibilidade. Com o conhecimento adequado das características físicas e químicas, pode-se então exemplificar o projeto estrutural. O mesmo leva em conta a pressão interna, a máxima pressão de operação e a relação entre diâmetro e espessura (SDR), fatores os quais influem diretamente no bom projeto.

Com os itens acima estudados é possível então que se dimensione o projeto hidráulico. Com isso são abordadas a perda de carga em condutos forçados, a perda de carga em conexões, a curvatura dos tubos, as quais são bem maleáveis, por se tratar de um plástico. Quando se aborda curvatura, fala-se em conexões, as quais são necessárias quando o grau da curva do projeto é maior que o suportado pelo tubo. Serão desenvolvidos a conexão soldável, tipo ponta por termofusão e eletrofusão, bem como as conexões de junta mecânica, por compressão.

Com isso, tem-se conhecimento suficiente para realização de um projeto. Faltando, não mais importante, o assentamento da tubulação. Serão desenvolvidos os métodos por método destrutivo (MD) e método não destrutivo (MND), sendo detalhado o tipo por Inserção, Furo Direcional e Torpedo Rompedor. Com o estudo completo, serão analisadas as vantagens e desvantagens do PEAD.

Os materiais e ferramentas serão as pesquisas nos principais catálogos dos fabricantes de PEAD, como: Aflon, Brastubo, Ecopipe, Engepol, Fgs, Hidropipe, Polyeasy, Poliarg, Tigre, Tríplicecor e Sybs. Porém o grande alicerce será o livro do José Roberto B. Danieletto, o qual é um manual de tubulações de polietileno e polipropileno, mostrando suas características, dimensionamento e instalação.

Serão utilizados o software Auto Cad 2010, para apresentação do projeto, bem como planilhas em Excel 2010 para os memoriais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo alguns catálogos, como Polyeasy (2018) e Hidropipe (2018), o PEAD tem muitas características vantajosas, algumas mais facilmente perceptíveis, como por exemplo, a flexibilidade, o manuseio, estocagem e instalação, a curvatura e a não utilização de peças para a mesma, outras perceptíveis quanto a análise mais aprofundada, como por exemplo: rugosidade baixíssima, atóxico, impermeável, elevada resistência ao impacto, resistência a maioria dos agentes químicos, imunidade a corrosões, elevada resistência à abrasão, ótima soldabilidade, excelentes características hidráulicas decorrente da superfície interna lisa, maior variedade de diâmetros e classes de pressão, alta resistência ao stress-cracking, baixo efeito de incrustação, longa durabilidade, leveza, alto índice de impermeabilidade a gases e vapores, a grande variedade de diâmetros, rapidez e economia no assentamento, dentre outras.

No que diz respeito a leveza do PEAD, a Brástubo (2018) faz uma comparação entre o PEAD, cuja leveza é de 0,945 a 0,962 g/cm³, e o Ferro Fundido, na prática 6 metros de tubo de Ferro Fundido com diâmetro de 250 mm, K7, tem-se que o peso é aproximadamente 246 kg, já em 6 metros de tubo de PEAD com diâmetro de 280 mm (equivalente ao diâmetro de 250 de Ferro Fundido), PN6, o peso é aproximadamente 100,80 kg, ou seja, o PEAD é 60% mais leve que o Ferro Fundido.

Outra vantagem seria em relação ao custo por unidade de comprimento da instalação da tubulação, não considerando nenhum equipamento alugado cabe frisar, conforme Maxwell (2018), para distribuição de água implica a soma dos seguintes custos: movimento de terras, escavação da vala, enchimento, colocação de tubos e acessórios, material (tubos e acessórios). “Embora o preço do material seja mais ou menos equivalente a outros, devido às propriedades especiais do PE, a escavação de valas e montagem da rede implicam um custo francamente inferior” (MAXWELL, 2018).

Ainda na comparação entre polietileno e Ferro Fundido, pode-se dizer que as vantagens do primeiro é a grande facilidade de soldagem, a total imunidade à corrosão galvânica e eletrolítica, no que diz respeito à resistência química a do polietileno é muito maior, apresenta as melhores características hidráulicas, maior facilidade e velocidade de instalação, com certeza apresenta a maior flexibilidade,

mais resistência a acomodações e recalques de solo, pelas características plásticas apresenta um menor índice de incrustações, menor número de emendas, barras de 12 m ou mais e bobinas de 100 m ou mais para tubos de até diâmetro 125 mm, uma vida útil maior que 50 anos, e por tudo isso implica assim em um menor custo final de obra (BRÁSTUBO, 2018).

Faz-se necessário uma comparação com materiais plásticos, visto que em menores diâmetros o uso de materiais com características mais flexíveis é bem difusa. Na tabela 7 há uma comparação das características físicas, mecânicas, térmicas e elétricas entre os principais plásticos com o PEAD.

Como pode ser visto na tabela 7 o PEAD apresenta bons resultados em diversas características, como por exemplo, no que diz respeito ao módulo de elasticidade o PEAD apresenta o menor índice dentre os citados, já no módulo de flexão, perde apenas para o PP (Polipropileno). O PEAD destaca-se também quanto à densidade e a resistência à tração.

Os únicos pontos nos quais o PEAD deixa um pouco a desejar são na máxima temperatura de operação, na resistência dielétrica e na distorção térmica. O que se explica com a propriedade, visto que o PEAD é um material plástico, e como tal não resiste à temperatura alta frente aos materiais comparados.

Na comparação entre polietileno e PVC, o primeiro apresenta as seguintes vantagens: uma maior resistência ao impacto, a maior flexibilidade, o que implica nas bobinas e na diminuição das curvas em obras, maior resistência química, maior resistência a transientes hidráulicos e também é menos suscetível a ataques de roedores e cupins. (BRÁSTUBO, 2018).

Segundo Grilo (2007), O PEAD possui sua principal desvantagem nos seguintes itens: é necessário mão de obra especializada, principalmente para as soldagens que necessitam de uma precisão maior, outra desvantagem gritante em relação aos outros materiais utilizados é a necessidade de um equipamento na montagem da tubulação e das conexões, também não resiste a altas temperaturas e tem fraca resistência diametral. Geralmente é o fator que encarece e muito o estudo do uso de PEAD.

4.1. Comparação entre materiais

Segue na tabela 7 uma comparação das características físicas, mecânicas, térmicas e elétricas entre os principais plásticos empregados no mercado atualmente com o PEAD.

Tabela 7 – Principais propriedades físicas, mecânicas, térmicas e elétricas						
Teste ASTM Propriedade		PVC	CPVC	PVDF	PP	PEAD
D 792	Densidade g/cm ³	1,41	1,52	1,77	0,897	0,95
D 570	Absorção de água 24 h (%)	0	0,04	0,03	0,01	0
D638	Resistência à tração (psi)	-	8.200	6.300	4.800	4.600
D638	Módulo de elasticidade	435.000	430.000	290.000	195.000	125.000
D638	Tensão de alongamento até ruptura (%)	-	27	50	23	900
D790	Resistência à flexão (psi)	-	15.000	9.700	5.400	-
D790	Módulo de flexão (psi)	481.000	410.000	290.000	160.000	200.000
D695	Resistência à compressão (psi)	-	-	9.000	6.000	-
D695	Módulo de compressão (psi)	-	-	-	-	-
D785	Dureza (Shore D ou Rockwell R)	D 82	R 121	D 75	R 80	D 69
D256	IZOD Impacto com entalhe (ft-ib/in)	0,5	1,6	3,0	7,5	3
D696	Coefficiente expansão térmica linear (x 10 ⁻⁵ in./in./°F)	6,1	3,7	6,6	6,6	-
D648	Temperatura de distorção térmica (°C) a 264 psi	80	103	110	43	-
D3418	Temperatura de amolecimento (°C)	n.a	n.a	166	164	-
-	Máx. temperatura de operação (°C)	60	93	130	80	60
D149	Resistência dielétrica (V/mil) curto tempo - espessura de 1/8"	544	1250	1,7	475	-

FONTE: SYBS, 2018

Como se observa na tabela 7 o PEAD ganha destaque em diversas características, como por exemplo no que diz respeito ao módulo de elasticidade o PEAD apresenta o menor índice dentre os citados, já no módulo de flexão, perde apenas para o PP (Polipropileno). Destaca-se também quanto à densidade e a resistência à tração.

Os únicos pontos nos quais o PEAD deixa um pouco a desejar são na máxima temperatura de operação, na resistência dielétrica e na distorção térmica. O que se explica com a lembrança que o PEAD é um material plástico, e como tal não resiste à temperatura alta frente aos materiais comparados.

Na comparação entre polietileno e PVC, o primeiro apresenta as seguintes vantagens: uma maior resistência ao impacto, a maior flexibilidade, o que implica nas bobinas e na diminuição das curvas em obras, maior resistência química, maior resistência a transientes hidráulicos e também é menos suscetível a ataques de roedores e cupins. (BRÁSTUBO, 2018).

Já na comparação entre polietileno e Ferro Fundido, as vantagens do primeiro são: a grande facilidade de soldagem, a total imunidade à corrosão galvânica e eletrolítica, no que diz respeito à resistência química a do polietileno é muito maior, apresenta as melhores características hidráulicas, maior facilidade e velocidade de instalação, com certeza apresenta a maior flexibilidade, mais resistência a acomodações e recalques de solo, pelas características plásticas apresenta um menor índice de incrustações, menor número de emendas, barras de 12 m ou mais e bobinas de 100 m ou mais para tubos de até diâmetro 125 mm, uma vida útil maior que 50 anos, e por tudo isso implica assim em um menor custo final de obra. (BRÁSTUBO, 2018).

Atualmente os principais materiais para projeto de abastecimento de água são os plásticos: PVC e o PEAD. Logo faz-se necessário um detalhamento descritivo de projeto para uma melhor comparação sobre o custo-benefício, além das características acima analisadas.

Apresenta-se uma rede fictícia para atender 54 lotes também fictícios. A rede tem 607,85 metros de extensão e suas conexões foram detalhadas a partir dos catálogos da POLYEASY (2018) para o PEAD, conforme figura 27 e da TIGRE (2018) para o PVC, conforme figura 26. E suas respectivas listas de materiais e quantitativos nas tabelas 8, 9, 10 e 11.

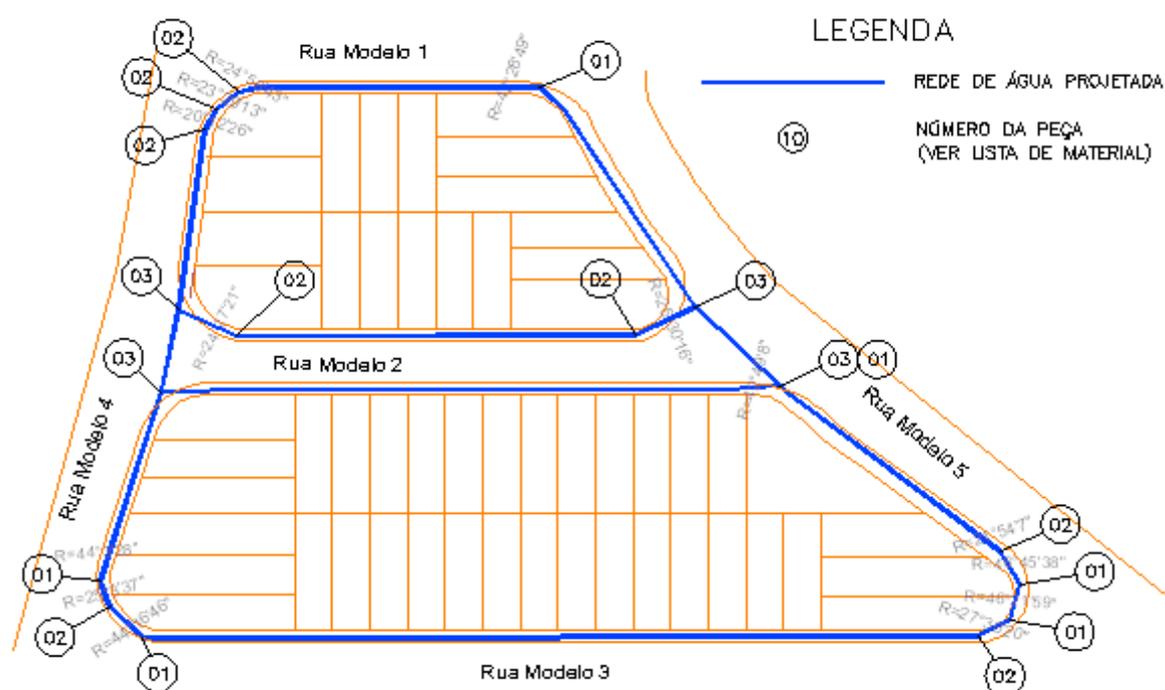


Figura 26 – Esquema da rede de água - PVC

Fonte: do autor.

Tabela 8 – Lista de Material: Rede de Distribuição - PVC				
Item	Discriminação	Material	Qtd.	Un
01	Curva 45° com ponta e bolsa JE-Ø75mm	PVC	06	un.
02	Curva 22°30' com ponta e bolsa, JE-Ø75mm	PVC	08	un.
03	Tê PVC JE BB PBA Ø75mm	PVC	04	un.

Fonte: do autor.

Tabela 9 – Quantidade de Serviços e Materiais - PVC				
Obra: Rede de distribuição de água Material: PVC				
Item	Descrição	Quant.	Unid.	Preço
1.	Serviços Técnicos			R\$
1.1	Locação e cadastro			
1.1.1	Locação de redes	607,85	m	1,65
1.1.2	Cadastro de redes	607,85	m	1,80
2	Assentamento			
2.1	Assentamento de tubos e peças de PVC p/ redes de distribuição			

2.1.1	Tubos e peças, diam. 75 mm	607,85	m	82,00
3.	Fornecimento de materiais			
3.1	Tubos e Conexões de PVC			
3.1.1	Tubo ponta e bolsa, JEI, Classe 20 DN 75mm	607,85	m	12,20
3.1.2	Tê PVC JE BBB PBA – DN 75mm	4,00	pç	17,80
3.1.3	Curva 45° com ponta e bolsa JE – DN 75mm	6,00	pç	16,30
3.1.4	Curva 22°30' com ponta e bolsa JE – DN 75mm	8,00	pç	16,30
4.	Custo Total			148,05

Fonte: do autor.

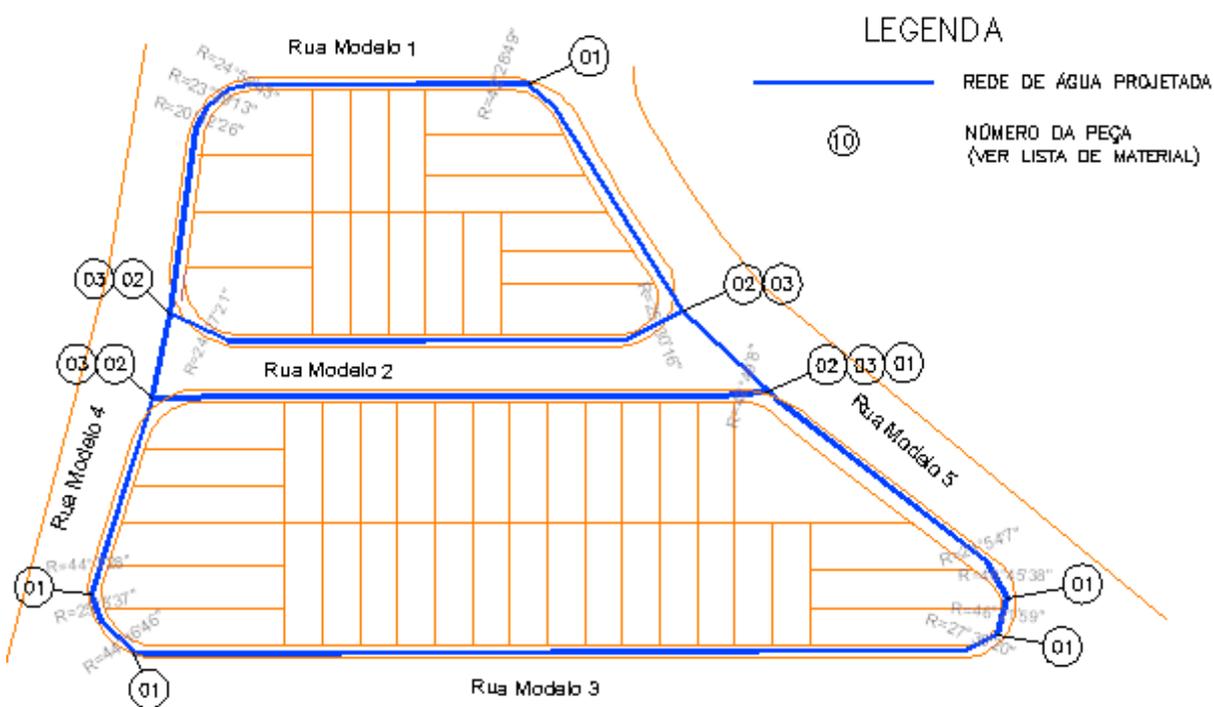


Figura 27 – Esquema da rede de água – PEAD

Fonte: do autor.

Tabela 10 – Lista de Material: Rede de Distribuição - PEAD				
Item	Discriminação	Material	Qtd.	Un
01	Cotovelo 90° - Eletrofusão DE 90mm PE 100-SDR11 (Água)	PEAD	06	un.
02	Tê 90° - Eletrofusão DE 90x90mm PE 100 – SDR11 (Água)	PEAD	04	un.
03	Luva de 90mm – Eletrofusão PE 100 – SDR11 (Água)	PEAD	04	un.

Fonte: do autor.

Tabela 11 – Quantidade de Serviços e Materiais - PEAD				
Obra: Rede de distribuição de água Material: PEAD				
Item	Descrição	Quant.	Unid.	Preço
1.	Serviços Técnicos			R\$
1.1	Locação e cadastro			
1.1.1	Locação de redes	607,85	m	1,65
1.1.2	Cadastro de redes	607,85	m	1,80
2.	Assentamento			
2.1	Assentamento de tubos e peças de PEAD p/ redes de distribuição			
2.1.1	Tubos e peças, diam. 90 mm	607,85	m	120,00
3.	Fornecimento de materiais			
3.1	Tubos e Conexões de PEAD			
3.1.1	Tubo PEAD azul de 90mm PE 100 SDR-11-PN 16	607,85	m	32,45
3.1.2	Tê 90° - eletrofundido – DE90x90mm– PE100 SDR11(Água)	4,00	pç	85,60
3.1.3	Cotovelo 45° - eletrofundido DE90mm–PE100–SDR11(Água)	6,00	pç	37,80
3.1.4	Luva de 90mm – eletrofundido PE 100 – SDR11 (Água)	4,00	pç	26,20
4.	Custo Total			305,50

Fonte: do autor.

Os preços foram consultados através do MARCHETTI (2018). No detalhamento do PVC nota-se que foram detalhadas dezoito peças, quatro têes, e quatorze curvas, sendo seis de raio 45° e oito de raio 22°30'. Já no PEAD foram detalhadas quatorze peças. Sendo quatro têes, quatro luvas de eletrofundido para os têes e quatro cotovelos de raio 90°. Logo de vista, percebe-se a diferença de curvatura mínima entre os dois materiais. A curvatura mínima do PEAD é de 45°, tendo alguns casos especiais de 30°, conforme catálogo da POLYEASY. Já no PVC a curvatura mínima é de 22°30' (a qual já leva vantagem com relação ao ferro fundido, que tem uma curva mínima com raio de 11°15').

Para efeito da verificação, os tubos e conexões utilizados de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), seguindo as especificações constantes na norma NBR 15.561 (ABNT) e ISO 4427, fora PE-100, a classe de pressão, PN-16. E assim sendo, as

conexões devem estar em consonância com a norma NBR 15.561 (ABNT) e ISO 4427, PE-100, as soldas foram detalhadas para eletrofusão. Foi escolhido este método de soldagem, visto que para cada derivação do tê de eletrofusão é necessário uma luva de eletrofusão, uma vez que a derivação é do tipo ponta, conforme visto na figura 28.



Figura 28 –Tê de eletrofusão e Luva de eletrofusão.

Fonte: do autor

O projeto em PVC apresenta um custo de R\$148,05 levando-se em conta as peças e o assentamento. Já o de PEAD tem seu custo em R\$305,50. Ou seja, o de PEAD é 2,06 vezes mais caro que o de PVC. Essa diferença deve-se a diversos fatores, dentre os quais o fato das conexões do PEAD começarem a ser produzidas no Brasil recentemente, não há muitos fabricantes de peças no Brasil, com valores ainda em alta essas conexões encarecem o detalhamento. Porém, é certo que cada vez mais essas conexões vão ficando mais baratas, conforme consultores da POLYEASY, um cotovelo de 90° antigamente tinha o custo maior que cinco dólares, e hoje em dia, já é vendido por menos de dois dólares. O mesmo pode-se dizer da aparelhagem de soldagem, a qual custava mais de vinte mil dólares, e hoje já é encontrada por cinco mil dólares e com mais tecnologia e precisão. Vale ressaltar que para a execução da obra em PEAD, o empreiteiro não precisa possuir a máquina de eletrofusão, uma vez que esta pode ser alugada, tendo seu custo reduzido.

Sendo o valor ainda desvantajoso, o PEAD tem suas principais vantagens no método de execução. Foi avaliado na tabela pelo método destrutivo, a fim de comparar de forma equivalente os dois materiais, porém como descrito neste trabalho, o melhor método construtivo é pelo método não destrutivo, o qual tem um tempo reduzido na execução, não traz grandes transtornos à população, como ter uma vala

aberta enfrente seu portão de casa. Atrapalha menos o tráfego de veículos, o que reduz o trânsito, principalmente em vias de grandes movimentações. Traz também vantagens economicamente no transportes de materiais escavados e para reaterro. Se o empreiteiro, mesmo com os benefícios do método não destrutivo optar pelo destrutivo, uma vantagem muito grande do PEAD em relação ao PVC, não só economicamente, mas também socialmente, pensando na segurança dos trabalhadores de obra, é o fato do PEAD ser totalmente montado fora da vala, por suas conexões serem soldadas por máquinas, isso elimina a necessidade de escoramento, uma vez que não há necessidade do funcionário entrar na vala, o que traz uma maior segurança a eles. Na tabela 12 podem-se observar os valores dos serviços descritos, os quais foram tirados da SPO- SABESP (2010).

Tabela 12 – Quantidade de Serviços e Materiais - PVC				
Obra: Rede de distribuição de água				
Material: PVC				
Item	Descrição	Quant.	Unid.	Preço
1.	Escoramento			R\$
1.1	Estruturas de escoramento - madeira			
1.1.1	Pontaleteamento	1215,70	m	1102,47
2.	Ancoragem para redes			
2.1	Pontalete de peroba	18	un	508,86

A ancoragem é feita para todas as conexões em PVC e o escoramento fora considerado duas vezes o valor da extensão total da rede, uma vez que são os dois lados da vala. Logo, se for comparado todos os parâmetros, incluindo os valores de escoramento e de ancoragem, o PVC fica em desvantagem. É válido lembrar que o escoramento do PVC, depende da profundidade da rede, pois se a rede de água for assentada com até 90 cm de recobrimento torna-se desnecessário o uso do escoramento também para o PVC. O PEAD torna-se a melhor opção, não apenas economicamente e a longo prazo, visto que a principal defesa do uso do PEAD é imensurável e extremamente importante ambientalmente, que seria o fato do PEAD reduzir drasticamente os vazamentos, a perda de água. Fato este que é explicado pelo tipo de conexão. Enquanto o PVC é do tipo ponta/bolsa, por encaixe, o PEAD sobre fusão e torna-se uma única peça.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que por todas as propriedades químicas, físicas e principalmente hidráulicas tem-se no PEAD uma vantagem em relação aos outros materiais utilizados para as redes de distribuição, dentro do sistema de abastecimento de água. O PEAD é um material de baixo custo, elevada resistência a solventes, elevada resistência química, macio e flexível, excelentes propriedades isolantes, baixa permeabilidade à água, dentre muitas outras características. Quando requerido um material de alta flexibilidade, o PEAD ganha destaque, é uma excelente opção.

Outro fator que vale ressaltar é a grande facilidade com a soldagem, seja por eletrofução ou termofusão, o que implica em uma redução na questão de vazamentos. Cujas relevância interfere diretamente na parte econômica do sistema de modo geral e é um dos temas principais de preocupação atualmente, devido à escassez de água. Visto que tendo menos vazamentos reduz-se a quantidade de captação de água, o que altera menos as características do corpo hídrico e suas vazões, ou seja, há uma vantagem até na parte ambiental.

Cabe salientar que com o uso do PEAD os métodos não destrutíveis ganham força, uma vez que com as características plásticas os métodos tornam-se facilmente exequíveis, esta vantagem difere diretamente no tempo de execução do assentamento, o qual se torna mais rápido. Vale frisar que o grande ponto alto é a não interferência no trânsito já caótico das grandes cidades. E mesmo com os métodos destrutíveis em PEAD tem-se uma minimização na abertura de valas, visto que as conexões são soldadas fora da vala, ou seja, não há a necessidade de escoramento, sendo todo o processo mecanizado e assim não havendo a necessidade de proteção. Há exceções, como quando a característica do solo for considerada ruim, ou estiver abaixo do lençol freático. Para cada caso cabe um estudo e uma sondagem antes.

O PEAD é um material que apresenta um custo final relativamente alto, principalmente se comparado a outros materiais. Porém é preciso levar em conta que é uma tecnologia relativamente nova e ainda cara. Sendo o equipamento de perfuração um dos principais responsáveis pelo encarecimento do método.

Em suma, é preciso a análise da mescla entre os benefícios do uso do PEAD com o seu preço. O fato do mesmo não necessitar de escoramento, visto que se faz a soldagem fora da vala, e o próprio ato da soldagem, o que evita vazamentos e a

perda de água no sistema, o fato do material ser flexível e dispensar o uso de algumas conexões, como curvaturas inferiores a 30°, e a possibilidade da execução pelo método não destrutivo, o qual dispensa Convias e aberturas enormes de valas, são fatos esses que mostram-se fortes apontamentos que devem ser levados mais em conta que o preço da obra.

Em síntese, com o método de execução por MND, a população não tem transtorno de valas abertas na sua rua e caminhões de transportes do material escavado e de reaterro, e tem uma diminuição na geração de resíduos, dentre outros diversos benefícios. Logo, têm-se no PEAD uma das melhores opções de material para o sistema de abastecimento de água, se todos os fatores (econômicos, social e ambiental) forem mesclados, o polietileno traz consigo um melhor custo-benefício para os empreiteiros, para a população e para as concessionárias.

REFERÊNCIAS

AFLON. Mercantil e Industrial Aflon Artefatos Plásticos e Metálicos Ltda. **Catálogo Técnico**: Tubos e Conexões de PEAD, PP e PVDF. Edição de Agosto de 1998. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/127166716/AFLON-Tubos-e-conexoes-de-PEAD-PP-e-PVDF>. Acesso em: 20 agosto 2018.

BRÁSTUBO. **Manual Técnico do Polietileno**. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/51754343/BRASTUBO-tubosdepolietileno>. Acesso em: 15 agosto 2018.

COUTINHO, Fernanda M. B.; MELLO, Ivana L.; MARIA, Luiz C. de Santa. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. Instituto de Química, UERJ – 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v13n1/15064.pdf>. Acesso em: 15 agosto 2018.

DANIELETTO, José Roberto B. **Manual de Tubulações de Polietileno e Polpropileno**: Características, dimensionamento e instalação. São Paulo: Ed. Linha Aberta, 2007.

DANIELETTO, José Roberto B. III Congresso Brasileiro de MND: uma cidade sem valas. Edição Latino Americana. Associação Brasileira de Tubos Poliolefínicos e Sistemas. São Paulo, 13 a 15 de fevereiro de 2008. Disponível em: <http://www.acquacon.com.br/nodigbrasil2008/ppt/1402/audiorio/14h00jose.pdf>. Acesso em: 10 agosto 2018.

ECOPIPE. Fabricante de tubos e conexões de PEAD. **Tubo de (PEAD) Polietileno de Alta Densidade**. Disponível em: http://www.ecopipe.com.br/produtos_tubos_conexoes.html. Acesso em: 17 agosto 2018.

ENGEPOL. Fabricante de Geossintéticos. **Capítulo 10: Engetubo**. Manual de Geossintéticos 4ª edição. Disponível em: <https://vdocuments.site/documents/manual-geossinteticos-engepol.html>. Acesso em: 15 agosto 2018.

FGS. Fabricante de tubos e conexões de PEAD. **Linhas: tubos de polietileno – PEAD**. Disponível em: <http://www.fgsbrasil.com.br/produtos/tubos-de-polietileno-pead/tubo-pead-saneamento.htm>. Acesso em: 15 agosto 2018.

GRILO, Tomás Velez. **Técnicas de Reabilitação de Sistema Sistemas de Abastecimento de Água**: metodologia conceptual e aplicação a casos de estudo. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

HIDROPIPE. Empresa de Tubos, Conexões, Válvulas e Acessórios. **Vantagens**. Disponível em: <http://www.hidropipe.com.br/pead.html>. Acesso em: 17 agosto 2018.

INNOVA. **História do Plástico**. Disponível em: <http://simpep.com.br/wp/wp-content/uploads/2011/04/Hist%C3%B3ria-do-Pl%C3%A1stico.pdf>. Acesso em: 15 agosto 2018.

MARCHETTI, Eng. Oswaldo. Empresa: J. MARC Engenharia e Construções Ltda., 2018.

MAXWELL.Repositório Institucional da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. **Propriedades gerais do polietileno e sua aplicação atual na fabricação de tubulações**. Disponível em: http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/11035/11035_3.PDF. Acesso em: 20 agosto 2018.

MONTENEGRO, Ricardo Sá Peixoto; ZAPORSKI, Janusz; RIBEIRO, Márcia Cristiane Martins. **Área de Operações Industriais 1 - Gerência Setorial do Complexo Químico- Relato Setorial- Polietileno de Alta Densidade (PEAD)**. Disponível em:

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/peadx.pdf. Acesso em: 15 agosto 2018.

PALAZZO, Sérgio Augusto. Congresso Brasileiro de MND: uma cidade sem valas. **Introdução aos métodos não destrutivos**. Associação brasileira de tecnologia não destrutiva. Disponível em: [http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/1B5964DF269E4C81832574F20067E461/\\$File/Palestra_total_MND.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/1B5964DF269E4C81832574F20067E461/$File/Palestra_total_MND.pdf). Acesso em: 15 agosto 2018.

POLIERG. Empresa de Tubos e Conexões. **Tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD)**. Disponível em: http://www.polierg.com.br/tubos_em_pead.asp. Acesso em: 15 agosto 2018.

POLYEASY. Empresa de Polietileno. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <http://www.polyeasy.com.br/pdfs/CatProdPEV0105.pdf>. Acesso em: 17 agosto 2018.

SYBS. Empresa de plásticos voltados à barreira química. **Materiais**. Disponível em: <http://www.sybs.com.br/materiais.htm>. Acesso em: 20 agosto 2018.

SPO-SABESP. **Banco de Preço de Obras e Serviços de Engenharia – Fev/2010**. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

TIGRE. **Catálogo Técnico**. Disponível em: <https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-infraestrutura-gas.pdf>. Acesso em: 20 agosto 2018.

TRÍPLICECOR. Empresa de Pigmentos e Coloração. **O que é Polietileno?** Disponível em: <http://www.triplicecor.com.br/corantes/pigmentos/polietileno-pe-definicao/>. Acesso em: 25 agosto 2018.