

***GUIA DE BOAS PRÁTICAS
PARA ADUTORAS
DE VINHAÇA E ÁGUAS***

SEGUNDA EDIÇÃO

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G919g

Guazzelli et. al., Miguel Ângelo Nappo, 1963-

Guia de boas práticas para adutoras de vinhaça e águas/Miguel Ângelo NappoGuazzelli (coordenador). 2. ed. – Piracicaba, SP: GIFC - Grupo de Irrigação e Fertirrigação de Cana-de-açúcar, 2018.

144p.; 21 x 29,7 cm.

1. Adutoras. 2. Vinhaça. 3. Águas residuárias. 4. Irrigação. 5. Fertirrigação. 6. Cana-de-açúcar. I. Guazzelli, Miguel Ângelo Nappo, coord. II. Título.

CDD631.587

CDU633.61

12-12960

Índice para catálogo sistemático:

1. Cana-de-açúcar:Irrigação-agricultura 631.587

GIFC - GRUPO DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR
COMISSÃO DE ADUTORAS

Coordenador:

Miguel Ângelo Nappo Guazzelli
Hidro-Ambiental

Autores:

Clebio Matioli
Matioli Projetos e Consultoria

Pedro Elia
Especialista de Projetos Agrícola

José Luiz Rossi Jr.
Gerente de Projetos

Reginaldo Caritá
Stringal

Leandro Giovannetti
Atvos Agroindustrial

Ricardo Tomazella
Joplás

Miguel Ângelo Nappo Guazzelli
Hidro-Ambiental

Wilson Roberto Roma
Irriga Engenharia e Construções

Oswaldo Arce de Brito
HidroEng Projetos e Consultoria

Colaboradores:

André Elia Neto
Elia Engenharia Ambiental

Marco Viana
Negócios Viana & Associados

Eduardo Lucas Rodrigues
Vetro

Orlando Melotti
Petrofisa do Brasil

Gaspar Silva
Clealco

Thácio Arruda
Tietê Agroindustrial

Luciano Vieira
Especialista Agrícola

Udo Rosenfeld
Consultoria e Projetos

Ludiane Ignacio
Irriga Engenharia e Construções

AGOSTO– 2018

Sumário

APRESENTAÇÃO	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. PREMISSAS TÉCNICAS	2
2.1. Caracterização dos efluentes	2
2.1.1. Caracterização de águas residuárias	3
2.1.2. Caracterização da vinhaça	5
2.2. Dados Topográficos	9
2.2.1. Validação dos traçados aprovados.....	9
2.2.2. Levantamento detalhado da planta e perfil dos traçados das adutoras	10
2.2.3. Levantamento detalhado dos locais das obras	10
3. TUBULAÇÕES	11
3.1. Tubos de RPVC.....	11
3.1.1. Definição	11
3.1.2. Vantagens	11
3.1.3. Desvantagens	11
3.1.4. Tipos de Resina	11
3.1.5. Normas aplicáveis.....	12
3.1.6. Databook.....	12
3.1.7. Ensaios.....	12
3.1.7.1. Ensaios de Qualificação do Produto	13
3.1.7.2. Ensaios de Avaliação de Matéria Prima	14
3.1.7.3. Ensaios de Monitoramento de Produto	14
3.1.7.3.1. Ensaios destrutivos.....	15
3.1.7.3.2. Ensaios não destrutivos	20
3.2. Tubos de PRFV	23
3.2.1. Definição	23
3.2.2. Vantagens	23
3.2.3. Desvantagens	23
3.2.4. Normas aplicáveis.....	23
3.2.5. Tipos de Resina	24
3.2.6. Ensaios.....	24
3.2.6.1. Ensaios de Qualificação do Produto	24
3.2.6.2. Ensaios de Monitoramento de Produto	25
3.2.6.2.1. Ensaios destrutivos.....	25

3.2.6.2.2.	Ensaios não destrutivos	25
3.2.7.	Plano de amostragem para ensaios	25
3.2.8.	Procedimentos para realização dos ensaios	27
3.2.8.1.	Tensão Axial	27
3.2.8.2.	Rigidez	29
3.2.8.3.	Tensão Circunferencial: tracionamento do anel (mét.A)	30
3.2.8.4.	Tensão Circunferencial: ensaio hidrostático (mét.B).....	31
3.2.8.5.	Estanqueidade dos tubos	32
3.2.8.6.	Inspeção visual.....	33
3.2.8.7.	Verificação dimensional	33
3.2.8.7.1.	A1 – Verificação da Espessura total de parede (et)	33
3.2.8.7.2.	A2 – Verificação da Espessura do liner (el).....	34
3.2.8.7.3.	A3 – Verificação do diâmetro externo (D).....	34
3.2.8.7.4.	A4 – Verificação do comprimento útil do tubo.....	35
3.2.8.7.5.	A5 – Verificação de ovalização	36
3.2.8.8.	Estanqueidade da junta	36
3.2.8.9.	Compressão Axial.....	38
3.3.	Tubos de PEAD.....	39
3.3.1.	Definição	39
3.3.2.	Vantagens	40
3.3.3.	Desvantagens	40
3.3.4.	Curva de regressão do PEAD	41
3.4.	Tubo de PVC (linha irrigação)	41
3.4.1.	Definição	41
3.4.2.	Vantagens	42
3.4.3.	Desvantagens	42
3.5.	Aço Carbono	42
3.5.1.	Definição	42
3.5.2.	Vantagens	42
3.5.3.	Desvantagens	43
3.6.	Tubos de PP.....	43
3.6.1.	Definição	43
3.6.2.	Vantagens	43
3.6.3.	Desvantagens	43
3.6.4.	Curva de regressão do PP	44
3.7.	Tubo de Inox	44

3.7.1.	Definição	44
3.7.2.	Vantagens	44
3.7.3.	Desvantagens	45
3.8.	Tubo de Ferro Fundido.....	45
3.8.1.	Definição	45
3.8.2.	Vantagens	45
3.8.3.	Desvantagens	45
3.9.	Tubo de Aço Carbono Revestido	46
3.9.1.	Definição	46
3.9.2.	Vantagens	46
3.9.3.	Desvantagens	46
4.	NORMAS, PADRÕES E DOCUMENTOS GERAIS APLICÁVEIS	47
4.1.	Normas aplicáveis – Elétrica.....	47
4.2.	Normas aplicáveis - Mecânica	47
4.3.	Normas aplicáveis - Civil.....	47
4.4.	Projeto de Arquitetura	48
4.5.	Normas do MTE – Ministério do Trabalho e Emprego	48
5.	ENGENHARIA	49
5.1.	Dimensionamento Hidráulico	49
5.1.1.	Adutora por recalque	49
5.1.2.	Adutora por gravidade	50
5.1.3.	Diâmetro da tubulação.....	50
5.1.4.	Velocidade de escoamento do líquido	51
5.1.5.	Curva Característica da Tubulação ou Curva do sistema:	51
5.1.6.	Perda de Carga.....	52
5.1.6.1.	Perda de Carga localizada	52
5.1.6.2.	Perda de Carga distribuída em condutos forçados	53
5.1.7.	Diâmetro da tubulação.....	55
5.1.8.	Comprimento da tubulação e quantidade de conexões e acessórios	55
5.1.9.	Características técnicas da tubulação	55
5.1.10.	Regime de escoamento do fluido	55
5.2.	Sistemas de Proteção	56
5.2.1.	Transitórios Hidráulicos	56
5.2.2.	Válvulas de Ar - ventosas.....	65
5.2.2.1.	Dimensionamento das ventosas	67
5.3.	Dispositivos especiais	70

5.3.1.	Medidor de Vazão	70
5.3.2.	Válvula de corte ou bloqueio	70
5.3.3.	Sistema de drenagem	71
5.3.4.	Derivações (hidrantes)	72
5.3.5.	Controle de pressão	74
5.3.6.	Travessia de Área de Preservação Permanente (APP), Rodovias e Ferrovias	74
5.3.7.	Detecção de Ruptura em tubulações de Vinhaça - Válvula Detectora de Ruptura ...	76
5.3.8.	Reservatórios	76
5.4.	Fluxograma de processo (FP) e P&ID	78
5.5.	Especificações	79
5.5.1.	Tubos e conexões.....	79
5.5.2.	Estação de bombeamento	80
5.5.3.	Válvulas e acessórios.....	80
5.5.4.	Dispositivos de proteção.....	81
5.5.4.1.	Válvula antecipadora de onda – para água	81
5.5.4.2.	Válvula antecipadora de onda – para vinhaça e/ou águas residuárias	81
5.5.4.3.	Válvula de AR – para água	82
5.5.4.4.	Válvula de AR – para vinhaça e/ou águas residuárias	82
6.	PROCEDIMENTOS PARA INSTALAÇÃO DE ADUTORAS.....	85
6.1.	Identificação de partes envolvidas e/ou afetadas pela Adutora - <i>Stakeholders</i>	85
6.2.	Definição do escopo	86
6.3.	Licenças e Autorizações.....	86
6.4.	Premissas e Engenharia	87
6.5.	Planejamento de Tempo - Cronograma.....	88
6.6.	Planejamento de Aquisições.....	88
6.7.	Plano de Execução	89
6.8.	Recebimento, Descarga e Manuseio	89
6.8.1.	Inspeção de recebimento	89
6.8.2.	Descarga e manuseio	90
6.8.3.	Armazenamento.....	91
6.9.	Instalação de tubulações subterrâneas.....	93
6.9.1.	Locação da vala	94
6.9.2.	Escavação – Abertura da vala.....	94
6.9.3.	Escavação – Largura do fundo da vala.....	95
6.9.4.	Escavação – Profundidade da vala	95
6.9.5.	Montagem de tubos enterrados.....	96

6.9.5.1.	Limpeza e instalação do anel de vedação	96
6.9.5.2.	Lubrificação da junta	97
6.9.5.3.	Acoplamento dos tubos com catraca.....	97
6.9.5.4.	Comissionamento a frio dos tubos	99
6.9.5.5.	Deflexão angular entre duas barras de tubos	99
6.9.5.6.	Assentamento da tubulação.....	100
6.9.6.	Instalações alternativas e especiais.....	105
6.9.6.1.	Valas com instalações múltiplas de tubos.....	105
6.9.6.2.	Vala com fundo instável	106
6.9.6.3.	Recuperação de vala	107
6.9.6.4.	Blocos de Ancoragem	107
6.9.6.5.	Instalação em trechos íngremes	108
6.9.6.6.	Instalação de tubos aéreos.....	109
6.9.7.	Outras recomendações importantes	112
7.	COMISSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO	113
7.1.	Inspeção e teste.....	113
7.2.	Comissionamento estático.....	113
7.3.	Comissionamento dinâmico	114
7.4.	Teste de estanqueidade.....	115
7.5.	Operação assistida	117
8.	PROJETO COMO CONSTRUÍDO “As Built”	118
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

APRESENTAÇÃO

O Grupo de Irrigação e Fertirrigação de Cana-de-açúcar (GIFC) busca através de uma equipe de voluntários promover o aumento de produtividade de cana através de irrigação e fertirrigação. Esse grupo se propôs a publicar um conjunto de melhores práticas de processos para a elaboração de engenharia e instalação de adutoras para essa finalidade. A equipe de voluntários foi formada por fabricantes de produtos, consultores de irrigação e usuários de sistemas de irrigação e fertirrigação. O GIFC coordenou esse processo e estabeleceu regras para que fosse possível o consenso entre as ideias.

O GIFC se isenta de qualquer responsabilidade por dano pessoal, de propriedade ou outra natureza, seja específica, indireta, por consequência ou compensatória, resultante direta ou indiretamente da publicação, uso de aplicação ou dependência deste documento. O GIFC se isenta e não oferece garantia, expressa ou implícita, sobre a coerência ou integridade de qualquer informação aqui publicada, e se isenta, não garantindo que a informação contida neste documento atinja os seus propósitos ou necessidades particulares.

Ao publicar e disponibilizar este documento, o GIFC não se compromete a prestar serviços profissionais ou outros, em nome de qualquer pessoa ou entidade; a cumprir qualquer obrigação devida por qualquer pessoa ou entidade a outra pessoa. Qualquer pessoa que utilize este documento deve confiar em seu próprio julgamento ou, se for o caso, solicitar o parecer de um profissional competente. As informações e outras normas sobre o tema abrangido por esta publicação podem estar disponíveis em outras fontes, que o usuário pode consultar para obter vistas ou informações adicionais, não cobertas por esta publicação.

O GIFC não tem poder, nem é capaz de policiar ou fazer cumprir o conteúdo deste documento. Ainda, não aceita, testa ou inspeciona produtos, projetos ou instalações para fins de segurança ou saúde. Qualquer certificado ou outra declaração de conformidade relacionada à saúde ou à segurança neste documento, não deve ser atribuído ao GIFC e é de exclusiva responsabilidade do certificador ou fabricante.

1. INTRODUÇÃO

O Guia de Melhores Práticas para Projetos de Adutoras de Vinhaça e Águas, em sua primeira edição, fornece orientação sobre a engenharia, especificação e instalação de adutoras de águas e vinhaça para fins de irrigação e fertirrigação de cana, visando alcançar resultados bem-sucedidos para essas atividades.

Em sua elaboração, buscou-se reunir e sintetizar o consenso de diversos voluntários para a elaboração de projetos de engenharia e construção de adutoras seguras, confiáveis, economicamente competitivas e padronizáveis. Na falta de normas específicas, buscou-se discutir normas existentes para fins semelhantes e orientando como melhor extrair informação das mesmas, prezando ainda pela proteção de pessoas e meio ambiente.

Esse Guia se destina a todos os profissionais que direta ou indiretamente se relacionam com o tema de irrigação e fertirrigação de cana, as empresas que fabricam produtos para serem aplicados a adutoras ou que desenvolvem serviços de irrigação e fertirrigação.

São 7 (sete) capítulos principais que desenvolvem os seguintes tópicos: Premissas Técnicas; Tubulações; Normas, Padrões e Documentos Gerais Aplicáveis; Engenharia; Procedimentos para Instalação de Adutoras; Comissionamento da Tubulação; e Projeto como Construído “As Built”. Com o objetivo de reunir as informações mais importantes e necessárias para o início do desenvolvimento da engenharia até o começo da operação da adutora, passando por todos os aspectos construtivos.

2. PREMISSAS TÉCNICAS

A concepção de um projeto de adutora de vinhaça e/ou águas residuárias, normalmente, é definida com base nas seguintes premissas: vazão a ser conduzida, condições topográficas do terreno e características físicas e químicas dos efluentes, conforme descrito a seguir ao longo desse capítulo.

2.1. Caracterização dos efluentes

Apresentam-se, a seguir, alguns dados médios de caracterização dos efluentes líquidos e da vinhaça do setor, obtidos de trabalhos realizados no CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) e em outras instituições, como a CETESB (Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico).

2.1.1. Caracterização de águas residuárias

As águas residuárias do setor sucroenergético são formadas pela soma dos diversos efluentes líquidos industriais, atualmente compostos de purgas de sistemas fechados da lavagem de cana, purga de circuitos de resfriamentos, purga do sistema de retentores de material particulados (MP) dos gases da chaminé, sobra de águas condensadas, flegmaça e lavagem de pisos e equipamentos.

Na Tabela 1 tem-se a evolução média das características físico-químicas das águas residuárias utilizadas na lavoura, em dois momentos, mostrando que em 2008 estes despejos se apresentaram mais concentrados em termos de matéria orgânica e em sais como o potássio, nitrogênio e fósforo. Isto pode ser explicado pelo fato dos volumes de água residuária encaminhados ao campo serem menores que no passado, devido à racionalização do uso através de sistemas fechados de tratamento. Já os teores de sólidos diminuíram, provavelmente devido à otimização da limpeza de cana no campo. A cobrança de água, aliada a outros fatores, implicou no fechamento dos circuitos de muitas usinas, porém ainda há algumas usinas que mantêm os circuitos de água abertos para reaproveitar os efluentes na irrigação (ELIA NETO, 2009).

Tabela 1 - Evolução média das características físico-químicas das águas residuárias industriais enviadas para a lavoura de cana

Parâmetros	Águas residuárias	
	CTC, 1995	CTC, 2008
Temperatura (°C)	40	-
pH	4,0	5,8
DBO ₅ (mg/L)	1.000-1.500	5050,5
DQO (mg/L)	2.000-3.000	10575,8
Sólidos Totais (mg/L)	8000	6056,7
Fósforo Total (mg/L P)	8,0	12,1
Nitrogênio Total (mg/L N)	20-40	70,1
Óleos e Graxas (mg/L)	9-10	não determinado
Potássio (mg/L K)	7-42	136,2

Fonte: (Elia Neto & Zotelli 2008) apud ELIA NETO, A. et al. Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética (2009).

Na Tabela 2 são apresentadas as médias das águas residuárias gerais, compostas por diferentes efluentes provenientes dos processos de lavagem de cana, moenda, destilaria, fabrica e refinaria, num total de 29 amostras coletadas no ano de 2007 no âmbito das usinas associadas ao CTC, conforme ELIA NETO & ZOTELLI (2008).

Tabela 2 - Característica de águas residuárias (AR) de algumas seções da usina

Parâmetros	Unidade	Caracterização dos Efluentes das Seções					
		AR. Geral	Lav. Cana	Moenda	Destilaria	Fabrica	Refinaria
Nº Amostras	-	18	01	03	04	02	01
Alumínio	mg/L	61,75	118,2	8,60	< 5,00	107,30	< 5,00
Bário	mg/L	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00
CaO	mg/L	251,6	428,4	72,17	84,18	245,75	21,60
Chumbo	mg/L	< 2,50	< 2,50	< 2,50	< 2,50	< 2,50	< 2,50
Cobre	mg/L	0,34	< 0,20	0,40	< 0,20	0,50	< 0,20
Condutividade	mg/L	1.201	2.250	611	606,75	1145	4.670
DBO	mg/L	5.469	2.330	6.196	3.716,5	3.591,5	8.280
DQO	mg/L	11.728	4.250	11.127	7.521,75	8.653	17.220
Dureza	mg/L	1.508	3.100	1.673	2.320	2.390	540
Ferro	mg/L	67,54	97,40	20,73	4,75	175,55	36,20
Fósforo Total	mg/L	13,33	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00
Lítio	mg/L	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
MgO	mg/L	57,83	69,30	32,07	30,83	53,55	8,50
Manganês	mg/L	1,29	4,00	0,80	0,48	1,85	0,60
N Total	mg/L	80,29	50,40	16,93	49,48	85,30	< 10,00
N amoniacal	mg/L	11,59	5,10	7,63	9,30	7,00	< 10,00
N nitrito	mg/L	0,31	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
N nitrato	mg/L	0,11	0,30	0,13	0,98	0,30	< 0,10
pH	-	6,43	6,90	4,17	5,18	4,60	4,80
Potássio total	mg/L	134,73	390,50	97,13	100,75	84,85	7,30
RS	mg/L	17,59	13,00	2,03	0,55	29,00	0,20
Sódio	mg/L	52,68	4,30	15,43	27,63	20,45	1533,20
Sólidos Totais	mg/L	6.801,67	3.980	5.010,0	1.670,0	7.870,5	19.770,0
Sólidos Totais Fixos	mg/L	1.496,67	2.625	531,67	491,25	2.272,5	3.560,0
Sólidos Totais Voláteis	mg/L	5.305,0	1.355	4.478,33	1.178,75	5.535,0	16.210,0
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	1.444,11	1.640	460,0	177,75	2.755,0	120,0
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	654,00	960	< 20,0	< 20,0	1.140	< 20,0
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	935,94	11.150	460	177,75	1.615	120
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	5.357,56	2.340	4.550	1.492,5	5.052,5	19.650
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/L	986,94	1.805	531,67	486,25	1.132,50	3.560
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/L	4.370,67	535	4.015	1.003,75	3.920	16.100
Sulfato	mg/L	42,78	2,80	38	48,35	40,30	140
Zinco	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

Obs: Médias setoriais de 29 amostras de águas residuárias coletadas em 21 usinas associadas do CTC.

Fonte: Adaptado de (Elia Neto & Zotelli 2008) apud ELIA NETO, A. et al. Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética (2009).

Por sua vez, na Tabela 3 apresentam-se as variações dos parâmetros físico-químicos das águas residuárias, para se ter uma visão mais adequada do tipo de água aplicada na lavoura.

Tabela 3 - Variação média das características físico-químicas das águas residuárias industriais enviadas para a lavoura de cana

Parâmetros	Unidade	Variação dos Parâmetros (sem refinaria)		
		Mínimo	Média	Máximo
Alumínio	mg/L	< 5,0	51,8	630,1
Bário	mg/L	< 10	< 10	< 10
CaO	mg/L	11,5	214,4	518,9
Chumbo	mg/L	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Cobre	mg/L	< 0,2	0,3	0,9
Condutividade	µS/cm	112,0	1.086,1	2.620
DBO	mg/L	289,0	5.050,5	31.500
DQO	mg/L	660,0	10.575,8	55.100
Dureza	mg/L	220,0	1.761,4	4.320
Ferro	mg/L	1,9	62,5	733,9
Fósforo Total	mg/L	< 10	12,1	70,0
Lítio	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5
MgO	mg/L	2,1	51,3	366,6
Manganês	mg/L	< 0,2	1,2	4,6
N Total	mg/L	< 10	70,1	300
N amoniacal	mg/L	< 10	10,6	30,0
N nitrito	mg/L	< 0,10	0,2	2,8
N nitrato	mg/L	< 0,10	0,1	0,5
pH	-	3,6	5,8	11,7
Potássio total	mg/L	6,0	136,2	564
RAS (*1)	-	0,1	3,6	20,6
RS	mg/L	< 0,10	14,6	100
Sódio	mg/L	1,8	42,5	315
Sólidos Totais	mg/L	430,0	6.056,7	32.380
Sólidos Totais Fixos	mg/L	155,0	1.390,4	6.130
Sólidos Totais Voláteis	mg/L	275,0	4.666,3	30.650
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	67,0	1.303,6	8.600
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	< 20	466,5	5.433
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	67,0	1.232,6	11.150
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	363,0	4.753,1	30.220
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/L	155,0	935,0	2.050
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/L	208,0	3.817,4	28.610
Sulfato	mg/L	< 0,10	41,4	140
Zinco	mg/L	< 0,5	0,5	0,9

Obs: Médias setoriais de 29 amostras de águas residuárias coletadas em 21 usinas associadas do CTC.

(*1) RAS, Razão de Adsorção Sódio, obtido com os dados: Fórmula $[Na^+ / Raiz\ Quad[Ca^{++} + Mg^{++} / 2]]$

Fonte: (Elia Neto & Zotelli 2008) apud ELIA NETO, A. et al. Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética (2009).

2.1.2. Caracterização da vinhaça

A vinhaça é originada na coluna “A” de destilação do etanol e é o despejo com maior potencial poluidor da usina. Na Tabela 4 têm-se as características físico-químicas da vinhaça, obtidas de dois levantamentos realizados no CTC, o primeiro em 1995 (ELIA NETO & NAKAHODO, 1995) e o

segundo em 2007 (ELIA NETO & ZOTTELI, 2008). Apresentam-se as médias, compondo-se os resultados extremos de ambos os levantamentos.

Tabela 4 - Caracterização físico-química da vinhaça obtida de levantamentos realizados no CTC

Descrição	Unidade	Valores Médios		Valores Extremos	
		CTC, 1995 (*1)	CTC, 2007 (*2)	Mínimo	Máximo
Alumínio	mg/L	-	18,30	< 5,0	120,0
Bário	mg/L	-	13,3	< 10	25,0
Cálcio (CaO)	mg/L	515,25	863,9	71	2.614,7
Chumbo	mg/L	-	< 2,50	< 2,50	< 2,50
Cloreto	mg/L	1.218,91	-	480	2.300
Cobre	mg/L	-	0,50	< 0,2	3,2
Condutividade	µS/cm	-	6.553	3.780	12.500
DBO ₅	mg/L	16.949,76	11.331,1	5.879	75.330
DQO	mg/L	28.450,00	31.504,6	9.200	97.400
Dureza	mg/L	-	4.505,7	1.080	9.200
Etanol-CG	% v/v	0,09	-	0,01	1,19
Ferro	mg/L	25,17	14,71	2	200
Fósforo Total	mg/L	60,41	32,0	< 10	188
Glicerol	% v/v	0,59	< 1,00	0,26	2,50
Levedura	% v/v	1,35	-	0,38	5,00
Lítio	mg/L	-	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Magnésio (MgO)	mg/L	225,64	535,0	97	1.112,9
Manganês	mg/L	4,82	4,50	1	12
Nitrogênio Total	mg/L	365,63	352,5	81,2	1.214,6
Nitrogênio amoniacal	mg/L	10,94	36,6	0,4	220,0
Nitrogênio nitrato	mg/L	-	< 0,8	< 0,1	4,2
Nitrogênio nitrito	mg/L	-	< 0,2	< 0,1	1,2
pH	-	4,15	4,8	3,50	4,90
Potássio total	mg/L	2.034,89	2.666,6	814	7.611,5
RAS (*1)	-	2,47	1,10	0,3	4,69
Resíduos Sedimentáveis	mg/L	2,29	7,0	0,1	40
Sódio	mg/L	51,55	30,6	2,7	220
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/L	11.872,36	7.517,7	921	24.020
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	18.420,06	24.520,4	1.509	45.630
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/L	6.579,58	17.004,3	588	29.325
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	294,38	< 327,8	< 20	2.350
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	3.966,84	-	260	9.500
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	3.632,16	4.901,1	40	15.900
Sólidos Totais (ST)	mg/L	25.154,61	29.596,3	10.780	56.780
Sulfato	mg/L	1.537,66	861,2	92,3	3.363,5
Sulfito	mg/L	35,90	-	5	153
Temperatura	°C	89,16	-	65	110,5
Zinco	mg/L	-	< 1,0	< 0,5	4,6

Fonte: (*1) ELIA NETO & NAKAHODO, 1995; e (*2) ELIA NETO & ZOTTELI, 2008 apud ELIA NETO, A. et al. Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética (2009).

Outra caracterização clássica da vinhaça é apresentada no trabalho “Utilização de Restilo como Fertilizante em Solo Cultivado com Cana de Açúcar – Relatório Final”, (CETESB, 1982). O

resultado final com as características qualitativas e quantitativas de vinhaça, procedente de mostos de melaço, caldo e misto é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Características qualitativas e quantitativas de vinhaça, procedente de mostos de melaço, caldo e misto

Parâmetro	Melaço	Caldo	Misto
pH	4,2 - 5,0	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6
Temperatura (°C)	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO ₅ (mg/LO ₂)	25.000	6.000 - 16.500	19.800
DQO (mg/LO ₂)	65.000	15.000 - 33.000	45.000
Sólidos Totais (mg/L)	81.500	23.700	52.700
Sólidos Voláteis (mg/L)	60.000	20.000	40.000
Sólidos Fixos (mg/L)	21.500	3.700	12.700
Nitrogênio (mg/L N)	450 - 1.610	150 - 700	480 - 710
Fósforo (mg/L P ₂ O ₅)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg/L K ₂ O ₅)	3.740 - 7.830	1.200 - 2.100	3.340
Cálcio (mg/L CaO)	450 - 5.180	130 - 1.540	1.330 - 4.570
Magnésio (mg/L MgO)	420 - 1.520	200 - 490	580 - 700
Sulfato (mg/L SO ₄)	6.400	600 - 760	3.700 - 3.730
Carbono (mg/L C)	11.200 - 22.900	5.700 - 13.400	8.700 - 12.100
Relação C/N	16 - 16,27	19,7 - 21,07	16,4 - 16,43
Matéria Orgânica (mg/L)	63.400	19.500	3.800
Substâncias redutoras (mg/L)	9.500	7,90	8.300

Fonte: Utilização de Restilo como Fertilizante em Solo Cultivado com Cana de Açúcar – Relatório Final, CETESB, 1982 apud ELIA NETO, A. et al. Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética (2009).

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da caracterização da vinhaça e faixas de variação dessa característica.

Tabela 6 - Comparação dos resultados obtidos com os preconizados pela literatura

Parâmetro	CTC		CETESB, 1982		Composição Final	
	1995	2008	Caldo	Mista	Media	Faixa
pH	4,15	4,8	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6	4,3	3,5 - 4,9
Temperatura (°C)	89		80 - 100	80 - 100	90	65 - 110,5
DBO ₅ (mg/LO ₂)	16.950	11.331	6.000 - 16.500	19.800	14.833	5.879 - 75.330
DQO (mg/LO ₂)	28.450	31.505	15.000 - 33.000	45.000	23.801	9.200 - 97.400
DQO/DBO ₅	1,7	2,8	2,5 - 2,0	2,1	1,6	1,6 - 2,8
ST (mg/L)	25.155	29.596	23.700	52.700	32.788	10.780 - 56.780
SVT (mg/L)	10.211,74	21.905,4	20.000	40.000	23.030	628 - 45.225
SFT (mg/L)	18.420,06	24.520,4	3.700	12.700	14.835	1.509 - 45.630
Nitrogênio (mg/L N)	357	353	150 - 700	480 - 710	433	81 - 1.215
Fósforo (mg/L P)	60,41	32,0	2,1 - 44,1	1,89 - 42	34	2,1 - 188
Potássio (mg/L K)	2.035	2.667	991 - 1.735	2.759	2206	814 - 7.612
Cálcio (mg/L Ca)	286,2	479,5	72,2 - 854,7	738,2 - 2.536,4	832	39,4 - 1.451,2
Magnésio (mg/L Mg)	135,4	321	120 - 294	348 - 420	262	97 - 1.112,9
Sulfato (mg/L S)	1.538	861	300 - 380	1.850 - 1.865	1.149	92 - 3.364

Fonte: ELIA NETO, A. et al. Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética (2009).

Na composição nutricional da vinhaça destaca-se o potássio, que normalmente é o elemento que se apresenta em maior concentração e, conseqüentemente, recebe especial atenção nas normas atuais de controle ambiental. No entanto, a principal característica da vinhaça a ser considerada nos projetos de adutoras é a temperatura, uma vez que ela interfere diretamente nos cálculos hidráulicos do escoamento (recalque e gravidade), no tipo de material e vida útil das tubulações, nos dispositivos de proteção a serem adotados, e nas condições operacionais da adutora projetada.

Por outro lado, as águas residuárias não apresentam potencial nutricional significativo e, portanto, o parâmetro principal a ser considerado normalmente é a quantidade de sólidos suspensos (minerais e vegetais), que podem provocar entupimentos e provocar sérios danos nas adutoras a serem projetadas e/ou no sistema hidráulico em geral. Na Tabela 7 estão representados os danos causados no sistema de aplicação em função do tipo de impureza e qual é o diâmetro admissível para não ter problemas com o equipamento.

Tabela 7 - Tamanho Admissível de Sólidos Suspensos para diferentes Sistemas de Aplicação

Sistemas de aplicação	Vegetal	Admissível	Impureza Mineral	Admissível
Sistema de aspersão convencional	Entupimento	1/3 do diâmetro do bocal	Gera desgaste	1/3 do bocal (verificar quantidade e diâmetro da partícula)
Aspersão via Pivô Central/Rebocável	Entupimento	1/3 do diâmetro do bocal	Gera desgaste	1/3 da menor passagem no regulador de pressão / bocal
Aspersão via Carretel	Entupimento	1/3 da folga da turbina	Gera desgaste	1/3 do bocal (verificar quantidade e diâmetro da partícula)
Irrigação localizada via gotejamento	Entupimento	1/3 do diâmetro do bocal	Gera desgaste	1/3 do bocal (verificar quantidade e diâmetro da partícula)

A Tabela 8 representa os tamanhos admissíveis de sólidos suspensos para não ocorrer danos nos diferentes sistemas de transporte, condução e armazenamento causados em função do tipo de impureza e qual é o diâmetro admissível para não ter problemas com os equipamentos em geral.

Tabela 8 - Tamanho Admissível de Sólidos Suspensos para diferentes sistemas de armazenamento, condução e transporte de efluentes

Equipamento	Impureza Vegetal		Impureza Mineral	
	Consequência	Recomendado	Consequência	Recomendado
Reservatórios	NA	NA	> 0.60% gera perda da capacidade total de armazenamento	0.1% de impureza
Bombeamento rotor rotor fechado	Entupimento de rotor	1/3 do diâmetro de passagem do rotor (SST %)	Gera desgaste	0.1% de impureza
Tubulação*	NA	NA	Gera desgaste	0.1% de impureza
Adutoras em Alumínio	Entupimento de acessórios	Não é admissível / Travamento de ventosa	Gera desgaste	0.1% de impureza
Válvulas de corte borboleta	Travamento e entupimento	1/3 do diâmetro de passagem (SST %)	Gera desgaste	0.1% de impureza
Ventosas	Possibilidade de travamento	Consultar o fabricante	Gera desgaste	0.1% de impureza

(*) Não se considerou o entupimento com impurezas vegetais em tubulações, pois nestas estão consideradas a utilização de Válvulas Ventosas Secas.

2.2.Dados Topográficos

As informações topográficas básicas necessárias para a elaboração de estudo, projeto e engenharia de um sistema de transporte de líquidos via adutora, são obtidas com a execução de levantamentos detalhados da planta e perfil do traçado onde se pretende construir a adutora, e dos locais das obras de arte que a compõem.

2.2.1. Validação dos traçados aprovados

Nesta etapa os traçados das adutoras, previamente aprovados em estudos conceituais, devem ser submetidos a uma validação de campo, considerando os seguintes fatores:

- Mapa geral atualizado contemplando os talhões agrícolas, núcleos urbanos, estradas, carregadores, cursos d'água, área de reserva legal, áreas com potencial agrícola, etc.;
- Atualização das áreas agrícolas atendidas;
- Modelo e tempo de contrato de utilização das áreas;
- Atualização do potencial de expansão;
- Anuência de proprietários;
- Licenciamento ambiental;
- Identificação de obstáculos, como redes de energia elétrica, travessias sobre APP (áreas de preservação permanente), travessias sobre/sob rodovias e ferrovias, edificações, etc.;
- Levantamento do tipo de solo no caminhamento da adutora e indícios de formação rochosa;

2.2.2. Levantamento detalhado da planta e perfil dos traçados das adutoras

Nesta etapa, após a validação de campo do traçado preliminar da adutora, inicia-se a execução do levantamento topográfico detalhado do caminhamento da tubulação. Esse levantamento deve representar fielmente as condições topográficas do terreno e para tanto, deve-se considerar os seguintes fatores básicos:

- Planta topográfica do traçado definido, com distância máxima de 40 metros entre pontos (estacas); o sentido do levantamento deve ser o mesmo do fluxo do líquido;
- Perfil de elevação da superfície do terreno, com cotas altimétricas dos mesmos pontos correspondentes à planta topográfica do traçado;
- Identificação dos pontos com numeração específica e sequencial;
- Locação de todos os obstáculos e limites de abrangências específicos no local;
- Arquivo em extensão dwg;
- Assinatura de responsabilidade técnica (ART) referente ao levantamento topográfico.

2.2.3. Levantamento detalhado dos locais das obras

Em função da complexidade de cada projeto se fazem necessários levantamentos topográficos específicos, que representem fielmente as condições topográficas do terreno, para as denominadas “obras de arte”, onde se destacam:

- Estações de bombeamento fixas: Levantamento planialtimétrico da área de abrangência definida no projeto, com distância altimétrica entre curvas de nível de 20 cm;
- Reservatórios revestidos: Levantamento planialtimétrico da área de abrangência definida no projeto, com distância altimétrica entre curvas de nível de 20 cm;
- Travessias sobre APP: Levantamento do perfil de elevação do terreno com distância entre pontos de no máximo 5,0 m;
- Assinatura de responsabilidade técnica (ART) referente ao levantamento topográfico.

3. TUBULAÇÕES

3.1. Tubos de RPVC

3.1.1. Definição

Os tubos de RPVC (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro com *line* Termoplástico em PVC) apresentam estrutura monolítica constituída de um tubo de PVC, que recebe o reforço de fibras de vidro impregnadas com resina poliéster, que confere ao produto final, baixo peso, e elevada resistência mecânica.

3.1.2. Vantagens

- Apresenta baixo custo para médias e altas pressões;
- Com o aumento da classe de pressão não altera o diâmetro interno;
- Leve e de fácil manuseio;
- Velocidade de fabricação;
- Estanqueidade do *liner*;
- Resistência à abrasão;
- Rapidez na fabricação de conexões;
- Intercambialidade nas extremidades com outros materiais (exemplos: deFofo, etc.).

3.1.3. Desvantagens

- Limitação da temperatura de operação em 50°C, com tolerância de 20% (até 60°C);
- Não indicado para travessias aéreas.

3.1.4. Tipos de Resina

As resinas aplicadas ao RPVC podem ser:

- a) **Ortoftálica** – apresenta temperatura de termodistorção de aproximadamente 75°C, sendo compatível na condução de água e vinhaça, até a temperatura de 50°C, com tolerância de 20% (até 60°C);
- b) **Isoftálica** – apresenta temperatura de termodistorção (HDT) de 90°C, sendo compatível na condução de água e vinhaça, até a temperatura de 50°C, com tolerância de 20% (até 60°C). A limitação idêntica a resina ortoftálica se dá, em função do *liner* de PVC especificado para trabalhar no máximo até 60°C.

3.1.5. Normas aplicáveis

- NBR 15536-1 - Sistemas para adução de água, coletores troncos, emissário de esgoto sanitário e águas pluviais – Tubos e conexões de plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV) – Parte 1: Tubos e juntas para adução de água.
- NBR 15536-4 - Sistemas para adução de água, coletores troncos, emissário de esgoto sanitário e águas pluviais – Tubos e conexões de plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV) – Parte 4: Anéis de borracha.
- NBR 7318 - Elastômero vulcanizado para uso em veículos automotores – Determinação da dureza.
- NBR 6565 - Elastômero vulcanizado – Determinação do envelhecimento acelerado em estufa.
- NBR 7588 - Anéis de borracha para juntas de tubos de ferro fundido centrifugado – Ensaios.

3.1.6. Databook

O *databook* é a compilação de todos os documentos que compõem o processo de fabricação dos tubos, e deve conter, no mínimo:

- Cópia da ordem de fornecimento, enviado pelo comprador;
- Laudo das análises das matérias primas, realizadas pelo fabricante;
- Certificado de análise das matérias primas, fornecido pelo fabricante da mesma;
- PIT – plano de inspeção e testes para o material fabricado;
- Relatório das inspeções visuais e dimensionais;
- Relatório dos ensaios mecânicos;
- Relação dos instrumentos utilizados durante as inspeções/ensaios mecânicos;
- Certificado de calibração, dos instrumentos/equipamentos utilizados nas inspeções;
- Certificado de garantia;
- Registro fotográfico passo a passo dos ensaios mecânicos.

3.1.7. Ensaios

Os ensaios para avaliação do desempenho dos tubos de RPVC, estão divididos nos seguintes grupos:

- Ensaios de qualificação de produto;
- Ensaios de avaliação da matéria prima;
- Ensaios de monitoramento de produto.

3.1.7.1. Ensaios de Qualificação do Produto

São os ensaios que qualificam o projeto de fabricação do produto. Normalmente são de longa duração (mínimo 10.000 horas) e, definem o desempenho do produto em longo prazo. Estes ensaios são realizados uma vez, e não havendo mudança no projeto, não há obrigatoriedade de realiza-los novamente. Eles devem ser executados com acompanhamento de laboratório independente, para garantir a imparcialidade dos resultados.

Os ensaios de qualificação de produto são:

a) HDB – Hidrostatic Design Basis

Ensaio de pressão interna de longa duração, que representa a tensão admissível ou alongamento admissível de tração, extrapolado para 50 anos.

b) SB – Strain Basis

Ensaio de deformação por compressão circunferencial de longa duração, que representa o alongamento de flexão.

c) Desempenho da Junta Elástica

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

d) Compressão Axial

É a capacidade de resistência a compressão, no sentido longitudinal do tubo. Os corpos de prova devem atingir ou exceder a mínima força de compressão axial de circunferência, conforme especificado na Tabela 9. A Tabela 10 apresenta o resumo dos ensaios de qualificação e Norma de Referencia.

Tabela 9 - Compressão axial mínima em função do diâmetro

Diâmetro Nominal - DN (mm)	Mínima força (KN/m)
100 - 150	63
200 - 500	102

Tabela 10 - Resumo dos ensaios de qualificação e Norma de Referência

Ensaio	Norma / Item
HDB	NBR 15536-1 / Anexo H
SB	NBR 15536-1 / Anexo I
Desempenho da Junta elástica	NBR 15536-1 Anexo F e Tabela 11
Compressão axial	NBR 15536 - Anexo E

3.1.7.2. Ensaios de Avaliação de Matéria Prima

Os ensaios para monitoramento das matérias primas comprovam as diversas características que as mesmas devem apresentar, para que o produto final esteja em conformidade com a especificação de projeto.

Estes ensaios devem ser realizados no recebimento, durante o processo de fabricação dos produtos, preferencialmente com a presença de um inspetor do comprador, ou, mediante acordo entre comprador e fabricante, podendo ser aceitos os laudos de análise que são realizadas no recebimento destas matérias primas. A Tabela 11 apresenta as matérias primas envolvidas no processo de fabricação de tubos em RPVC e as análises para atestar a qualidade do material.

Tabela 11 - Matéria prima e suas análises

Matéria Prima	Ensaio	Frequência
Tubo de PVC	Cinzas, amolecimento Vicat, visual, dimensional, densidade	Qualificação do fabricante, antes do fornecimento
Tubo de PVC	Visual, dimensional	A cada lote recebido
Fibra de vidro	Tex, gramatura, umidade, perda por ignição	A cada lote recebido
Resina poliéster	Gel time, pico exotérmico, intervalo simples, viscosidade, sólidos, densidade, número ácido	A cada lote recebido
Catalisador	Umidade, reatividade	A cada lote recebido
Sílica	Umidade, granulometria	A cada lote recebido
Anel de borracha	Deformação permanente a compressão, dureza Shore A, envelhecimento acelerado, visual, dimensional	A cada lote recebido

3.1.7.3. Ensaios de Monitoramento de Produto

Os ensaios de monitoramento de produto são caracterizados por ensaios destrutivos e não destrutivos. São realizados durante o processo de fabricação para evidenciar o atendimento dos requisitos visuais e mecânicos dos tubos às solicitações de projeto. Os ensaios não destrutivos poderão ser realizados a qualquer momento do processo de fabricação. A frequência dos ensaios destrutivos deverá ser determinada entre fabricante e comprador, porém, na Tabela 12 está representado o modelo utilizado pelo mercado sucroalcooleiro.

Tabela 12 - Ensaios de monitoramento de produto utilizados pelo setor

Inspeção	ENSAIO	AMOSTRAGEM	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
LINER	Dimensional	100%	Somente peças APROVADAS
	Medição de Espessura por US		Somente peças APROVADAS
	Teor de Cinzas	NBR 5426 – Amostragem dupla normal, NQA 4,0 nível de inspeção S3 (por lote de peças)	Máximo 10%
	Ensaio de VICAT (ponto de amolecimento)		O Liner deverá ter o ponto de amolecimento maior ou igual a 80 °C
	Verificação da Densidade		Deverá estar entre 1,40 a 1,55 g/cm ³ , medida na temperatura de 20 °C +3/-2. A variação entre o composto especificado pelo fabricante e o resultado do ensaio deverá ser no máximo 0,05 g/cm ³
BORRACHA	Dimensional	100%	Somente peças APROVADAS
	Dureza		Somente peças APROVADAS
	Deformação permanente a compressão (tabela 1); NBR ABNT 15536-4	NBR 5426 – Amostragem dupla normal, NQA 4,0 nível de inspeção S3 (por lote de peças)	ABNT NBR 7588
	Envelhecimento ao ar (tabela 1); NBR ABNT 15536-4		ABNT NBR 7588 e ABNT NBR 7462
	Imersão em água (tabela 1); NBR ABNT 15536-4		ABNT NBR 11407
RESINA	Viscosidade	NBR 5426 – Amostragem dupla normal, NQA 4,0 nível de inspeção S3 (por lote de peças)	Contraprova do Certificado
	Gel time		Contraprova do Certificado
	Intervalo de pico		Contraprova do Certificado
	Pico exotérmico		Contraprova do Certificado
	Teor de sólido e densidade		Contraprova do Certificado
FIBRA	Contra prova do certificado (Tex, gramatura, umidade, perda por ignição)	NBR 5426 – Amostragem dupla normal, NQA 4,0 nível de inspeção S3 (por lote de peças)	Contra prova do certificado
TUBO FINAL	Inspeção dimensional final	100%	Somente peças APROVADAS
	Inspeção Visual: relatório com verificação de ressaltos, delaminações, descolamento do liner, incrustações, pites, fissuras, cavidades, trincas, furos, pontos de secos de resina		Somente peças APROVADAS
	Ensaio de determinação da classe de rigidez	NBR 5426 – Amostragem dupla normal, NQA 4,0 nível de inspeção S3 (por lote de peças)	Conforme NBR 15536-1 Anexo C
	Ensaio de tração circunferencial		Conforme NBR 15536-1 Anexo D (Método A)
	Ensaio de resistência à Tração Axial		Conforme NBR 15536-1 Anexo G (Método A ou C) para Diâmetros menores de 150, pode ser usado Método B.
	Teor de fibra		ABNT NBR 13212
	Teste Hidrostático (destrutivo)		Conforme NBR 15536-1 Anexo D (Método B)
	Teste de estanqueidade barra inteira (bolsa / ponta) deverá ser com duas vezes a classe de pressão do tubo –		Conforme NBR 15536-1 Anexo B

3.1.7.3.1. Ensaios destrutivos

Ensaios destrutivos são ensaios realizados para garantir a qualidade do produto, que utilizam amostras do material e/ou parte do material, sendo que conforme o próprio nome diz apresentam características de destruição do mesmo para aferir se os produtos estão conforme especificação da Norma. Na Tabela 13 pode-se conferir a relação dos ensaios destrutivos e Norma de referência para tubos de fibra de vidro.

Tabela 13 - Resumo dos ensaios destrutivos

Ensaio	Norma / Item
Tração axial	NBR 15536-1 / Anexo G
Rigidez	NBR 15536-1 / Anexo C
Deflexão A e B	NBR 15536-1 / Anexo C
Tração Circunferencial	NBR 15536-1 / Anexo D
Anel de borracha	NBR 15536-4

a) Tração Axial

Determina a resistência do tubo, no sentido longitudinal e garante o bom funcionamento do material, durante o período de pressurização, provocado pela interferência entre tubo e a camada de solo da envoltória. Na Tabela 14 estão representados os valores mínimos para tração axial em função do diâmetro nominal e classe de pressão.

Tabela 14 - Valores mínimos para tração axial

Tração Axial – N/mm											
DN (mm)	PN 4,0	PN 6,0	PN 8,0	PN 10,0	PN 12,0	*PN 14,0	PN 16,0	*PN 18,0	PN 20,0	PN 25,0	PN 32,0
100	70	75	80	80	85	88	90	95	100	110	125
150	80	85	95	100	105	108	110	115	120	130	145
200	85	95	105	110	115	118	120	125	130	140	155
250	90	105	115	125	130	133	135	143	150	165	190
300	95	115	130	140	145	148	150	160	170	190	220
350	100	125	140	155	160	165	170	180	190	215	250
400	105	130	145	160	170	178	185	198	210	240	285
450	110	140	160	175	185	195	205	218	230	265	315
500	115	150	170	190	200	210	220	235	250	290	345

Nota: *Valores não constante na norma NBR 15536, calculados por inferência.



Figura 1 - Ensaio de tração axial

b) Rigidez

É a capacidade de o tubo resistir radialmente a cargas externas, provocadas por tráfego de veículos, como máquinas e caminhões. Na Tabela 15 estão representados os níveis de rigidez para tubos com DN entre 50 e 500mm.

Tabela 15 - Categorização de Classes de Rigidez

DN	Classe de rigidez (N/m ²)				
	2500*	3.750	5.000	7.500	10.000
50 - 500	-	3.750	5.000	7.500	10.000

Nota: *Valor não recomendado para adutoras



Figura 2 - Ensaio de verificação da rigidez

c) Deflexão A e B

Após definida a classe de rigidez, os corpos de prova devem suportar os níveis de deformação diametral apresentadas na Tabela 16, sem apresentar falhas, como especificado para cada nível a seguir:

Nível A – os corpos de prova não devem apresentar evidências visuais (a olho nu) de fissuras, fendas, ruptura e/ou separação do *liner* de PVC, da camada de reforço.

Nível B – os corpos de prova não devem apresentar evidências visuais (a olho nu) de dano estrutural da parede do tubo.

Tabela 16 - Nível de Deflexão Diametral (%)

Nível de Deflexão (%)	Classe de rigidez				
	2500*	3.750	5.000	7.500	10.000
A	14,3	13	11	10	9
B	23,9	21	19	17	15

Nota: *Valor não recomendado para adutoras

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

Nível A = $\frac{194}{R^{1/3}}$ (%) onde: R = rigidez do tubo, em Newtons por metro quadrado (N/m²).

Nível B = $\frac{324}{R^{1/3}}$ (%)

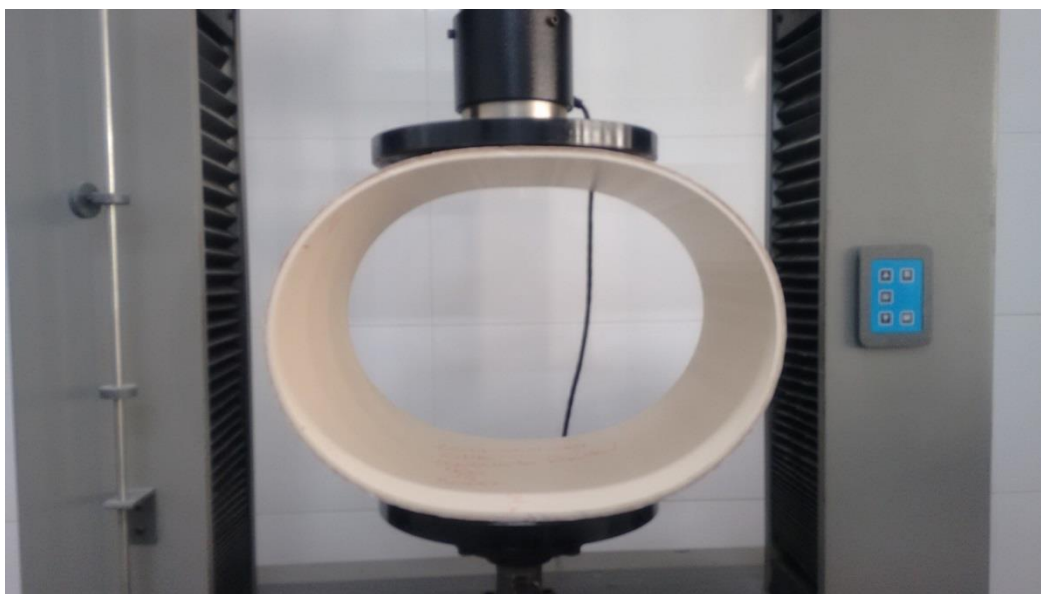


Figura 3 - Ensaio de deflexão nível A e nível B

d) Tração Circunferencial

É a capacidade do tubo resistir ao esforço radial provocado pela pressão interna de operação. O corpo de prova deve atingir ou exceder a mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento, calculada pelas equações abaixo a que for maior:

$$F = S_i/S_r \times (P \times r)$$

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

Onde:

F = mínima força circunferencial requerida por unidade de comprimento, expressa em quilonewtons por metro (KN/m);

S_i = tensão circunferencial inicial de ruptura, expressa em quilonewtons por metro quadrado (KN/m²);

S_r = tensão circunferencial na classe de pressão, expressa em quilonewtons por metro quadrado (KN/m²);

P = classe de pressão especificada, expressa em quilonewtons por metro quadrado (KN/m²);

r = raio médio do tubo em metros (diâmetro externo menos uma espessura)/2.

A Tabela 17 contempla os valores calculados para as classes de pressão utilizadas.

Tabela 17 - Tração Circunferencial em função de diâmetro e classe de pressão

Tração Circunferencial – N/mm											
DN (mm)	PN 4,0	PN 6,0	PN 8,0	PN 10	PN 12	PN 14	PN 16	PN 18	PN 20	PN 25	PN 32
100	80	119	158,5	198,5	238	277,5	317	357	396,5	495,5	634
150	118,5	178	237,5	297	356	415	474,5	533,5	593	741	948,5
200	158,5	237,5	316,5	395,5	474,5	554	633	712	791	989	1265,5
250	197,5	296,5	395,5	494	593	691,5	790,5	889	988	1235	1580,5
300	237	355,5	474	592,5	710,5	829,5	948	1066,5	1185	1481	1895,5
350	276,5	415	553	691,5	830	967,5	1106	1244	1382,5	1728	2211,5
400	316	474	631,5	790	948	1105	1263	1421	1579	1972,5	2526
450	355,5	533	710,5	888,5	1066	1243,5	1421	1599	1776,5	2220,5	2842
500	395	592,5	789,5	987	1184,5	1382	1579,5	1776,5	1974	2467,5	3158,5



Figura 4 - Ensaio de verificação da resistência à tração circunferencial

e) Anel de Borracha

Verifica os requisitos de desempenho do anel de borracha, com relação a dureza Shore A, deformação permanente à compressão – DPC, envelhecimento acelerado.

3.1.7.3.2. Ensaios não destrutivos

Ensaios não destrutivos são ensaios realizados para garantir a qualidade do produto, que utilizam métodos visuais e/ou dimensionais do material, sendo que conforme o próprio nome diz apresentam características não destrutivas do mesmo para aferir se os produtos estão conforme especificação da Norma. Na Tabela 18 pode-se conferir a relação dos ensaios não destrutivos e Norma de referencia para tubos de fibra de vidro.

Tabela 18 - Resumo dos ensaios destrutivos

Ensaio	Norma / Item
Inspeção visual tubo	Tabela 19 (deste documento)
Estanqueidade do tubo	NBR 15536-1 / Anexo B
Ovalização	NBR 15536-1 / Anexo A
Dimensional	NBR 15536-1 / Anexo A Tabela 19 (deste documento)

a) Inspeção visual

Verifica ausência de defeitos como ressaltos, rebarbas, delaminações, bolhas, incrustações, fissuras, trincas, cavidades, furos ou áreas/pontos secos de resina, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Defeitos visuais do tubo

Defeito	Descrição
Trinca	Fissura na superfície do laminado/PVC
Delaminação	Separação das camadas do laminado
Falta de resina	Laminado com fibra aparente
Abrasão	Desgaste na parede do tubo
Furo	Perfuração na parede do tubo
Ressalto	Saliência irregular no tubo
Descolamento do liner PVC	Desprendimento entre liner PVC e reforço PRFV
Ponto seco de resina	Área pobre em resina de impregnação

b) Estanqueidade do tubo

Verifica a estanqueidade do corpo de tubo, quando submetido a pressão hidrostática interna.

c) Ovalização

Determina a ovalização máxima da ponta e da bolsa do tubo, conforme a Tabela 20.

Tabela 20 - Tolerância para ovalização máxima em função do diâmetro do tubo

Diâmetro Nominal (mm)	Tolerância para Ovalização máxima (mm)
DN ≤150	1,5
150 < DN < 600	3,0

d) Dimensional

Verifica os valores dimensionais do tubo, como as dimensões do tubo de PVC antes do reforço, diâmetro externo da ponta reforçada, diâmetro interno da bolsa, comprimento útil, conforme apresentado nas Tabelas 21, 22, 23, 24 e 25.

Tabela 21 – Parâmetros dimensionais do tubo - I

DN (mm)	Largura Fundo Canaleta (E) em mm			Comprimento Total em mm			Espessura de Parede (ePVC) em mm		
	Mínimo	Nominal	Máximo	Mínimo	Nominal	Máximo	Mínimo	Nominal	Máximo
100	12	13	14	6050	6070	6090	1,3	1,5	1,7
150	14	16	18	6095	6100	6120	1,8	2	2,2
200	15	17,5	20	6120	6125	6145	1,8	2,1	2,4
250	24	26	28	6145	6150	6170	2,3	2,5	2,7
300	28	31	33	6150	6155	6170	2,7	3	3,3
350	25	36	40	6155	6172	6180	2,8	3,3	3,8
400	27	36	40	6167	6172	6200	3,3	3,8	4,3
450	30	37	40	6167	6172	6200	3,7	4	4,3
500	30	37	40	6167	6172	6200	4,2	4,5	4,8

Tabela 22 – Parâmetros dimensionais do tubo - II

DN (mm)	Dim. Interno Canaleta (A) em mm			Diâm. Interno Bolsa (B) em mm		
	Mínimo	Nominal	Máximo	Mínimo	Nominal	Máximo
100	134	135	136	118,5	119,5	120,5
150	191	192	193	171,5	172,5	173,5
200	243	244	245	224,5	225,1	225,8
250	302,5	303,8	305	276	277,5	278,5
300	353,5	354,8	356	327	328,5	329,5
350	408	410	412	381	381,5	382
400	463	464,3	465,5	430,5	431,3	432
450	512	513,3	514,5	481,5	482,3	483
500	565	566	567	533,9	534,7	535,4

Tabela 23 – Tolerância admissível para comprimento do tubo

Comprimento Útil - mm	Tolerância do Comprimento - %
6.000	+ - 1,0

Tabela 24 - Parâmetros dimensionais do tubo – III

DN (mm)	Comprimento Bolsa (C) em mm			Entrada Bolsa-Canaleta (D) em mm		
	Mínimo	Nominal	Máximo	Mínimo	Nominal	Máximo
100	67	70	75	16	17	18
150	95	100	105	30	35	40
200	120	125	130	45	50	55
250	145	150	155	40	45	50
300	150	155	160	39	44	49
350	155	166	177	50	55	60
400	167	178	190	50	55	60
450	167	178	190	50	55	60
500	167	166	177	50	55	60

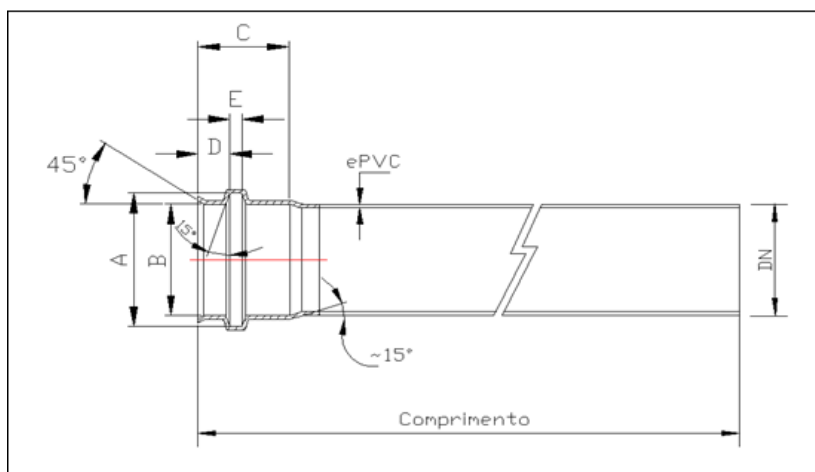


Figura 5 - Dimensional do tubo

Tabela 25 - Dimensional da ponta do RPVC

Diâmetro (mm)	Ø Mínimo	Ø Máximo
100	115,2	119
150	167,1	171
200	219	223
250	270,9	275
300	322,7	327
350	374,6	379
400	425,5	430
450	476,4	481
500	528,2	533
600	631	636

3.2. Tubos de PRFV

3.2.1. Definição

Os tubos de PRFV (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro) apresentam estrutura monolítica constituída com *liner* termofixo em fibra de vidro, que recebe o reforço de fibras de vidro envolvidas com resina poliéster, que confere ao produto final, baixo peso, e elevada resistência mecânica.

3.2.2. Vantagens

- Leveza, fácil instalação;
- Pode ser oferecido em barras de 12 metros (dificuldade de manuseio e instalação X Menor custo de aquisição);
- Com o aumento da classe de pressão não altera o diâmetro interno.

3.2.3. Desvantagens

- Limitação de temperatura (os fabricantes admitem temperatura máxima de 95°C, mas deve ser utilizado fator de segurança com relação a esse limite). A principal desvantagem do PRFV é o custo mais elevados comparados aos materiais plásticos.

3.2.4. Normas aplicáveis

- AWWA C 950 – Standard for Fiberglass Pressure Pipe.
- Manual M-45 – Fiberglass Pipe Design.
- NBR 15536-1 – Sistemas para adução de água, coletores tronco, emissários de esgoto sanitário e águas pluviais – Tubos e conexões de plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV) – Parte 1: Tubos e juntas para adução de água.
- NBR 15536-4 – Sistemas para adução de água, coletores troncos, emissários de esgoto sanitário e águas pluviais – Tubos e conexões de plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV) – Parte 4: Anéis de borracha.
- NBR 7318 – Elastômetro vulcanizado para uso em veículos automotores – Determinação de dureza.
- NBR 6565 – Elastômetro vulcanizado – Determinação de envelhecimento acelerado em estufa.
- NBR 7588 – Anéis de borracha para juntas de tubos de ferro fundido centrifugado – Ensaios.

3.2.5. Tipos de Resina

Antes de se determinar o tipo de resina, é necessário verificar a temperatura de operação do sistema, respeitando as especificações da Tabela 26.

Tabela 26 - HDT para barreiras de corrosão x Temperatura de trabalho

Temperatura de Trabalho	HDT	Orto-Tereftálica	Isoftálica	Éster-Vinílica
≤ 60°C	≥ 70°C	X	X	X
≤ 80°C	≥ 90°C		X	X
≤ 95°C	≥ 105°C			X
≤ 105°C	≥ 115°C			X*

* Deve ser consultado fabricante de resina para temperaturas acima de 95°C.

3.2.6. Ensaios

Os ensaios para avaliação do desempenho dos tubos de PRFV estão divididos nos seguintes grupos:

- Ensaios de qualificação de produto;
- Ensaios de monitoramento de produto.

Tabela 27 - Resumo dos ensaios

Tipo		Propriedade		Amostragem	Norma	Frequência	Ensaio
Monitoramento de Produto	Ensaios Destrutivos	Tração Axial		Tabela 3	NBR 15536 ou AWWA C 950	A cada lote	Item 7.1
		Rigidez					Item 7.2
		Tração Circunferencial					Item 7.3.1a e 7.3.1b
		Estanqueidade do tubo					Item 7.4
	Ensaios Não destrutivos	Visual		100%		-	Item 7.5
		Dimensional	Diâmetro Externo	Tabela 3		A cada lote	Item 7.6
			Comprimento				
			Espessura				
Ovalização							
Qualificação de Produto		Desempenho da Junta Elástica		Uma amostra		Uma vez por projeto	Item 7.7
		Compressão axial					Item 7.8

3.2.6.1. Ensaios de Qualificação do Produto

Os ensaios de qualificação de produto são:

a) Desempenho da Junta Elástica

Ensaio para avaliar o sistema de união utilizado em tubo, com a capacidade de suportar tensões internas de ação radial.

b) Compressão Axial

É a capacidade de resistência a compressão, no sentido longitudinal do tubo.

3.2.6.2. Ensaios de Monitoramento de Produto

Os ensaios de monitoramento de produto são caracterizados por ensaios destrutivos e não destrutivos. São realizados durante o processo de fabricação para evidenciar o atendimento dos requisitos mecânicos dos tubos e as solicitações de projeto.

3.2.6.2.1. Ensaios destrutivos

a) Tração Axial

Determina a resistência do tubo, no sentido longitudinal e garante o bom funcionamento do material, durante o período de pressurização, provocado pela interferência entre tubo e a camada de solo da envoltória.

b) Rigidez

É a capacidade de o tubo resistir radialmente a cargas externas, provocadas por tráfego de veículos, como máquinas e caminhões.

c) Tração Circunferencial

É a capacidade do tubo de resistir ao esforço radial provocado pela pressão interna de operação.

d) Estanqueidade do Tubo

Verifica a estanqueidade do corpo do tubo, quando submetido à pressão hidrostática interna (2x pressão nominal por 30 segundos).

3.2.6.2.2. Ensaios não destrutivos

a) Inspeção Visual

Verificar ausência de defeitos como ressaltos, rebarbas, delaminações, bolhas, incrustações, fissuras, trincas, cavidades, furos ou áreas/pontos secos de resina.

b) Dimensional

Verificação de diâmetro externo do tubo, comprimento, espessura de parede e ovalização.

3.2.7. Plano de amostragem para ensaios

O NQA utilizado para análise deve ser de 6,5, conforme apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 - Plano de Amostragem - NQA

Código de amostras		Sequência	Tamanho da amostra	Acumulado	NQA																											
					0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000							
					Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re				
A	1*	2	2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
B	2*	2	4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
C	1*	3	3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	3	6	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
D	1*	5	5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	5	10	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
E	1*	8	8	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	8	16	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
F	1*	13	13	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	13	26	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
G	1*	20	20	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	20	40	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
H	1*	32	32	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	32	64	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
J	1*	50	50	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	50	100	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
K	1*	80	80	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	80	160	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
L	1*	125	125	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	125	250	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
M	1*	200	200	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	200	400	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
N	1*	315	315	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	315	630	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
P	1*	500	500	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	500	1000	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
Q	1*	800	800	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	800	1600	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
R	1*	1250	1250	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							
	2*	1250	2500	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→							

Fonte: NBR 5426/1985

A amostragem deve seguir a Tabela 29:

Tabela 29 - Codificação de amostragem

Tamanho do lote	Ensaio Destrutivo	Ensaio não destrutivo
2 a 8	A	A
9 a 15	A	B
16 a 25	B	C
26 a 50	B	D
51 a 90	C	E
91 a 150	C	F
151 a 280	D	G
281 a 500	D	H
501 a 1200	E	J
1201 a 3200	E	K
3201 a 10000	F	L
10001 a 35000	F	M
35001 a 150000	G	N
150001 a 500000	G	P
Acima de 500001	H	Q

3.2.8. Procedimentos para realização dos ensaios

3.2.8.1. Tensão Axial

- a) **Procedimento:** Devem ser ensaiados 5 (cinco) corpos de prova, com as dimensões conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 - Dimensões de corpos de prova

Referência	Dimensões (mm)
<i>l</i>	300 ± 15
<i>lg</i>	100 ≤ <i>l_o</i> ≤ 150
<i>b</i>	<i>b</i> = 18±2 para DN ≤ 150
	<i>b</i> = 40±2 para DN >150

- Medir e registrar as larguras das amostras;
- Posicionar o corpo de prova nas garras do equipamento ensaio universal;
- Iniciar o ensaio, com velocidade de 1mm/min;
- Registrar o máximo carregamento durante o ensaio;
- Calcular a tensão axial através da seguinte expressão:

$$TA = F / bg$$

Onde:

TA = É a tensão axial de ruptura expressa em N/mm;

F = Carregamento máximo expresso em Newtons (N)

bg = É a largura do corpo de prova expressa em milímetros (mm)

b) Expressão dos Resultados: A tensão axial é expressa em N/mm.

c) Critério de Aceitação: A tensão axial deve ser igual ou superior aos valores especificados nas Tabelas 31 e 32.

Tabela 31 - Tensão Axial - NBR 15.536

DN (mm)	Classe de Pressão (Mpa)								
	≤0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,2
100	70	75	80	80	85	90	100	110	125
150	80	85	95	100	105	110	120	130	145
200	85	95	105	110	115	120	130	140	155
250	90	105	115	125	130	135	150	165	190
300	95	115	130	140	145	150	170	190	220
350	100	125	140	155	160	170	190	215	250
400	105	130	145	160	170	185	210	240	285
450	110	140	160	175	185	205	230	265	315
500	115	150	170	190	200	220	250	290	345
600	125	165	195	220	235	255	295	345	415
700	135	180	215	250	265	290	340	395	475
800	150	200	240	280	295	325	380	450	545
900	165	215	265	310	325	355	425	505	620
1000	185	230	285	340	360	390	465	555	685
1200	205	260	320	380	410	460	-	-	-

Fonte: NBR 15.536

Tabela 32 - Tensão Axial - AWWA C 950

DN (mm)	Classe de Pressão – N/mm								
	≤0,345	0,689	1,034	1,379	1,724	2,069	2,414	2,759	3,103
100	63	63	63	63	63	63	64	70	79
150	63	63	63	63	71	82	92	105	118
200	102	102	102	102	102	109	123	140	158
250	102	102	102	102	114	137	153	175	197
300	102	102	102	109	137	164	184	210	236
350	102	102	107	127	159	191	215	245	276
400	102	102	122	146	182	219	245	280	315
450	102	102	137	164	205	246	276	315	355
500	102	102	152	182	228	273	306	350	394
600	102	122	183	219	273	315	368	420	473
700	102	137	206	246	296	355	414	473	532
900	120	183	274	315	394	473	552	630	709
1000	130	198	297	328	410	492	574	656	738
1100	140	213	320	353	441	530	618	706	794
1200	160	244	366	403	504	605	706	807	908

Fonte: AWWA C 950

A Figura 6 apresenta o dimensional para o corpo de prova.

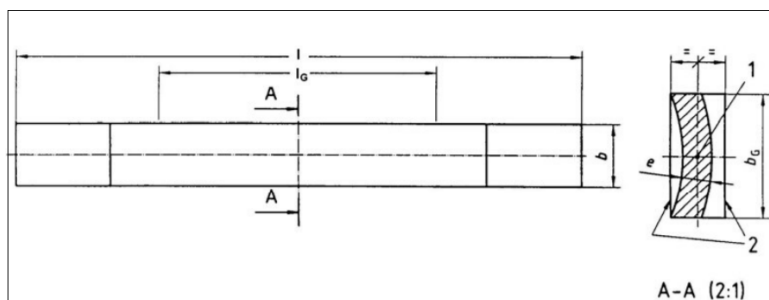


Figura 6 - Dimensional para corpo de prova

3.2.8.2. Rigidez

a) Procedimento:

- Com auxílio de uma prensa de pratos rígidos e paralelos, com velocidade controlada e uma célula de carga com resolução mínima de 1N, o inspetor deve:
- Seccionar 300mm do tubo, livre de ponto ou bolsa, com tolerância de $\pm 5\text{mm}$;
- O comprimento real da amostra deve ser registrado;
- Calcular o diâmetro médio da amostra. Para este cálculo, utilizar o diâmetro externo do item A3, menor a espessura de parede total do item A1;
- Posicionar a amostra abaixo dos pratos paralelos;
- Comprimir o corpo de prova com uma velocidade de $12,5\text{mm/m} \pm 0,5$, até a deformação diametral de 5% do diâmetro médio;
- Calcular a rigidez através da seguinte fórmula:

$$R = 0,02 * (F/L) / A_y$$

Onde:

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

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

L é o comprimento do corpo de prova, expresso em metros (m);

A_y é a deformação diametral em metros (m).

- Após calculada a rigidez, devem ser calculados os níveis de deformação A e B através das seguintes fórmulas:

$$A = 194 / (R^{1/3}) (\%)$$

$$B = 324 / (R^{1/3}) (\%)$$

Onde:

R é a rigidez calculada

- A amostra deve ser defletida até o valor calculado no nível A, para a verificação de falhas no liner;

- Aprovada no nível A, a amostra deve ser defletida até o nível B para a verificação de falhas estruturais.

b) Expressão dos Resultados: A rigidez deve ser expressa em N/m^2 , devem ser registrados os valores de deformação A e B e a presença ou não de falhas.

c) Critério de Aceitação:

- A rigidez deve ser igual ou maior a rigidez nominal do tubo, conforme Tabelas 33 e 34;
- Nível A – O corpo de prova não deve apresentar evidências visuais, a olho nu, de fissuras, fendas ou rupturas nas superfícies interna ou externa.
- Nível B - O corpo de prova não deve apresentar evidências visuais, a olho nu, de dano estrutural de parede, tais como: delaminação, fratura ou colapso da parede do tubo. Neste nível, trincas na superfície interna não são consideradas falhas.

Tabela 33 - Rigidez - NBR 15.536

DN (mm)	Classe de Rigidez – N/m^2				
	2.500	3.750	5.000	7.500	10.000
150 a 600			5.000	7.500	10.000
700 a 1200	2.500	3.750	5.000	7.500	10.000

Fonte: NBR 15.536

Tabela 34 - Rigidez - AWWA C 950

DN (mm)	Classe de Rigidez – N/m^2				
	2.500	3.750	5.000	7.500	10.000
100 a 1200	2.500	3.750	5.000	7.500	10.000

Fonte: AWWA C 950

3.2.8.3. Tensão Circunferencial: tracionamento do anel (mét.A)

a) Procedimento:

- Devem ser ensaiados 5 corpos de prova, com as seguintes da Figura 7;
- Realizar a medição da largura do ponto da seção reduzida do corpo-de-prova;
- Montar o anel no dispositivo de fixação do corpo-de-prova ao equipamento de ensaio universal;
- A geratriz onde será localizada a redução de seção deve ser defasada $10 \pm 1^\circ$ da linha de separação do dispositivo de fixação;
- Iniciar o tracionamento, com velocidade de $12,5 \pm 0,5$ mm/min;
- Registrar o máximo carregamento durante o ensaio;
- Calcular a tensão circunferencial através da seguinte fórmula:

$$F = P_b / b$$

Onde:

F = Força circunferencial em kN/m;

P_b = Carregamento máximo em kN;

b = É a largura da seção reduzida em metros.

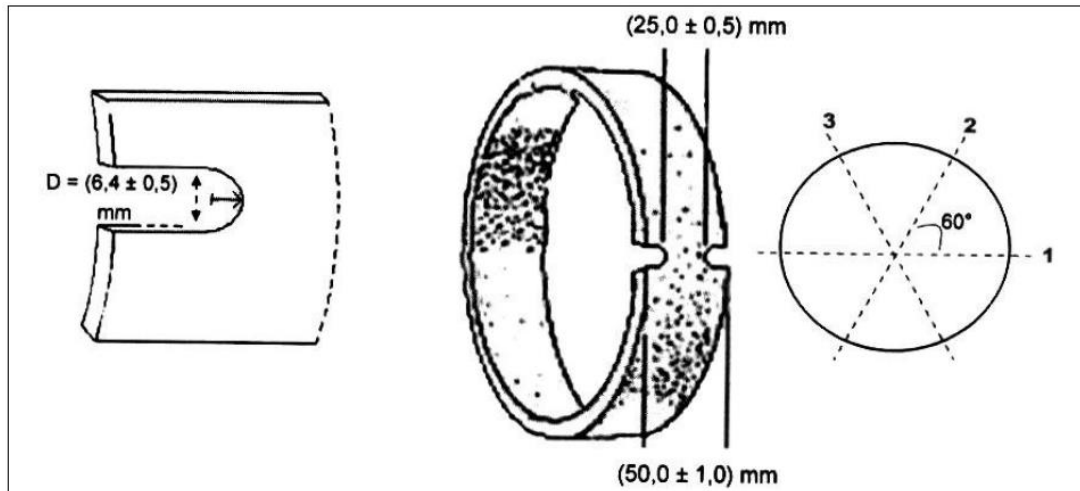


Figura 7 - Dimensões do corpo de prova com redução de seção

b) Expressão dos Resultados: A tensão circunferencial deve ser expressa em kN/m.

c) Critério de Aceitação:

- A tensão circunferencial deve ser igual ou maior a seguinte expressão:

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

Onde:

F = É a força circunferencial mínima requerida em kN/m;

Pb = É a classe de pressão nominal, expressa em kN/m²;

b = É o raio médio do tubo em metros.

3.2.8.4. Tensão Circunferencial: ensaio hidrostático (mét.B)

a) Procedimento:

- O comprimento do corpo de prova, deve ser o mesmo utilizado para o ensaio de estanqueidade;
- O corpo de prova deve ser montado no dispositivo de ensaio;
- Encher com água, eliminando assim todo ar existente em seu interior;
- Aumentar a pressão até a ocorrência da ruptura, medindo com o cronometro, o tempo até a falha;
- O tempo indicado para a ocorrência da ruptura é de 60 a 180 Segundos;
- Registrar a pressão de ruptura;
- Calcular a força circunferencial de ruptura, através da seguinte fórmula:

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

Onde:

F = Força circunferencial expressa em kN/m

P = Pressão de ruptura em mPa;

D = Diâmetro externo em milímetros

b) Expressão dos Resultados: A tensão circunferencial deve ser expressa em kN/m.

c) Critério de Aceitação:

- A tensão circunferencial deve ser igual ou maior a seguinte expressão:

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

Onde:

F = É a força circunferencial mínima requerida em kN/m

P = É a classe de pressão nominal, expressa em kN/m²

r = É o raio médio do tubo em metros

3.2.8.5. Estanqueidade dos tubos

a) Procedimento:

- Os corpos de prova devem ser tubos inteiros de PRFV ou segmentos, conforme Tabela 35:

Tabela 35 - Corpo de prova para estanqueidade e ruptura

Diâmetro nominal (mm)	Comprimento mínimo (mm)
$50 \leq DN \leq 150$	5 x DN e não menor que 300mm
$200 \leq DN \leq 500$	3 x DN e não menor que 780mm
$DN \geq 600$	DN + 1000mm

- O corpo de prova deve ser montado no dispositivo de ensaio;
- Encher com água, eliminando assim todo ar existente no interior do corpo de prova;
- Aplicar pressão hidrostática interna de 2 vezes a classe de pressão do tubo, durante um período mínimo de 30 segundos.

b) Expressão dos Resultados: Anotar o tempo de segundos, a pressão em bar e se o corpo de prova apresentou ou não os desvios apontados no critério de aceitação.

c) Critério de Aceitação: O corpo de prova não deve apresentar rupturas, furos, vazamentos ou exsudações.

3.2.8.6. Inspeção visual

Na Tabela 36 podem-se conferir os critérios visuais para detectar os defeitos mais comuns e quais as características que devem ser observadas.

Tabela 36 - Critérios visuais

Defeito	Descrição
Trinca	Fissura na superfície do laminado
Delaminação	Separação das camadas do laminado
Falta de resina	Laminado com fibra aparente
Abrasão	Desgaste na parede do tubo
Furo	Perfuração na parede do tubo
Ressalto	Saliência irregular no tubo
Descolamento do liner PVC	Desprendimento entre liner PVC e reforço PRFV
Ponto seco de resina	Área pobre em resina de empregação

3.2.8.7. Verificação dimensional

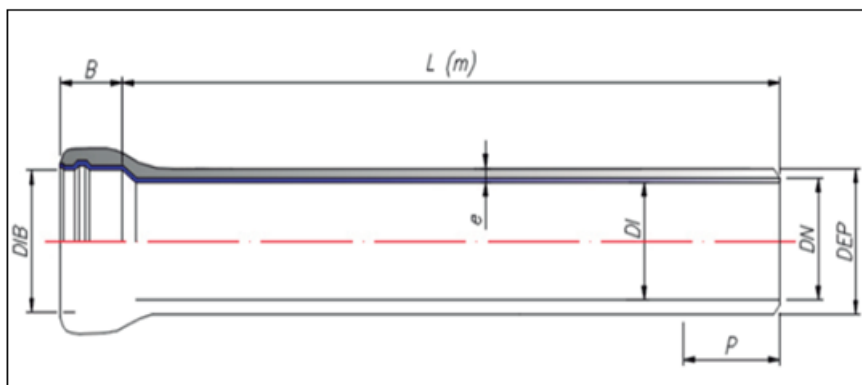


Figura 8 - Esquema para verificação dimensional

3.2.8.7.1. A1 – Verificação da Espessura total de parede (et)

- a) **Procedimento:** Com auxílio de um paquímetro, micrômetro ou ultrassom, realizar uma série de no mínimo oito medições igualmente espaçadas ao redor do tubo ou segmento. As medidas podem ser realizadas em qualquer ponto do tubo, excluindo apenas as bolsas e as pontas ajustadas, pois estas possuem espessuras superiores ao cálculo estrutural do corpo do tubo.
- b) **Expressão dos Resultados:** O resultado deve apresentar a média aritmética das oito medições.

- c) **Critério de Aceitação:** A espessura média de parede do tubo não deve ser menor que a espessura nominal declarada pelo fabricante. A espessura mínima, em qualquer ponto, não deve ser menor que 87,5% da espessura nominal do tubo.

3.2.8.7.2. A2 – Verificação da Espessura do liner (el)

- a) **Procedimento:** Com auxílio de um comparador óptico com escala de ampliação de 7 a 20 vezes, o inspetor deve: a) limpar a extremidade do tubo com água e pano; b) utilizar vaselina, óleo diesel ou outro produto que facilite a leitura; c) efetuar no mínimo três leituras da espessura do *liner*.
- b) **Expressão dos Resultados:** O resultado deve apresentar a média aritmética das medições realizadas.
- c) **Critério de Aceitação:** O *liner* deve apresentar espessura mínima de 2,0mm, conforme Tabela 37, a seguir.

Tabela 37 - Dimensional

DN (mm)	e- LINER Mínimo*	Ovalização Máxima (mm)	DN INTERNO - Bolsa/Luva em mm			DN EXTERNO - Ponta em mm			Comprimento Útil em mm
			Mínimo	Nominal	Máximo	Mínimo	Nominal	Máximo	L
100	2,0	1,5	120	121	122	115,2	118	119	6.000 (± 60)
150	2,0		172	173	174	167,1	170	171	6.000 (± 60)
200	2,0		224	225	226	219	222	223	6.000 (± 60)
250	2,0	3,0	276	277	278	270,9	274	275	6.000 (± 60)
300	2,0		328	329	330	322,7	326	327	6.000 (± 60)
350	2,0		380	381	382	374,6	378	379	6.000 (± 60)
400	2,0		431	432	433	425,5	429	430	6.000 (± 60)
450	2,0		482	483	484	476,4	480	481	6.000 (± 60)
500	2,0		534	535	536	528,2	532	533	6.000 (± 60)
600	2,0		637	638	639	631	635	636	6.000 (± 60)
700	2,0	0,005 x DN	740	741	742	733,7	738	739	6.000 (± 60)
800	2,0		843	844	845	837,5	842	843	6.000 (± 60)
900	2,0		949	950	951	940,2	945	946	6.000 (± 60)
1000	2,0		1050	1051	1052	1043	1048	1049	6.000 (± 60)
1100	2,0		1153	1154	1155				6.000 (± 60)
1200	2,0		1259	1260	1261	1249,5	1255	1256	6.000 (± 60)

3.2.8.7.3. A3 – Verificação do diâmetro externo (D)

- a) **Procedimento:** Com auxílio de uma fita métrica com resolução de no mínimo 1 mm, o inspetor deve: a) limpar a extremidade onde será realizada a medição; b) posicionar a fita métrica ortogonalmente ao eixo do tubo; c) realizar a medição do perímetro.

- Calcular o diâmetro externo pela equação:

$$D = \text{Perímetro} / \pi$$

Onde:

D: Diâmetro externo em mm

Perímetro: Comprimento linear da circunferência em mm

π (Pi): 3,14159265359

- b) Expressão dos Resultados:** O resultado deve apresentar o diâmetro externo da ponteira do tubo, expresso em milímetros.
- c) Critério de Aceitação:** O diâmetro externo encontrado deve estar de acordo com a tabela 37 e suas tolerâncias.

3.2.8.7.4. A4 – Verificação do comprimento útil do tubo

- a) Procedimento:** Com auxílio de uma fita métrica com resolução de 1mm, o inspetor deve: a) posicionar o tubo em uma superfície plana; b) realizar a leitura do comprimento útil “L” (Excluindo a bolsa), conforme figura 9, a seguir.

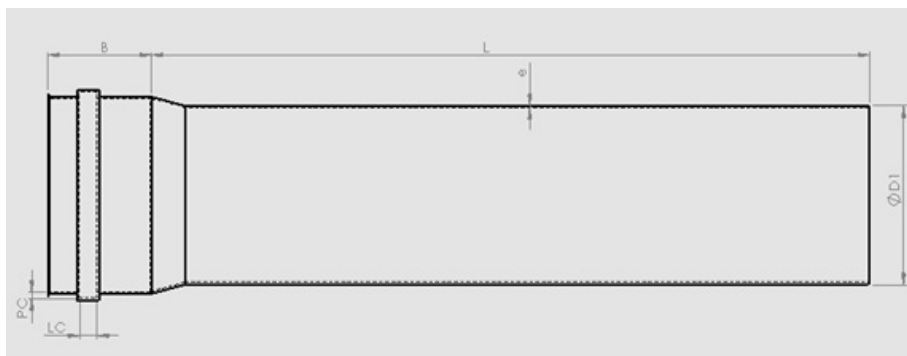


Figura 9 - Esquema para verificação dimensional

- b) Expressão dos Resultados:** O comprimento útil deve ser expresso em milímetros.
- c) Critério de Aceitação:** O comprimento útil deve atender a especificação e suas tolerâncias, conforme apresentado na Tabela 37.

3.2.8.7.5. A5 – Verificação de ovalização

- a) **Procedimento:** Com auxílio de um equipamento capaz de medir o diâmetro externo, com exatidão de 0,25% do DN do tubo, o inspetor deve: a) realizar 4 medições equidistantes; b) determinar o máximo e o mínimo diâmetro externo; c) utilizar a seguinte expressão para calcular a ovalização:

$$\text{Ovalização} = \varnothing \text{ Máximo} - \varnothing \text{ Mínimo}$$

- b) **Expressão dos Resultados:** A ovalização deve ser expressa em milímetros.

- c) **Critério de Aceitação:** A ovalização máxima deve ser igual ou menor a ovalização indicada na tabela 37.

3.2.8.8. Estanqueidade da junta

- a) **Procedimento:** A junta dos tubos de PRFV deve ser submetida às situações 1, 2 e 3 apresentadas na Tabela 38:

Tabela 38 - Desempenho da junta

Situação de Ensaio	Deflexão / carga distribuída	Critério de aceitação
1 – Pressão hidrostática interna	3°: DN ≤ 500 2°: 500 < DN ≤ 900 1°: 900 < DN ≤ 1200	Pressão hidrostática interna de duas vezes a classe de pressão para tubulações pressurizadas ou de 200 kPa para tubulações não pressurizadas, durante 10 min. Nenhum corpo de prova deve apresentar rupturas, furos, vazamentos ou exsudações.
2 – Pressão hidrostática interna	Carga distribuída de 17,5 kN/m no diâmetro	Pressão hidrostática interna de duas vezes a classe de pressão para tubulações pressurizadas ou de 200 kPa para tubulações não pressurizadas, durante 10 min. Nenhum corpo de prova deve apresentar rupturas, furos, vazamentos ou exsudações.
3 – Vácuo parcial interno ou pressão hidrostática externa	Deflexão angular e carga distribuída simultâneas, conforme as situações 1 e 2	Pressão hidrostática externa de 80kPa ou vácuo parcial interno de -80kPa, durante 10min. No caso do vácuo, o máximo de incremento de pressão interior deve ser de 0,7 kPa. No caso de pressão hidrostática externa, a máxima redução de pressão no interior dos corpos de prova deve ser de 0,7 kPa.

• **Etapa 1 – Aplicação da pressão hidrostática interna com deflexão angular da junta:**

- a) Fechar as extremidades;
b) No caso de juntas elásticas, devem ser utilizados dispositivos de fechamento das extremidades que estejam restringidos no deslocamento longitudinal;

- c) Apoiar os corpos de prova sobre os calços;
- d) Ajustar a deflexão angular conforme tabela 38;
- e) Encher o corpo de prova com água, eliminando todo ar;
- f) Aplicar pressão hidrostática interna conforme tabela 38;
- g) Manter a pressão durante 10 minutos;
- h) Avaliar e aprovar material de acordo com o critério de aceitação da tabela 38.
- i) Realizar etapa 2.

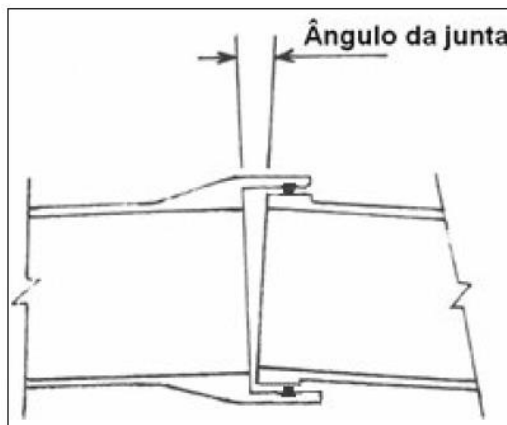


Figura 10 – Esquema de ângulo da junta

• **Etapa 2 – Aplicação da pressão hidrostática interna com carga distribuída no corpo-de-prova**

- a) Ajustar ângulo de deflexão para 0°;
- b) Aplicar carga distribuída conforme tabela 38;
- c) A carga deve ser aplicada uniformemente sobre um arco menor ou igual a 120° ao longo de uma distância longitudinal de 1 diâmetro nominal, ou 300mm, o que for menor, na extremidade imediatamente adjacente à extremidade da bolsa;
- d) Aplicar pressão hidrostática interna conforme tabela 38;
- e) Manter a pressão durante 10 minutos;
- f) Avaliar e aprovar material de acordo com o critério de aceitação da tabela 38;
- g) Realizar etapa 3.

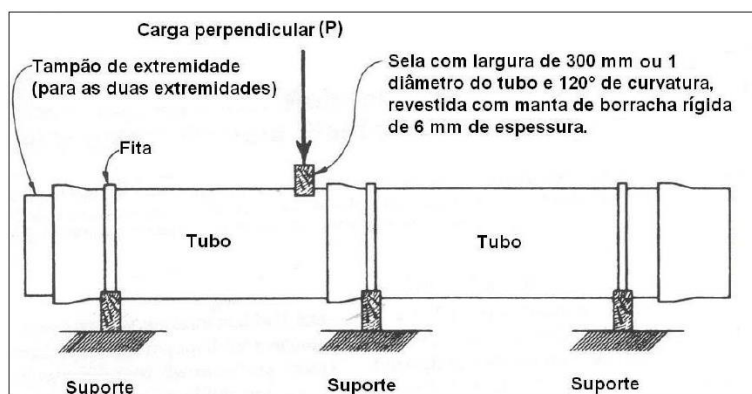


Figura 11 – Esquema de ensaio com aplicação de carga distribuída

- **Etapa 3 – Aplicação de vácuo parcial interno ou pressão hidrostática externa com deflexão de junta e carga distribuída no corpo**
- a) Ajustar a deflexão e a carga no corpo-de-prova, de acordo com a tabela 38 (Etapa1 + Etapa2);
- b) No caso de vácuo, diminuir uniformemente a pressão interna do corpo de prova, até o valor especificado na tabela 38;
- c) Isolar a fonte de vácuo do corpo de prova e verificar a variação da pressão no vacuômetro após 10min;
- d) Aprovar junta de acordo com o critério de aceitação da tabela 38;
- e) No caso de pressurização externa, aumentar uniformemente a pressão externa, até o valor especificado na tabela 38;
- f) Verificar a variação da pressão no manômetro após 10min;
- g) Aprovar junta de acordo com o critério de aceitação da tabela 38.

3.2.8.9. Compressão Axial

a) Procedimento:

- Devem ser ensaiados 5 corpos-de-prova conforme dimensão abaixo;
- Os corpos de prova devem ser um prisma com seção transversal de 12,8 ($\pm 0,1$) mm de largura;
- O comprimento deve ser de 11 a 16 vezes a espessura de parede da amostra;
- Registrar as dimensões de largura, comprimento e espessura do corpo de prova;
- Posicionar o corpo de prova entre os pratos da máquina de ensaio universal;
- Iniciar a compressão com velocidade de 1,3 ($\pm 0,3$) mm/min;
- Registrar a máxima carga de compressão;
- Calcular a compressão através da seguinte equação:

$$F_c = Cr/L_{min};$$

Onde:

F_c = É a força de compressão, em kN/m;

Cr = É a carga máxima de compressão, em N;

L_{min} = É a largura mínima da seção transversal (L), milímetros;

- b) **Expressão dos Resultados:** O resultado da compressão deve ser expresso em kN/m e devem atender a especificação mínima, conforme Tabela 39.
- c) **Critério de Aceitação:** O corpo de prova não deve apresentar rupturas, furos, vazamentos ou exsudações.

Tabela 39 - Compressão Axial mínima

Diâmetro Nominal	Compressão axial mínima (kN/m)
50-150	63
200-800	102
900	122
1.000	137
1.200	161

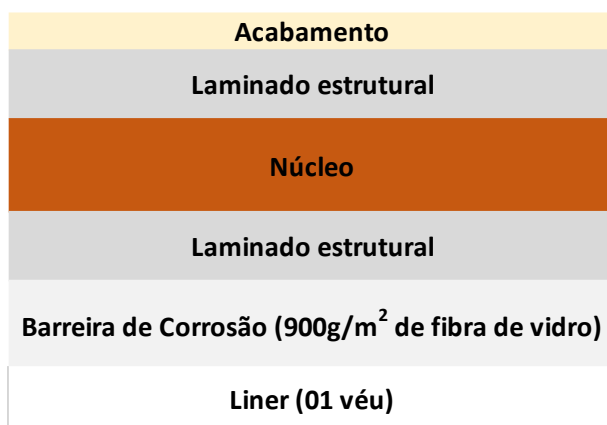


Figura 12 – Desenho esquemático da laminação

3.3. Tubos de PEAD

3.3.1. Definição

São tubos fabricados em PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e classificados como flexíveis e aplicáveis também para sistema de condução de vinhaça e/ou águas residuárias.



Figura 13 - Instalação de tubos em PEAD

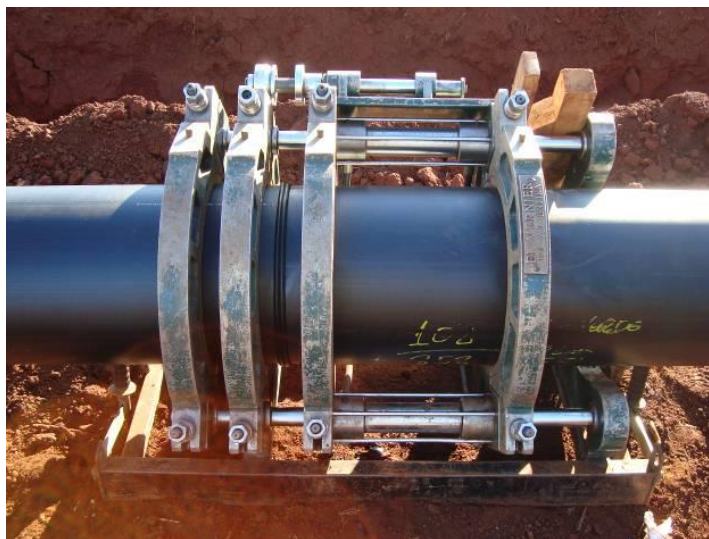


Figura 14 - Junção via processo de soldagem

3.3.2. Vantagens

- Resistência à abrasão;
- Leveza, facilidade de manuseio;
- Material atóxico;
- Flexibilidade, permitindo raio de curvatura até 30 vezes o seu diâmetro externo;
- Vida útil de 50 anos para pressão de projeto a uma temperatura de 20 °C;
- Como as junções/soldagem são feitas fora da vala, permite que a largura da vala seja o suficiente somente para acomodar o tubo e o material de reaterro;
- Não sofre ataque de produtos químicos encontrados na vinhaça e/ou águas residuárias;
- Possui alta resistência mecânica, não quebra quando submetido a fortes impactos;
- Não ocorrência de vazamentos em junções quando soldadas e redução na utilização de uso de junções móveis;
- Limite de temperatura de -30 °C à 70 °C;

3.3.3. Desvantagens

- Dimensional nominal é dado pelo diâmetro externo, com isso o diâmetro interno é bem inferior ao diâmetro comercial;
- Tempo de soldagem elevado para grandes diâmetros (acima de 200 mm);
- Requer mão-de-obra especializada para instalação;
- Custo aumenta significativamente de acordo com classe de pressão.

3.3.4. Curva de regressão do PEAD

Para o dimensionamento de tubos em PEAD é utilizado a curva de regressão mínima tensão circunferencial, visando encontrar a tensão mínima e o fator de segurança para seleção da classe de pressão do tubo em PEAD.

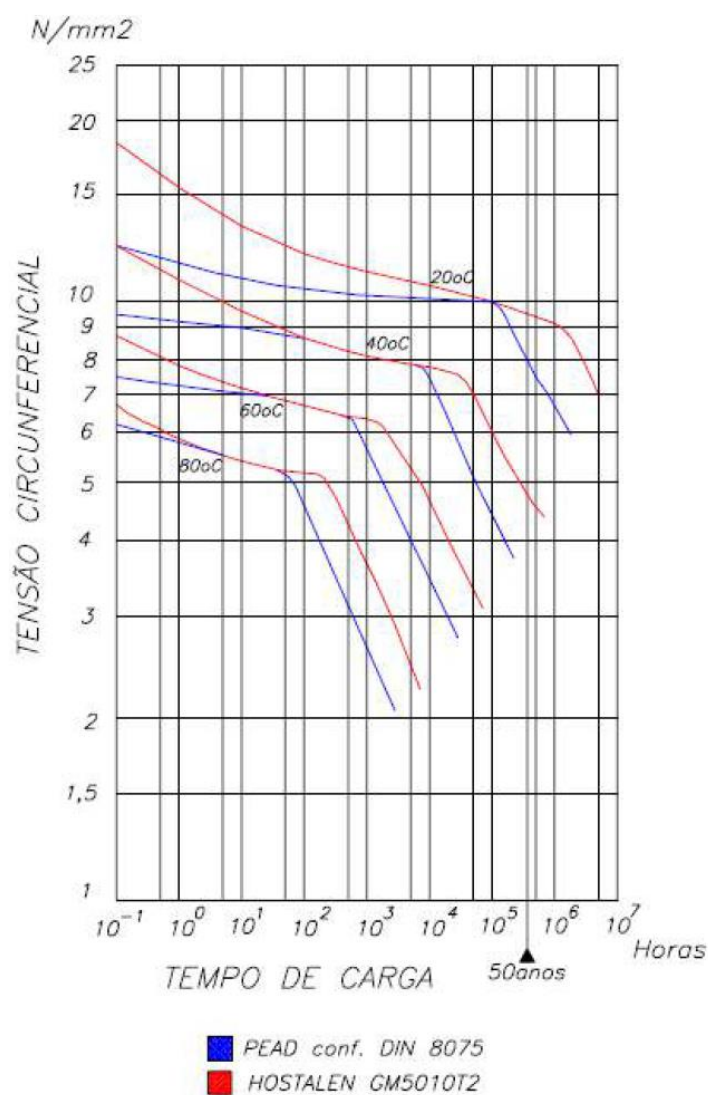


Figura 15 - Curva de regressão para PEAD (Fonte: catalogo Aflon - Informações técnicas)

3.4. Tubo de PVC (linha irrigação)

3.4.1. Definição

São tubos fabricados em PVC (Policloreto de Vinila) na coloração azul e aplicáveis para condução de água em sistemas de irrigação.

3.4.2. Vantagens

- Baixo índice de rugosidade;
- Material leve em relação ao ferro fundido;
- Alta resistência a corrosão;
- Baixo custo;
- Material normatizado (deFofo);
- Facilidade de instalação;
- Duas opções de junções, soldável ou elástica;
- Junção elástica com anel de vedação já integrado na extremidade bolsa "fêmea";
- Durabilidade, pode ser exposto ao sol, possui proteção UV;
- Resistência a produtos químicos adicionados à água para fertirrigação;
- Fácil manutenção corretivas com luvas de correr;
- Compatibilidade dimensional entre fabricantes;
- Extremidade ponta "macho" no mesmo dimensional do "corpo" do tubo;
- Classe de pressão PN 40; PN 60; PN 80; PN 125.

3.4.3. Desvantagens

- Limitação de temperatura: 25°C a 40°C, com decréscimo progressivo da classe de pressão;
- Não existem conexões específicas de PVC;
- Limitado em DN 500 mm;
- Classe de pressão atende pressão de operação até 12,5 kgf/cm²;
- Conexões disponíveis em ferro "deFofo" nos diâmetros maiores.

3.5. Aço Carbono

3.5.1. Definição

São tubos metálicos classificados como ferrosos. Os tubos de aço carbono não são recomendados para aplicação de Vinhaça e/ou Águas Residuárias. Para aplicação em água bruta é importante a verificação da abrasão e corrosão.

3.5.2. Vantagens

- Apresenta menor custo/resistência entre os tubos metálicos;
- Resistência à tração;
- Alta resistência aos impactos;

- Elevado limite elástico;
- Fácil de soldar e conformar;
- Alta resistência mecânica;
- Operação à temperaturas até 370 °C, a partir dessa temperatura começa sofrer redução de resistência mecânica;
- Opção de junções via processo de soldagem, flangeadas ou acoplamentos.

3.5.3. Desvantagens

- Baixa resistência à corrosão;
- Mão de obra especializada para soldagens;
- Necessidade de utilizar uma margem de sobresspessura para corrosão;
- Em instalações enterradas, o contato direto com o solo causa não só a ferrugem como a corrosão por pites penetrante, sendo mais severos em solos úmidos ou ácidos;
- Apresenta uma transição de dúctil para frágil em baixas temperaturas.

3.6. Tubos de PP

3.6.1. Definição

São tubos fabricados em PP (Polipropileno) e classificados como flexíveis, são aplicáveis também para sistema de condução de vinhaça e/ou águas residuárias.

3.6.2. Vantagens

- A principal vantagem do uso de PP está no fato do material ser flexível, que permite um manuseio mais fácil e com maior segurança.

3.6.3. Desvantagens

- Limitação de temperatura (os fabricantes admitem temperatura máxima de 70°C, mas deve ser utilizado fator de segurança com relação a esse limite);
- Observações importantes em relação ao uso de tubos em PP são que com o aumento da classe de pressão também se aumenta o diâmetro interno e que o custo aumenta radicalmente de acordo com a classe de pressão.

3.6.4. Curva de regressão do PP

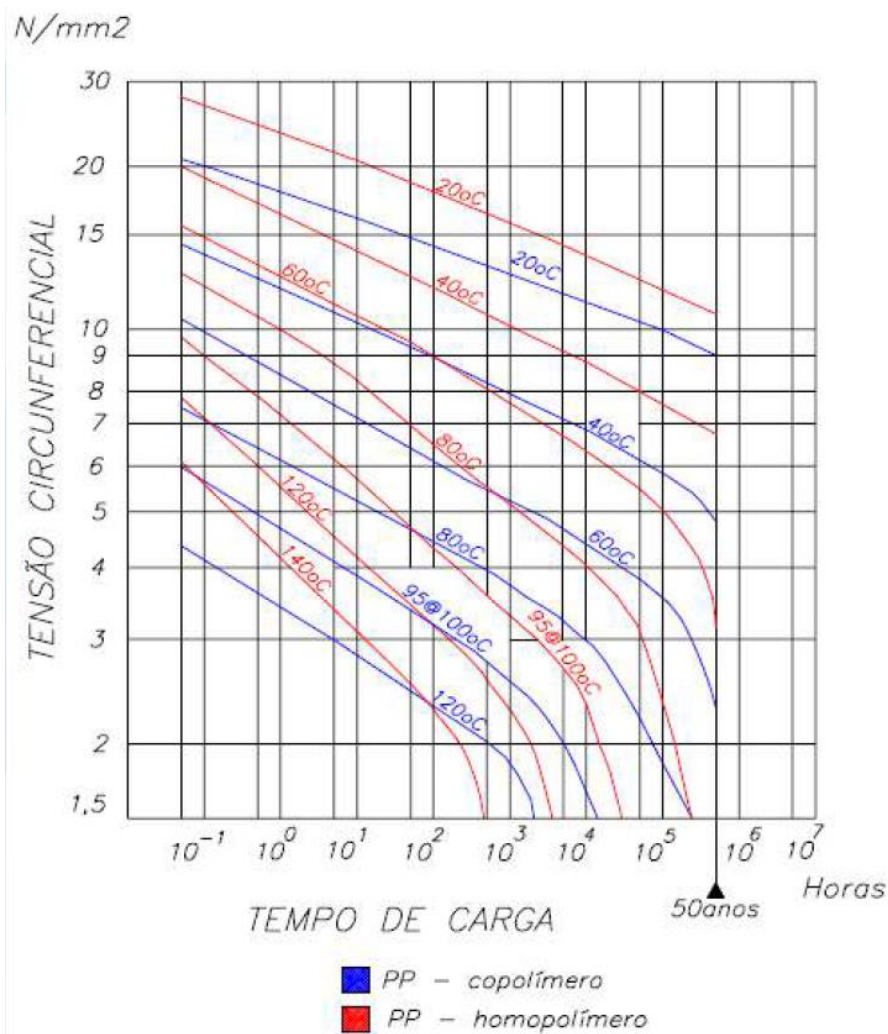


Figura 16 - Curva de regressão do PP (Fonte: catalogo Aflon - Informações técnicas)

3.7. Tubo de Inox

3.7.1. Definição

Recomendado para instalações aéreas. Para aplicações subterrâneas o material precisa de proteção catódica.

3.7.2. Vantagens

- A principal vantagem é a sua resistência mecânica;
- Resiste toda faixa de temperatura em que se encontram os líquidos do processo industrial do setor sucroenergético;

- Fácil de soldar e conformar;
- Alta durabilidade em instalações aéreas;
- Alta resistência aos impactos.

3.7.3. Desvantagens

- A principal desvantagem no uso do Inox em relação a outros materiais plásticos é o seu alto custo;
- Mão de obra especializada para soldagens.

3.8. Tubo de Ferro Fundido

3.8.1. Definição

São tubos metálicos classificados como ferrosos, fabricados pelo processo de fundição, os quais são conhecidos pela expressão FoFo. Os tubos de FoFo não são recomendados para aplicação de Vinhaça e/ou Águas Residuárias. Para aplicação em água bruta é importante a verificação da abrasão e corrosão.

3.8.2. Vantagens

- Apresenta alta resistência mecânica;
- Alta resistência à tração;
- Alta resistência aos impactos;
- Elevado limite elástico;
- Ampla gama de conexões;
- Alta resistência mecânica;
- Junção via extremidade ponta/bolsa, intercambiáveis com tubos plásticos com a mesma junção.

3.8.3. Desvantagens

- Baixa resistência à corrosão;
- Elevado peso para diâmetros maiores, dificultando a montagem;
- Necessidade de utilizar uma margem de sobresspesura para corrosão;
- Em instalações enterradas, o contato direto com o solo causa não só a ferrugem como a corrosão por pites penetrante, sendo mais severos em solos úmidos ou ácidos;
- Apresenta uma transição de dúctil para frágil em baixas temperaturas;

- Outra desvantagem do FoFo em relação a outros materiais plásticos é o seu alto custo.

3.9. Tubo de Aço Carbono Revestido

3.9.1. Definição

São tubos metálicos classificados como ferrosos, os quais são submetidos a algum tipo de revestimento interno e/ou externo, com a finalidade:

- Revestimentos anticorrosivos;
- Revestimentos antiabrasivos.

Os tipos mais comuns de revestimentos para tubulação são galvanização (não indicado para vinhaça), Teflon e Poliamida.

3.9.2. Vantagens

- A principal vantagem em relação ao aço carbono é a sua resistência química e maior vida útil;
- Quando utilizado de forma subterrânea não existe necessidade de proteção catódica;
- Resistência à tração;
- Alta resistência mecânica;
- Resiste toda faixa de temperatura em que se encontram os líquidos do processo industrial do setor sucroenergético.

3.9.3. Desvantagens

- O carbono revestido possui alto custo se comparado aos demais materiais plásticos;
- Não permite soldagem e conformação (corte, soldagem e confecção de conexões);
- Baixa resistência mecânica aos impactos no revestimento;
- Revestimento eleva o custo da tubulação e conexão;
- Manuseio criterioso para evitar danos aos revestimentos.

4. NORMAS, PADRÕES E DOCUMENTOS GERAIS APLICÁVEIS

Na elaboração dos estudos conceitual e engenharia para projetos de irrigação e/ou fertirrigação com vinhaça, deverão ser consultados e considerados, se aplicáveis às normas técnicas citadas abaixo. As normas deverão ser utilizadas em sua última versão e edição, válida.

4.1. Normas aplicáveis – Elétrica

- NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- NBR 14039 - Instalações Elétricas de Média Tensão
- NBR 5419 / 2015 - Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas
- IEC 60079 - Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas
- NBR 60439 - Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão
- IT-18 – Instrução Técnica Iluminação Emergência – Corpo de Bombeiros

4.2. Normas aplicáveis - Mecânica

- NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios
- Testes, Ensaios e Materiais: American Society of Testing and Materials (ASTM)
- AWWA C 950 - Fiberglass Pressure Pipe
- ASME Sec. VIII Div. 1 - Rules for Construction of Pressure Vessels
- ASME Sec. I - Rules for Construction of Boilers
- ASME B31.3 – Process Piping
- ASME B31.1 – Power Piping
- TEMA - Standard of the Tubular Exchanger Manufacturers Association
- API 650 – Welded Tanks for Oil Storage
- API 620 – Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks
- ISA Standards 5.1 – Instrumentation Symbols and Identification
- ISA Standards 5.5 – Graphic Symbols for Process Display

4.3. Normas aplicáveis - Civil

Para projeto de estrutura de Concreto Armado / Metálica:

- NBR 6118 - Projeto de estrutura de concreto armado
- NBR 6120 - Cargas para cálculo de estruturas de edificações - Procedimento
- NBR 6122 - Projeto e execução de fundações – Procedimento
- NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento
- NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento
- NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado - Procedimento

- NBR 7191- Execução de desenhos para obras de concreto simples e armado
- NBR 8800 - Projeto e execução de estruturas de aços de edifícios (método dos estados limites)
- NBR-117 - Cálculo e execução de estruturas de aço soldadas
- NBR-262 - Qualificação de processos de soldagem
- NBR-7348 Limpeza de superfícies de aço com jato abrasivo

4.4.Projeto de Arquitetura

- NBR 5626 – Instalação Predial de Água Fria – Procedimento
- NBR 8160 – Instalação Predial de Esgoto Sanitário - Procedimento
- NBR 9649 – Projeto de Redes Coletoras de Esgoto
- NBR 10844 – Instalações Prediais de Águas Pluviais - Procedimento
- NBR 13523 – Central Predial de gás liquefeito de petróleo
- NBR 15526 – Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais – Projeto e Execução
- NBR 9050- Relativa ao atendimento de pessoas portadoras de necessidades especiais; Práticas de Projeto, Construção e Manutenção de Edifícios públicos
- NBR 6492- Representação de Projetos de Arquitetura
- NBR 10067- Princípios Gerais de Representação em Desenho Técnico
- NBR 13532- Elaboração de Projetos de Edificações – Arquitetura, Instruções e Resoluções dos Órgãos do Sistema CREA-CONFEA. – Códigos, Leis, Decretos, Portarias e Normas Federais, Estaduais e Municipais

4.5.Normas do MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

- NR 8 - Edificações
- NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
- NR 11 - Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais
- NR 12 - Máquinas e Equipamentos
- NR 13 - Caldeiras e Vasos de Pressão
- NR 17 - Ergonomia
- NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção
- NR 20 - Líquidos Combustíveis e Inflamáveis
- NR 21 – Trabalho a Céu aberto
- NR 23 - Proteção Contra Incêndios
- NR 24 – Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho
- NR 25 – Resíduos Industriais
- NR 26 - Sinalização de Segurança
- NR 33 - Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados
- NR 35 - Trabalho em altura

5. ENGENHARIA

Nesta etapa devem ser consideradas todas as premissas apresentadas anteriormente:

- Caracterização dos líquidos a serem transportado (água ou efluentes), seus volumes e suas características;
- As características das tubulações que podem ser utilizadas;
- Dados Topográficos;
- Normas Técnicas de projeto e de aplicação.

A partir dessas considerações, é possível partir para as etapas de:

- Dimensionamento hidráulico;
- Sistemas de Proteção;
- Especificações da tubulação e conexões;
- Detalhamento da Estação de Bombeamento.

5.1. Dimensionamento Hidráulico

5.1.1. Adutora por recalque

Esse sistema transporta o líquido de uma cota mais baixa a outra de cota mais elevada através de uma estação elevatória (conjunto motobomba e acessórios). O sistema de adução por recalque é composto por condutos forçados. A adução pode ser feita por recalque simples ou recalque duplo (*booster*).

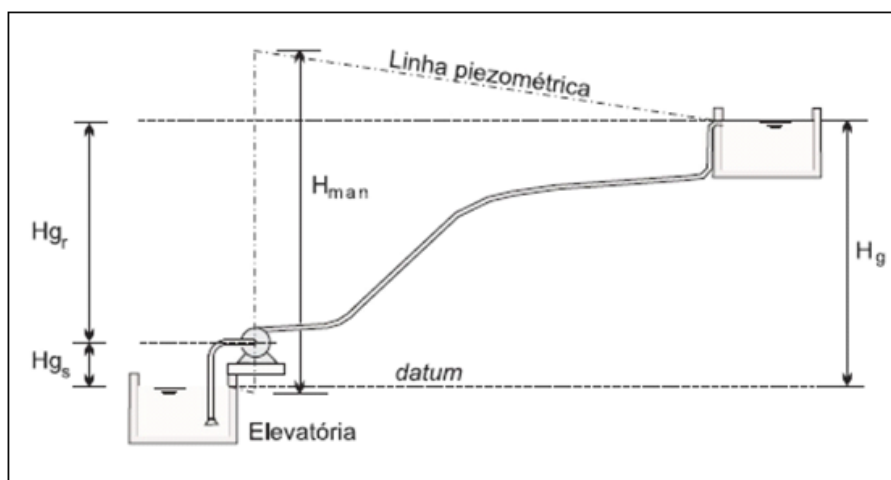


Figura 17 - Esquema de uma Adutora por Recalque

H_g - Desnível Geométrico

H_{gs} - Altura de Sucção

Hgr - Altura de Recalque

Hf - Perda de Carga (identificar no esquema)

Hman - Altura Manométrica Total

Nesse sistema podemos ter:

- Sistema com descarga “boca livre”, onde $Q_{montante} = Q_{jusante}$,
- Sistema com distribuição em Marcha, onde $Q_{montante} \neq Q_{jusante}$,
- Sistema Pressurizado com distribuição em Marcha, onde $Q_{jusante} = 0$.

5.1.2. Adutora por gravidade

São sistemas que transportam a água de uma cota mais elevada para uma cota mais baixa aproveitando o desnível existente (energia hidráulica). A adução por gravidade pode ser feita por conduto livre ou forçado.

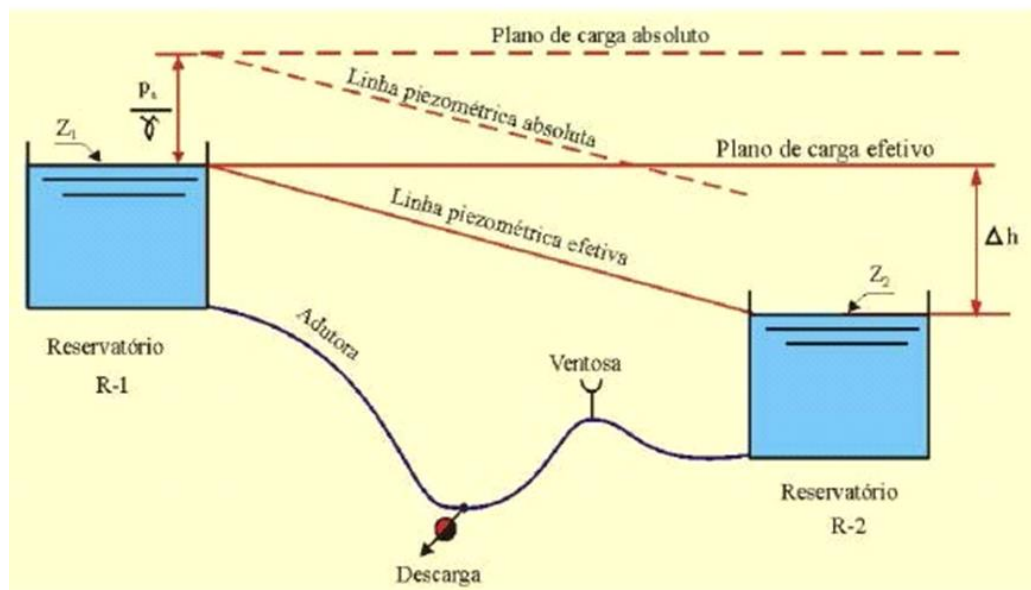


Figura 18 - Esquema de uma Adutora por Gravidade

5.1.3. Diâmetro da tubulação

O diâmetro da tubulação ou área livre de escoamento é fundamental na escolha da tubulação já que, quanto maior a vazão, maior deverá ser o diâmetro interno da tubulação a fim de diminuir-se as velocidades e, conseqüentemente, as perdas de carga.

5.1.4. Velocidade de escoamento do líquido

Em relação ao critério de velocidade adotado para projeto, deve-se seguir como diretriz o manual elaborado pela AWWA, denominado Manual M45 primeira edição. O manual M45 contempla os seguintes critérios de máxima velocidade:

- Velocidade Máxima para água (Vmáx. H₂O)

A formula abaixo apresenta o critério para cálculo da velocidade máxima para o líquido água:

$$V = \frac{3,7392}{\rho^{0,33}}$$

Onde:

V = velocidade do líquido (m/s)

p= densidade do líquido (g/cm³), para água = 1 g/cm³

- Velocidade Máxima para Líquidos corrosivos ou erosivos (Vmáx. C.E)

A formula abaixo apresenta o critério para cálculo da velocidade máxima para líquidos corrosivos e erosivos:

$$V = \frac{1,8696}{\rho^{0,33}}$$

Onde:

V = velocidade do líquido (m/s)

p= densidade do líquido (g/cm³)

5.1.5. Curva Característica da Tubulação ou Curva do sistema:

Equação da Altura Manométrica: $H_m = H_g + h_f^{Tot(1-2)} \rightarrow h_f^{Tot} = f(Q)$

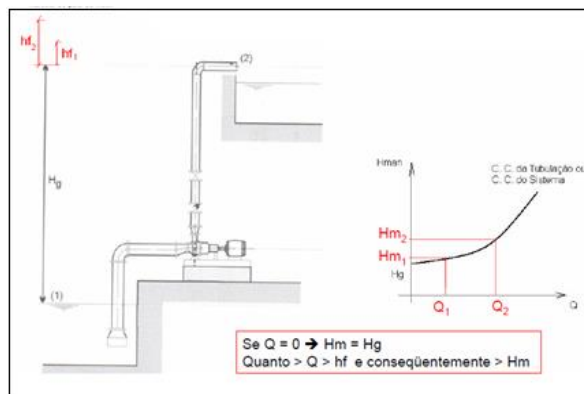


Figura 19 - Traçado da Curva do sistema

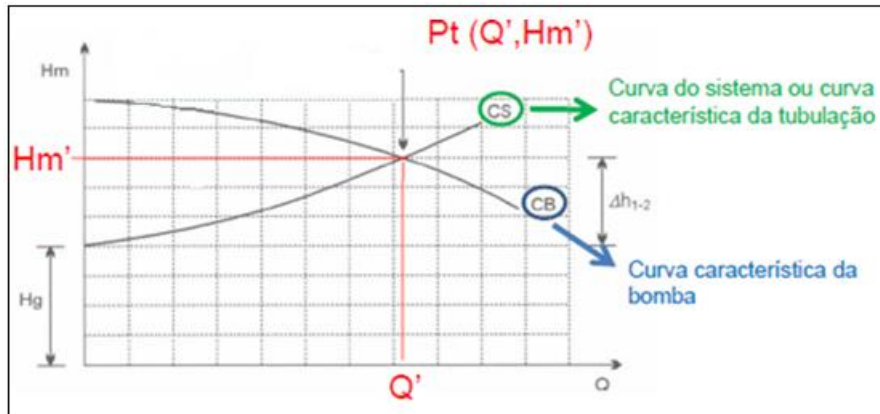


Figura 20 - Ponto de Operação ou Ponto de Trabalho

5.1.6. Perda de Carga

Denomina-se Perda de carga de um sistema, o atrito causado pela resistência da parede interna do tubo quando da passagem do fluido pela mesma. As perdas de carga classificam-se em:

- **Contínuas:** causadas pelo movimento do fluido ao longo da tubulação. É uniforme em qualquer trecho da tubulação (desde que mesmo diâmetro) independentemente da posição do mesmo.
- **Localizadas:** Causadas pelo movimento do fluido nas paredes internas e emendas das conexões e acessórios da instalação, sendo maiores quando localizadas nos pontos de mudança de direção do fluido, essas perdas não são uniformes, mesmo que tubos e conexões tenham o mesmo diâmetro.

Fatores que influenciam as perdas de cargas

- **Natureza do líquido escoado (peso específico e viscosidade):** Os escoamentos reais de um fluido apresentam dissipação de energia mecânica por causa do atrito viscoso devido à aderência do fluido junto às superfícies sólidas.
- **Material empregado na fabricação das tubulações e conexões:** Os tubos e conexões utilizados nesses sistemas podem apresentar acabamento interno (rugosidade e área livre) diferente, razão pela qual apresentam coeficientes de perdas diferentes.

5.1.6.1. Perda de Carga localizada

A perda de carga localizada é conferida pela fórmula:

$$\Delta h_l = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Onde:

Δh_l = perda de carga localizada (m)

K = coeficiente adimensional que depende da singularidade, do número de Reynolds, da rugosidade da parede e, em alguns casos, das condições de escoamento.

V = velocidade (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

Tabela 40 - Valores de “K” para o cálculo das perdas de carga localizadas

Peça	k	Peça	k
Ampliação Gradual	0.30*	Junção	0.40
Bocais	2.75	Medidor Venturi	2.5**
Comporta Aberta	1.00	Redução gradual	0.15
Controlador de vazão	2.50	Saída de canalização	1.00
Cotovelo de 90°C	0.90	Tee, passagem direta	0.60
Cotovelo de 45°C	0.40	Tee, saída de lado	1.30
Crivo	0.75	Tee, saída bilateral	1.80
Curva de 90°C	0.40	Válvula de ângulo aberta	5.00
Curva de 45°C	0.20	Válvula de gaveta aberta	0.20
Curva de 22,5°C	0.10	Válvula borboleta aberta	0.30
Entrada Normal em Canalização	0.50	Válvula de pé	1.75
Entrada de Borda	1.00	Válvula de retenção	2.50
Existência de pequena derivação	0.03	Válvula de globo aberta	10.00

5.1.6.2. Perda de Carga distribuída em condutos forçados

A NBR 12215 - Projeto de adutora de água para abastecimento público, recomenda a equação Universal para avaliação da perda de carga contínua.

Entretanto, equações como a de Hazen-Williams, podem ser utilizadas (desde que dentro dos limites recomendados).

As perdas de carga localizadas devem ser consideradas no cálculo (geralmente são pouco significantes).

Equação Universal para perda de carga contínua:

$$H = f \cdot \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Onde:

L = comprimento da tubulação (m)

D = diâmetro da tubulação (m)

V = velocidade do líquido (m/s)

g = aceleração da gravidade (9,806 m/s²)

f = fator de atrito

Tabela 41 - Valor do Coeficiente "C" para a fórmula de Hazen- Williams

Tubos	Novos	Usados +- 10 anos	Usados +- 20 anos
Aço Corrugado (chapa ondulada)	60	-	-
Aço galvanizado roscado	125	100	-
Aço rebitado, novos	110	90	80
Aço soldado, comum (revestimento betuminoso)	125	110	90
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Chumbo	130	120	120
Cimento –Amianto	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto, bom acabamento	130	-	-
Concreto, acabamento comum	130	120	110
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130	120
Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento	130	120	105
Grés cerâmico, vidrado (manilhas)	110	110	110
Latão	130	130	130
Madeira, em aduelas	120	120	110
Tijolos, condutos bem executados	100	95	90
Vidro	140	-	-
Plástico (PVC)	140	135	130
PVC + PRFV (RPVC)	140	135	130
PRFV	140	135	130
PEAD	140	135	130

Equação de Hazen-Williams para perda de carga contínua

$$J_i = 10,65 * \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} * D^{4,87}}$$

Onde:

Q = vazão máxima diária (m³/s)

D = diâmetro teórico a ser calculada (m)

J_i = perda de carga unitária ideal (m/m)

C = coeficiente de rugosidade (adimensional que é função do material da tubulação)

Portanto:

$$Q = 0,2785 * C * D^{2,63} * J^{0,54}$$

Onde:

Q = vazão (m^3/s)

C = coeficiente de Hazen-Williams

D = diâmetro interno da tubulação (m)

J = perda de carga unitária (m/m)

5.1.7. Diâmetro da tubulação

O diâmetro da tubulação ou área livre de escoamento é fundamental na escolha da tubulação já que, quanto maior a vazão, maior deverá ser o diâmetro interno da tubulação a fim de diminuir-se as velocidades e, conseqüentemente, as perdas de carga.

5.1.8. Comprimento da tubulação e quantidade de conexões e acessórios

Quanto maior o comprimento e o número de conexões, maior será a perda de carga proporcional do sistema. Portanto, o uso em excesso de conexões e acessórios causará maiores perdas, principalmente em tubulações não muito extensas.

5.1.9. Características técnicas da tubulação

Para a especificação das adutoras, as características dos materiais deverão ser levadas em consideração para escolha:

- Alteração da rugosidade com o tempo (incrustação, etc.);
- Estanqueidade;
- Resistência química e mecânica;
- Resistência a pressão (estática, dinâmica) - Classe de Pressão;
- Rigidez - Resistência a Deformação;
- Economia (custo da tubulação, instalação, aspectos construtivos, necessidade de proteção à corrosão, manutenção).

5.1.10. Regime de escoamento do fluido

O regime de escoamento do fluido é a forma como ele desloca-se no interior da tubulação do sistema, a qual determinará sua velocidade, em função do atrito gerado. No regime de escoamento laminar, os filetes líquidos (moléculas do fluido agrupadas umas às outras) são paralelos entre si, sendo que suas velocidades são invariáveis em direção e grandeza, em todos os pontos. O regime laminar é caracterizado quando o nº de Reynolds (Re) for inferior a 2000.

5.2. Sistemas de Proteção

Os projetos de adutoras devem dimensionar a capacidade de vazão e pressão para atender a uma demanda, e prever a resistência necessária para garantir a estabilidade da instalação. Os esforços não deverão ultrapassar as resistências estruturais, mantendo-se um coeficiente de segurança que garanta a estabilidade, mesmo nos casos de falhas operacionais.

Nesses projetos, deve-se proceder à simulação hidráulica, tanto para o regime permanente quanto para o regime transitório. Na fase operacional, haverá situações transitórias ocasionadas por manobras intencionais ou falhas não previstas, que provocarão mudanças do regime permanente para o regime transitório. Dependendo da intensidade do transitório hidráulico, haverá a necessidade de instalar dispositivos de proteção de redes.

Portanto, nos projetos de instalações hidráulicas, na primeira fase, são consideradas apenas as condições do regime permanente, vazão e pressão permanecem constantes ao longo do tempo, bem como os consumos e as variações nos níveis dos reservatórios. Na segunda fase, deve-se observar que uma instalação hidráulica é um sistema dinâmico e suas condições de funcionamento determinam suas variáveis ao longo do tempo. Devido a isso, um projeto adequado passa por verificações das respostas temporais em suas variáveis hidráulicas, a fim de evitar situações indesejáveis, tais como: pressões excessivamente altas ou baixas, fluxo inverso, movimento ou vibrações das tubulações. A variação brusca do comportamento dinâmico de uma instalação é denominada de transitório e ocorre por mudanças no regime permanente, tendo diferentes causas: manobras operacionais com válvulas, variações no consumo, variações nos níveis dos reservatórios, partida ou parada de conjunto motobomba e outras causas externas. Sobre algumas situações que provocam os transitórios hidráulicos, os projetistas e operadores podem ter o controle: partida e parada dos conjuntos motobomba e fechamentos e aberturas de válvulas, sobre outras, tais como o corte no fornecimento de energia, rompimento de tubulações e alterações no consumo não se tem controle, nesses casos, surgem as situações transitórias.

5.2.1. Transitórios Hidráulicos

Chama-se transiente ou transitório hidráulico, o regime variado que ocorre durante a passagem de um regime permanente para outro regime permanente. Assim, qualquer alteração no movimento ou paralisação eventual de um elemento do sistema origina-se aos chamados fenômenos transitórios.

Após a ocorrência da perturbação, como o desligamento de uma bomba, o regime permanente presente antes da perturbação é alterado, dando origem a um regime não permanente que posteriormente passará a um novo estado de permanência. Durante o transitório hidráulico, as oscilações de pressão ao longo da tubulação ocorrem de maneira brusca,

provocando ruídos que se assemelham a pancadas. Por isso, o transitório hidráulico também é comumente denominado de Golpe de Aríete.

A NBR-12215 – Projeto de Adutora de Água para Abastecimento público, define Golpe de Aríete como sendo; “Fenômeno de escoamento de um líquido em conduto forçado, em regime variado”.

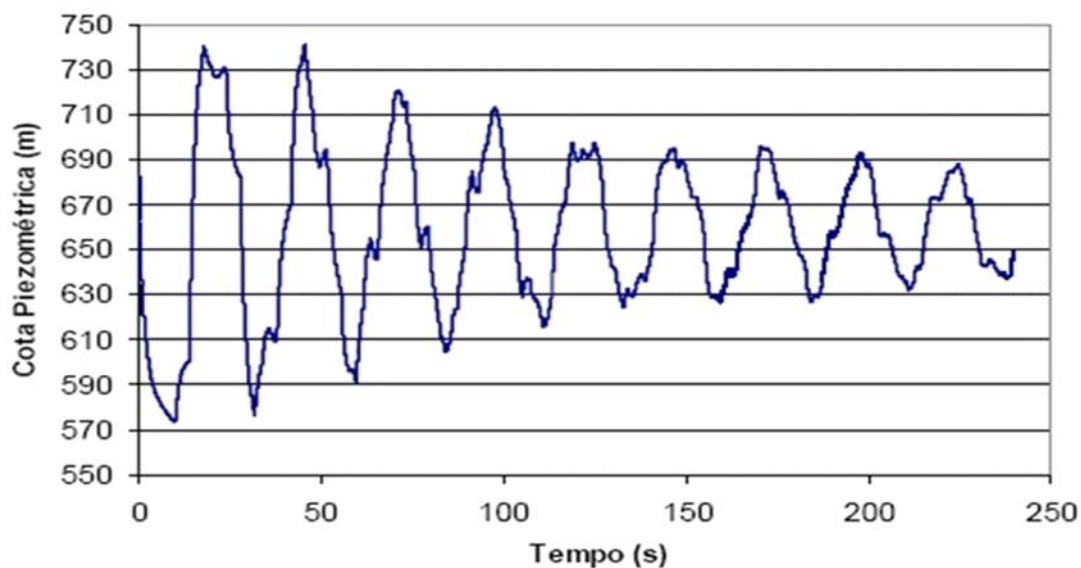


Figura 21 - Representação gráfica do Golpe de Aríete

Portanto, o que provoca picos de pressão em adutoras é a mudança rápida na velocidade ou vazão na tubulação.

$$\Delta H = (c/g) \Delta V$$

Onde:

ΔH = é o aumento da carga de pressão em metros.

c = é a celeridade ou velocidade da onda (“ c ” é cerca de 1000 m/s para tubos de metal).

ΔV = é a variação da velocidade (m/s)

g = é a aceleração da gravidade (9.81m/s²)

As causas mais comuns são:

- Parada repentina da bomba;
- Fechamento rápido de válvula;
- Proteção contra transitórios mal projetados ou mal especificados;
- Fechamento rápido de válvulas de Ar (Ventosas);
- Fechamento rápido de válvula de retenção.

Todas essas ações geram ondas de pressão.

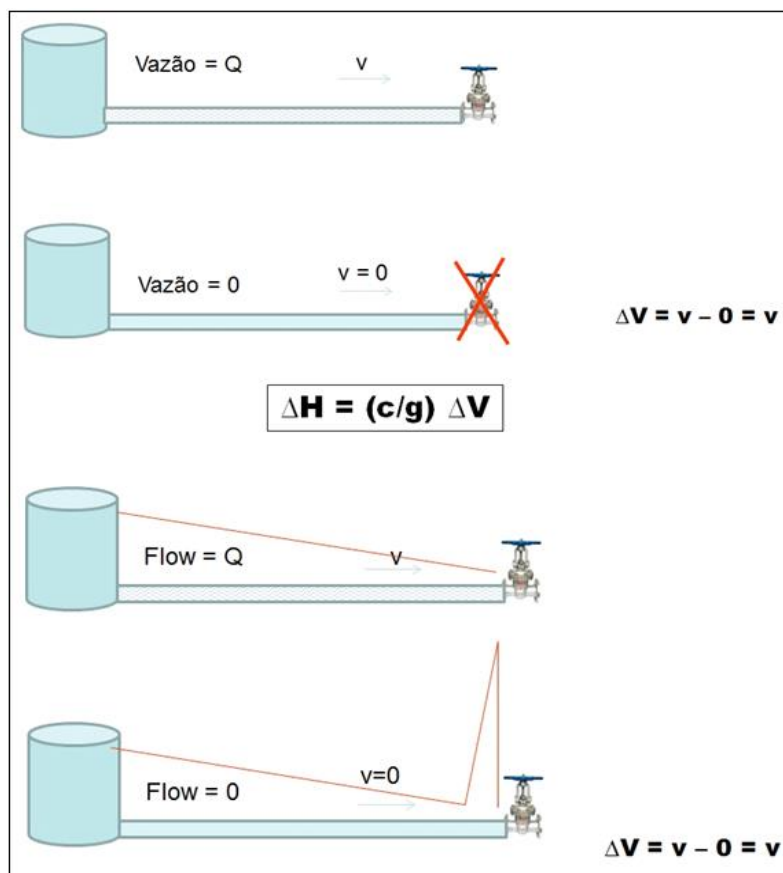


Figura 22 - Exemplo esquemático de Ondas de pressão

Por isso as sobrepressões e subpressões que ocorrem durante o transitório hidráulico podem causar sérios problemas à tubulação e seus equipamentos, se estes não forem dimensionados para suportar tais sobrecargas, comprometendo a segurança e o funcionamento do sistema.

Desse modo, a quantificação das pressões máximas e mínimas é de fundamental interesse para o projetista, a fim de que este possa dimensionar a tubulação e introduzir equipamentos de proteção, cuja finalidade é amortecer as variações de carga, prejudiciais à vida útil da instalação.

A NBR-12215 – Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público, sugere a análise do transitório hidráulico. A análise do transitório hidráulico deve ser feita para:

- Projeto de novas adutoras;
- Instalações existentes onde ocorram ampliações com alteração das pressões ou vazões de regime em qualquer seção da adutora;
- Instalações existentes quando se alteram as condições de operação.

O cálculo do transitório hidráulico deve ser efetuado para as condições normais de operação e para as condições excepcionais.

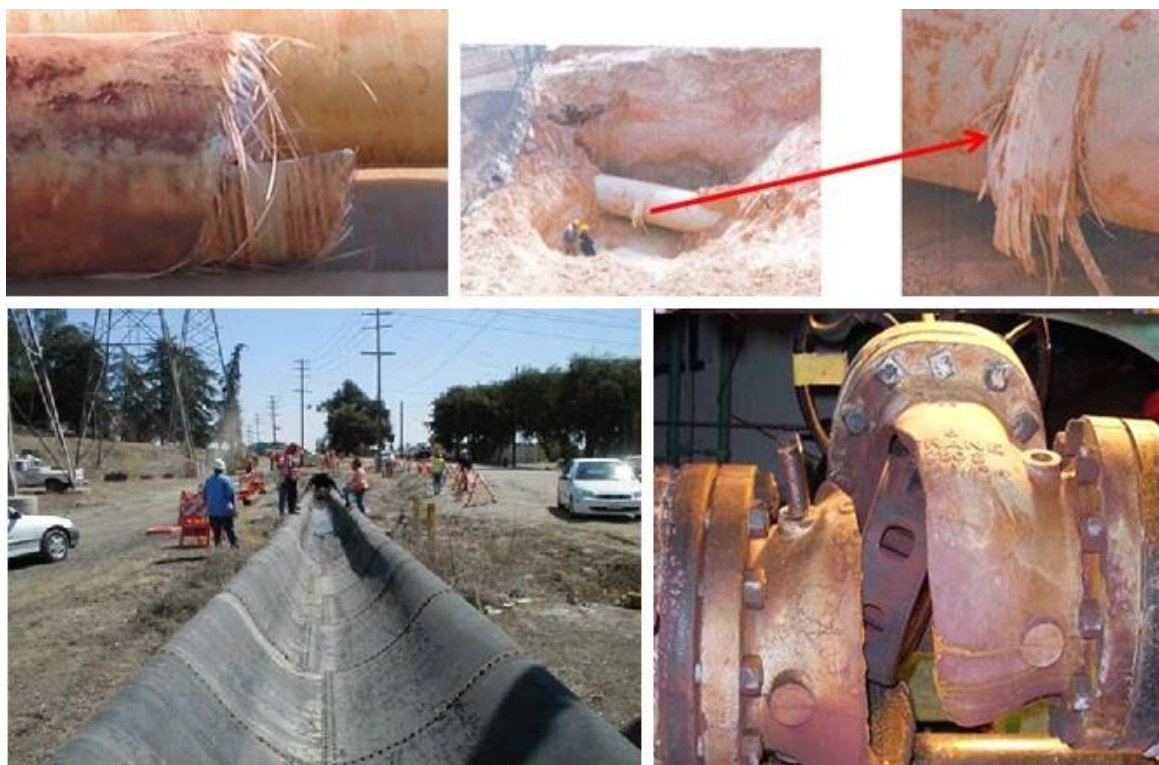


Figura 23 - Danos causados pelo golpe de aríete em tubulações e acessórios sem proteção

São condições normais de operação nas adutoras de recalque:

- Funcionamento adequado dos dispositivos de proteção e controle do golpe de aríete previstos;
- Interrupção súbita do bombeamento;
- Partida do bombeamento;
- Manobras de fechamento e abertura de válvulas de controle e de seccionamento existentes nas adutoras;
- Ocorrência simultânea da interrupção súbita do bombeamento em todas as elevatórias de sistema complexo da adução.

São condições excepcionais nas adutoras de recalque:

- Falha em qualquer dos dispositivos de proteção e controle do golpe de aríete;
- Manobras inadequadas de válvulas, em desacordo com as regras operacionais especificadas em projeto;
- Ruptura da adutora na seção de pressão máxima de regime permanente;
- Fechamento retardado de uma das válvulas de retenção na descarga das bombas até o instante de máxima velocidade reversa, após a interrupção do bombeamento.

São condições normais de operação nas adutoras por gravidade:

- Funcionamento adequado dos dispositivos de proteção e controle do golpe de aríete previstos;
- Manobras de fechamento e abertura de válvulas de controle e de seccionamento existentes nas adutoras.

São condições excepcionais nas adutoras por gravidade:

- Falha em qualquer dos dispositivos de proteção e controle do golpe de aríete;
- Manobras inadequadas de válvulas em desacordo com as regras operacionais especificadas em projeto;
- Ruptura da adutora na seção de pressão máxima de regime permanente.

As pressões máximas devidas ao golpe de aríete, ocorrentes em qualquer seção da adutora, devem ser iguais ou inferiores às pressões admissíveis adotadas para as tubulações, conexões, acessórios e equipamentos previstos em toda a instalação em face dos planos de cargas piezométricas de regime permanente e estáticas.

Nas condições normais de operação, a pressão admissível é definida pela classe de pressão de trabalho das tubulações, válvulas, equipamentos e acessórios.

No dimensionamento de blocos e estruturas de ancoragem de tubulações, conexões e equipamentos devem ser adotados a máxima pressão ocorrente nas condições normais e excepcionais.

As pressões mínimas, devidas ao golpe de aríete, ocorrentes em qualquer seção da adutora, devem ser maiores que a pressão subatmosférica admissível.

A análise do transitório hidráulico pode ser efetuada em até duas etapas, compreendendo o diagnóstico e o dimensionamento.

Na etapa de diagnóstico é feito o estudo do transitório hidráulico, admitindo-se a adutora desprovida de dispositivos de proteção para as condições normais e excepcionais de operação. Estando as pressões máximas e mínimas dentro dos limites de resistência da tubulação é dispensável a instalação de dispositivos de proteção e controle, encerrando-se a análise.

O estudo do transitório hidráulico deve ser feito pelo método das características. Deve-se utilizar software apropriado que permita modelagem de todas as características hidráulicas do sistema, assim como dos dispositivos de proteção a serem estudados.

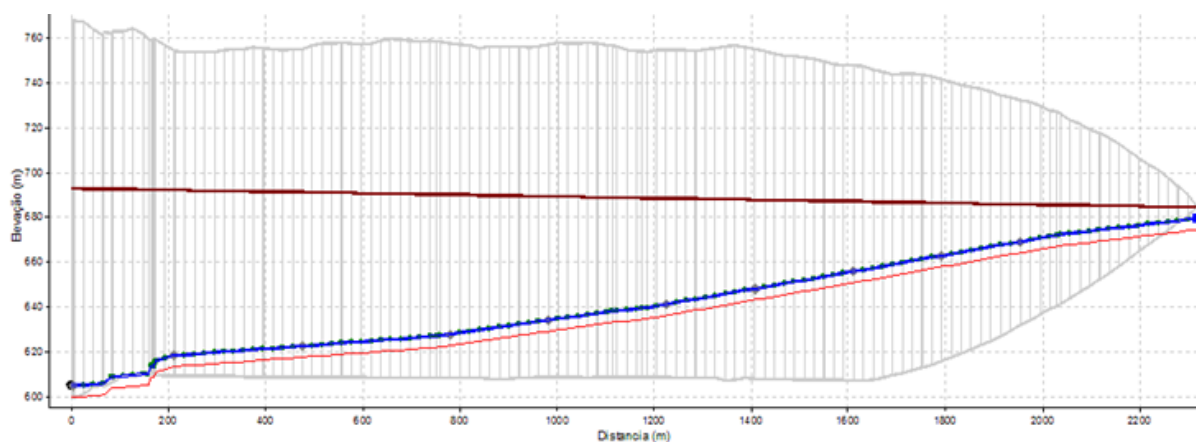


Figura 24 - Gráfico das envoltórias das pressões máxima e mínima sem proteção

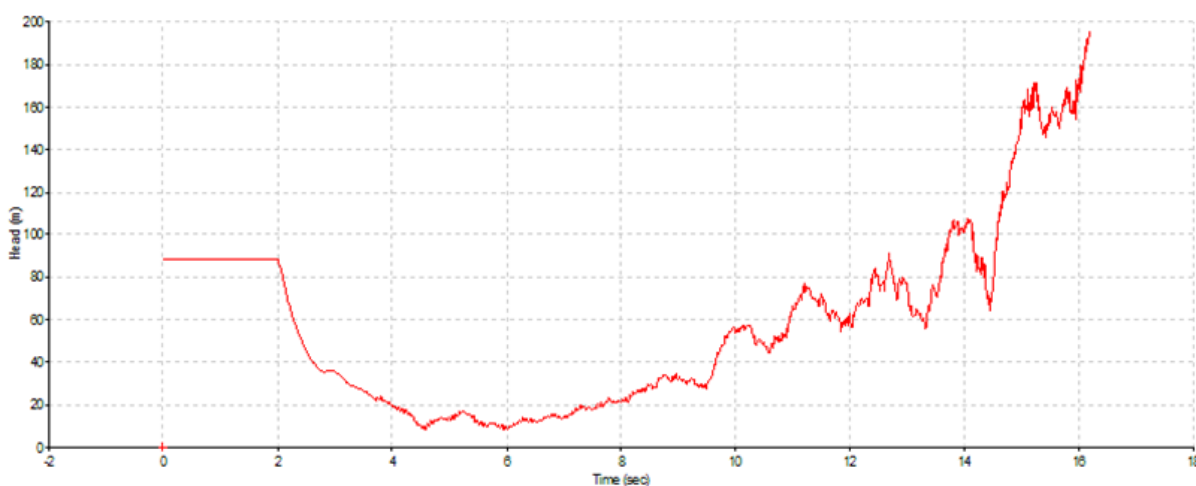


Figura 25 - Oscilações de pressão na retenção da Bomba - sem proteção

Na etapa de dimensionamento, devem ser estudados diversos dispositivos de proteção e controle, selecionando-se aqueles que garantam as condições extremas das pressões máximas e mínimas, pelo menor custo de implantação e operação do sistema.

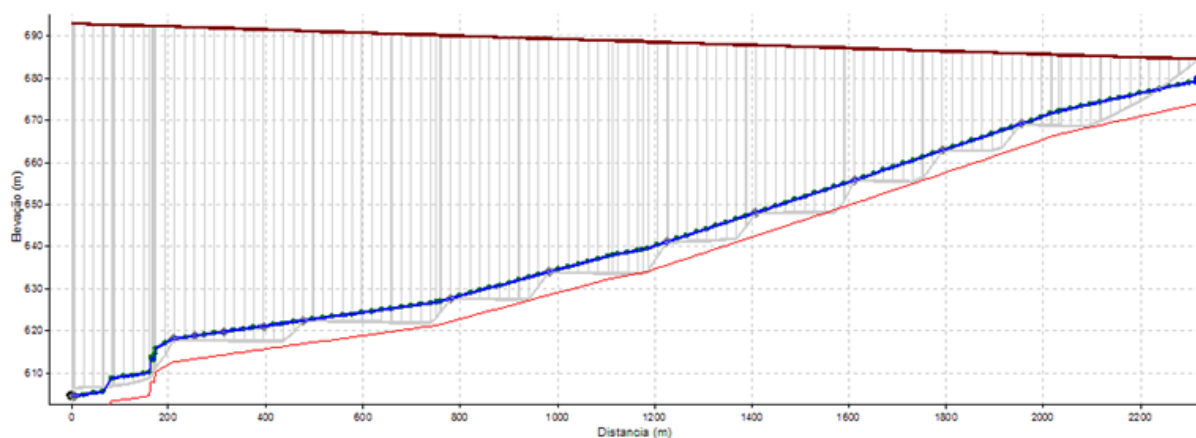


Figura 26 - Gráfico das envoltórias das pressões máxima e mínima com proteção

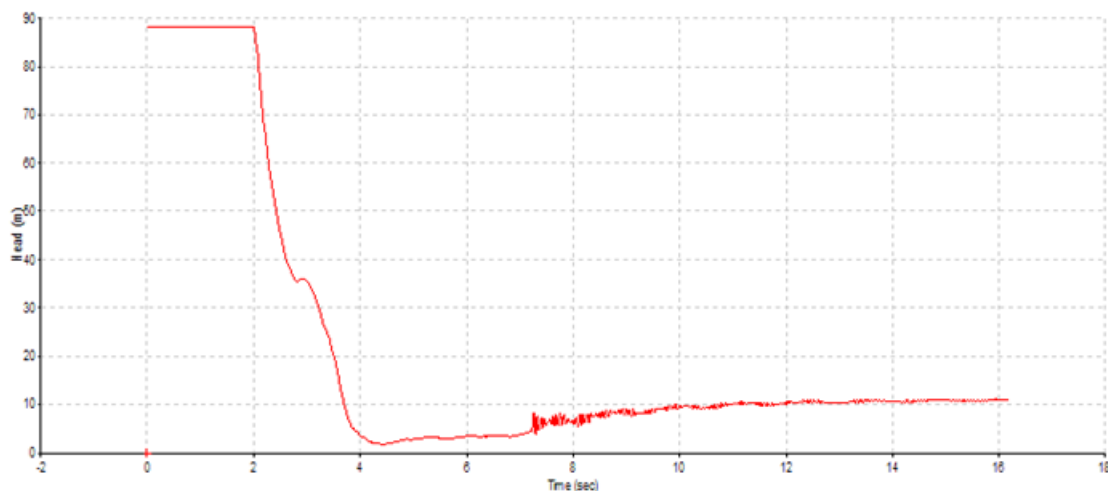


Figura 27 - Oscilações de pressão na retenção da Bomba - com proteção

Na dissertação “Amortecimento da Celeridade de Onda em Conduitos Forçados”, apresentada em 2006 por Pedro Alves Silva à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Hidráulica, estão descritos os dispositivos de proteção mais utilizados em sistemas hidráulicos e suas vantagens e desvantagens. São eles:



Figura 28- Chaminé de Equilíbrio

Vantagens:

- Redução das envoltórias de Pressões Máximas e Mínimas;
- SEM consumo de energia elétrica;
- Baixa Manutenção.

Desvantagens:

- Custo de construção ELEVADO;
- Viabilidade da proximidade da linha piezométrica com o perfil topográfico.



Figura 29 - Tanque Alimentador Unidirecional - TAU

Vantagens:

- Controlar a envoltória de Pressões Mínimas, para evitar colapso na rede;
- SEM consumo de energia elétrica.

Desvantagens:

- Custo ELEVADO de construção;
- Não atua no controle das envoltórias de Pressões Máximas;
- Proteção apenas de trechos específicos da rede.



Figura 30 - Reservatório Hidropneumático - RHO (Balão)

Vantagens:

- Controle das envoltórias de Pressões Máximas e Mínimas;
- Não depende do perfil topográfico da rede.

Desvantagens:

- Custo ELEVADO de construção;
- Consumo de Energia Elétrica;
- Custo de manutenção do dispositivo, dos equipamentos elétricos e do ar comprimido.



Figura 31 - Volante de Inércia para Motobomba

Vantagens:

- As principais vantagens do volante de inércia são o controle da envoltória de mínimas pressões e o custo relativamente baixo.

Desvantagens:

- Não controla a envoltória de pressões máximas;
- Devido ao aumento do momento de inércia do conjunto girante, consome mais energia que o sistema sem o volante de inércia.



Figura 32 - Sistema de Variação de Rotação no conjunto motobomba

Vantagens:

- As vantagens destes dispositivos estão associadas ao controle na taxa de rotação inicial da bomba, causando partidas e paradas lentas que diminuem a possibilidade de Golpes.

Desvantagens:

- Não protege a rede contra transitórios nos casos de corte no fornecimento de energia elétrica, assim como a proteção limitada à variação na rotação do rotor da bomba, não protege contra outros tipos de manobras: rompimento de rede ou operações com válvulas.



Figura 33 - Válvula Antecipadora de Onda

Vantagens:

- Controle da envoltória de Pressões Máximas;
- SEM consumo de energia elétrica;
- Custo relativo: BAIXO.

Desvantagens:

- Não atua no controle da envoltória de Pressões Mínimas, tendo necessidade de estar associada a Ventosas.



Figura 34 - Válvula de AR - Ventosa

Vantagens:

- Simplicidade de aplicação;
- Baixo custo de aquisição;
- Baixo custo de operação e manutenção;
- Muito útil nas fases de enchimento e drenagem da tubulação, permitindo a retirada ou entrada de ar.

Desvantagens:

- Quando bem projetadas, quase não existem desvantagens.

Portanto, como sugerido pela NBR-12215 – Projeto de Adutora de Água para Abastecimento público, na etapa de dimensionamento, devem ser estudados diversos dispositivos de proteção e controle, selecionando-se aqueles que garantam as condições extremas das pressões máximas e mínimas, pelo menor custo de implantação e operação do sistema, e considerando as vantagens e desvantagens dos dispositivos de proteção apresentadas na dissertação de mestrado “Amortecimento da Celeridade de Onda em Conduitos Forçados”, sempre que for tecnicamente possível à solução Válvulas Antecipadoras de Ondas + Válvulas de Ar, devem ser empregada.

Cada projeto dos dispositivos/sistema de proteção deve ser elaborado levando-se em consideração as características técnicas específicas dos modelos de equipamentos selecionados. Portanto, cada projeto de proteção ele é único e específico.

5.2.2. Válvulas de Ar - ventosas

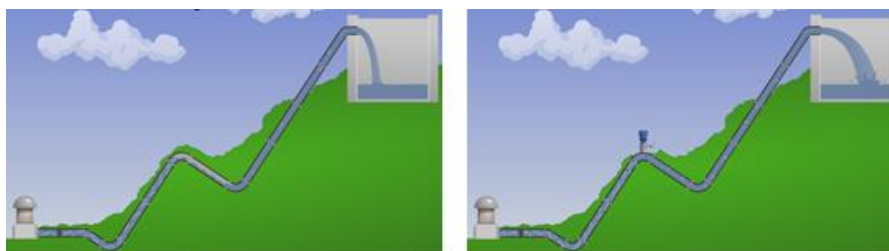
Conforme apresentado pela NBR-12215 – Projeto de Adutora de Água para Abastecimento público, deve ser previsto dispositivo de descarga e admissão de ar nos seguintes casos:

- Pontos suscetíveis de acumulação de ar;
- Pontos altos, imediatamente antes e logo após as descargas de água da adutora.

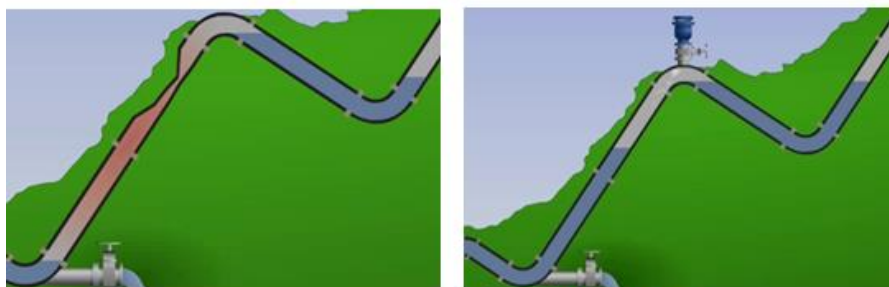
O dispositivo deve ser dimensionado para descarregar vazão de ar igual à vazão máxima de água na adutora, em condições de enchimento com velocidade máxima de 0,30 m/s. O dispositivo deve admitir vazão de ar igual à vazão máxima de água descarregada pelo ponto de descarga mais próximo, em condições normais de operação, e vazão de ar suficiente para evitar o colapso da adutora, em condições de escoamento variado.

São exigidos pontos intermediários de entrada de ar quando a linha piezométrica correspondente à descarga de um trecho da adutora está situada abaixo desta.

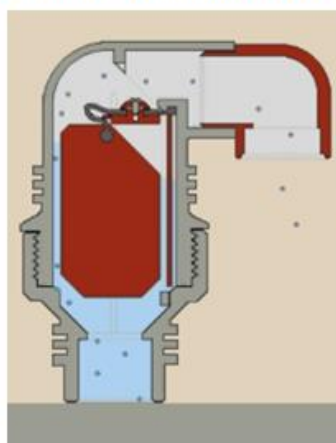
O dispositivo de descarga e admissão de ar deve ser instalado de modo a impedir entrada de água na adutora.



O ar no enchimento da tubulação



O ar no esvaziamento ou rompimento da tubulação



O ar arrastado pelo líquido

Figura 35 - Efeito do ar em tubulações

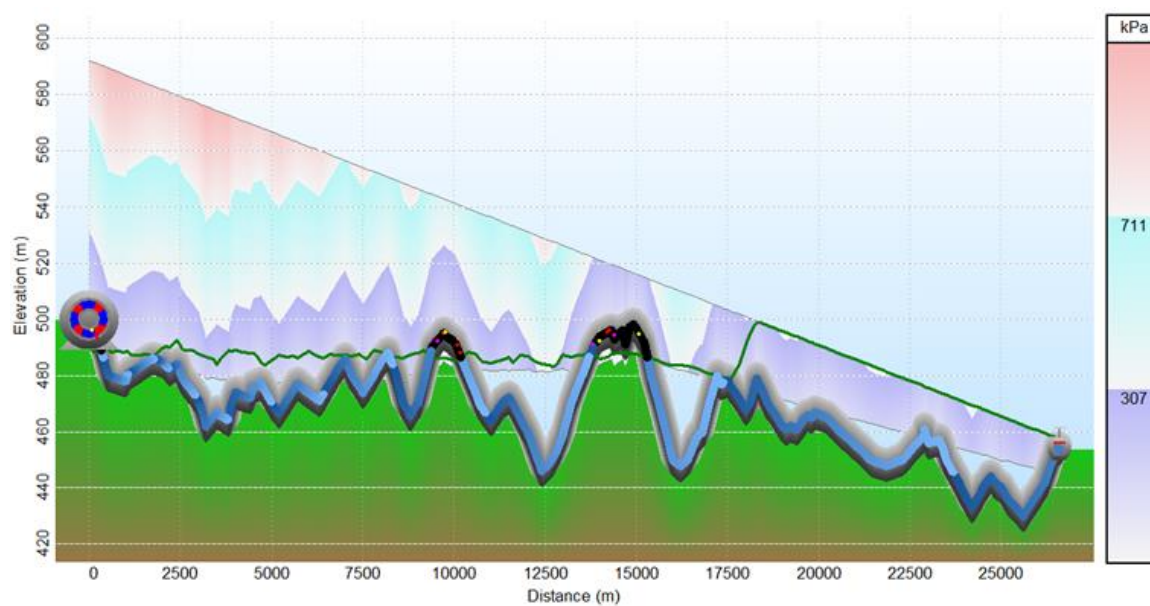


Figura 36 - Separação da coluna líquida

As válvulas de ar podem ser de três tipos:

- I. Ventosa Automática (Simples Efeito – Simples Função)
- II. Ventosa Cinética (Duplo Efeito – Dupla Função)
- III. Ventosa Combinada (Triplo Efeito – Tríplice Função)



Figura 37 - Tipos de Válvulas de Ar

5.2.2.1. Dimensionamento das ventosas

O ar existente nas tubulações de condução e acessórios é proveniente de:

- Ar existente em uma tubulação vazia;
- Ar que entra no sistema durante a drenagem;
- Separação do ar dissolvido na água. Todo líquido contendo ar na solução em contato com a atmosfera, pode ter este ar separado ao reduzir a pressão ou temperatura;
- Entrada direta de ar para dentro da tubulação, que pode ocorrer, por exemplo, nas estações de bombeamento;
- Entrada de ar para dentro da tubulação por válvulas de ar, acessórios ou vazamentos.

Portanto, se faz necessário controlar tanto a entrada como a saída de ar do Sistema para:

- Prevenir a formação de vácuo dentro da tubulação;
- Drenar eficientemente a tubulação para poder efetuar operações de manutenção e reparo;

- Eliminar bolsas de ar que se acumulam dentro da tubulação;
- Proteger a tubulação do golpe de aríete;
- Proteger a tubulação e os acessórios da corrosão ocasionada pelo ar (oxigênio) presente na condução;
- Evitar o consumo excessivo de energia nas bombas por tubulações parcialmente obstruídas por bolsas de ar;
- Evitar erros de leitura na medição;
- Evitar danos aos medidores devido ao ar fluir a velocidades maiores que o líquido;
- Evitar danos ocasionados por fenômenos de cavitação.

Os dispositivos/equipamentos recomendados para controlar a entrada e saída de ar em tubulações são as Ventosas.

Critérios de projetos:

- Enchimento da Tubulação;
- Drenagem da Tubulação;
- Retirada do Ar Arrastado pelo Líquido;
- Rompimento da Tubulação em pontos baixos;
- Separação de Coluna de Água;
- Transitórios Hidráulicos.

O dimensionamento de Ventosas deve ser elaborado por softwares específicos, que levam em conta todos os parâmetros apresentados nos critérios para projetos.

<u>ARIavCAD project:</u>			
Designer:		Distance units:	Meter
Application:	Vinhaça	Elevation units:	Meter
Fluid type:	Wastewater	Diameter units:	Millimeter
Analysis type:	FillRate, Drainage, Rupture, WaterColumnSeparation	Flow units:	Meters³/hour
Burst ratio:	50%	Pressure units:	MetersWater
Rupture ratio:	30%	Manifold usage:	Manifold Surcharge 10%

Figura 38 - Exemplo de um software específico de dimensionamento de ventosas



Figura 39 - Exemplo de um dimensionamento de ventosas

Portanto, as análises dos fenômenos transitórios hidráulicos de uma adutora ou sistema de transporte hidráulico deve seguir as seguintes etapas:

ETAPA 1 – Modelagem das características hidráulicas da Adutora no Software específico de análise de transitórios hidráulico para verificação das envoltórias de pressão máximas e mínimas (Golpe de Ariete) sem sistema de proteção e dimensionamento dos dispositivos necessários para proteção da Adutora contra as envoltórias de pressão máximas e mínimas.

ETAPA 2 – Modelagem das características hidráulicas da Adutora no software específico de dimensionamento de ventosas, para dimensionamento dos dispositivos de proteção necessários, considerando o enchimento, drenagem, quebra de coluna e ruptura da Adutora, levando em consideração os dispositivos de proteção apontados pelo software específico de análise de transitórios hidráulico.

Na instalação das ventosas deve-se evitar a construção de caixas mais profundas que podem caracterizar o chamado “espaço confinado”, estabelecido pela Norma Regulamentadora NR-33 do Ministério do Trabalho e Emprego e evitar flanges enterradas.

5.3. Dispositivos especiais

5.3.1. Medidor de Vazão

Instrumentos usados para medir a taxa de vazão, linear ou não linear, da massa ou do volume de um líquido ou um gás. A escolha correta de um determinado instrumento para medição de vazão depende de vários fatores. Dentre estes, pode-se destacar:

- Exatidão desejada para a medição;
- Tipo de fluido: líquido ou gás, limpo ou sujo, número de fases;
- Condutividade elétrica, transparência, etc.;
- Condições termodinâmicas: por exemplo, níveis de pressão e temperatura nos quais o medidor deve atuar;
- Espaço físico disponível.



Figura 40 - Medidor de vazão

5.3.2. Válvula de corte ou bloqueio

As válvulas de corte, também chamadas de bloqueio de linha, devem ser instaladas no início das derivações e ao longo de adutoras de grandes comprimentos, de acordo com as condições e necessidades locais e com as recomendações do engenheiro projetista. Sua função básica consiste em possibilitar a interrupção total ou parcial do fluxo na adutora, para controlar a operação e o manejo das vazões conduzidas, além da função de segurança para atender situações de emergência em casos de eventuais rompimentos e vazamentos das tubulações.

A válvula de corte, normalmente, constitui-se numa válvula tipo “borboleta”, mas também pode ser do tipo “gaveta”, “esfera”, “guilhotina”, ou outra com características e funcionamento semelhantes. Ela sempre deve ser acompanhada de uma válvula ventosa para admissão e expulsão de ar e gases, visando evitar a formação de “vácuo” no trecho da adutora localizado imediatamente após a referida válvula. Para tanto, recomenda-se que a válvula de corte e a respectiva ventosa sejam instaladas de forma ergonômica, de maneira que facilite instalação,

manutenção e operação, evitando a construção de caixas mais profundas que podem caracterizar o chamado “espaço confinado”, estabelecido pela Norma Regulamentadora NR-33 do Ministério do Trabalho e Emprego.

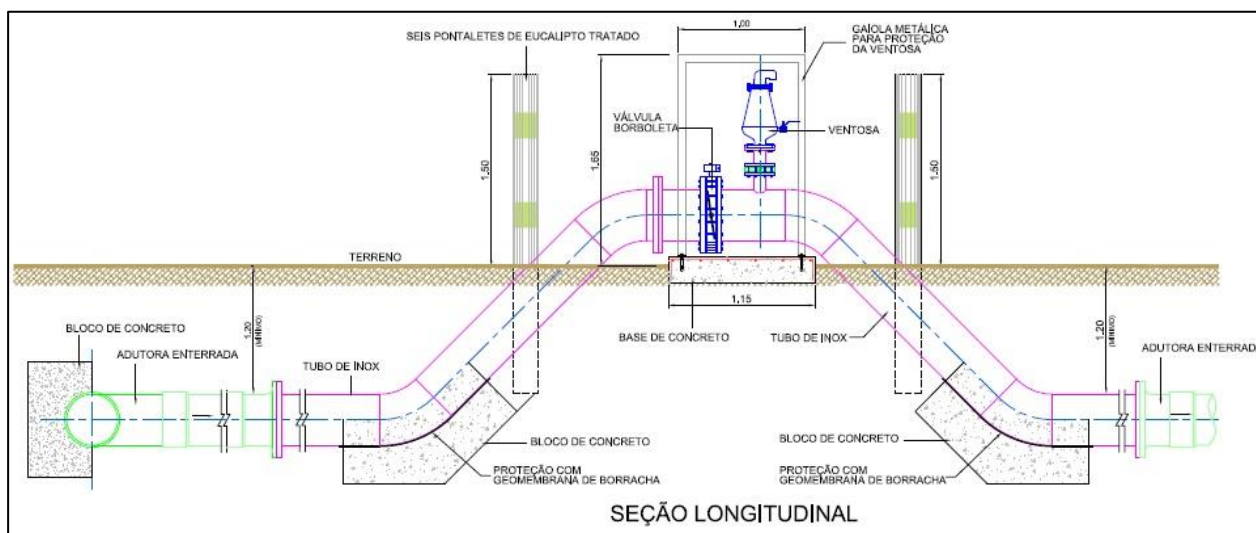


Figura 41 - Modelo de instalação de válvula de derivação sem espaço confinado (Fonte: MATIOLI Projetos e Consultoria)



Figura 42 - Exemplo de instalação de válvula de derivação com espaço confinado (Fonte: HidroEng Projetos e Consultoria)

5.3.3. Sistema de drenagem

O sistema de drenagem (ou simplesmente dreno), normalmente, deve ser instalado nos pontos (ou regiões) mais baixos onde formam as chamadas “depressões” da linha adutora,

visando possibilitar o esgotamento da tubulação que pode se tornar necessário nas paradas da entressafra, ou para manutenção da adutora no caso da ocorrência de eventuais entupimentos, rompimentos ou vazamentos da tubulação.

Normalmente, o dreno consiste numa derivação da adutora comandado por uma válvula tipo “borboleta”, mas que, também pode ser do tipo “gaveta”, “esfera”, “guilhotina”, ou outra com características e funcionamento semelhantes. A exemplo da válvula de corte, recomenda-se que o dreno não seja instalado dentro de caixa mais profunda que pode caracterizar o chamado “espaço confinado”, estabelecido pela Norma Regulamentadora NR-33 do Ministério do Trabalho e Emprego.

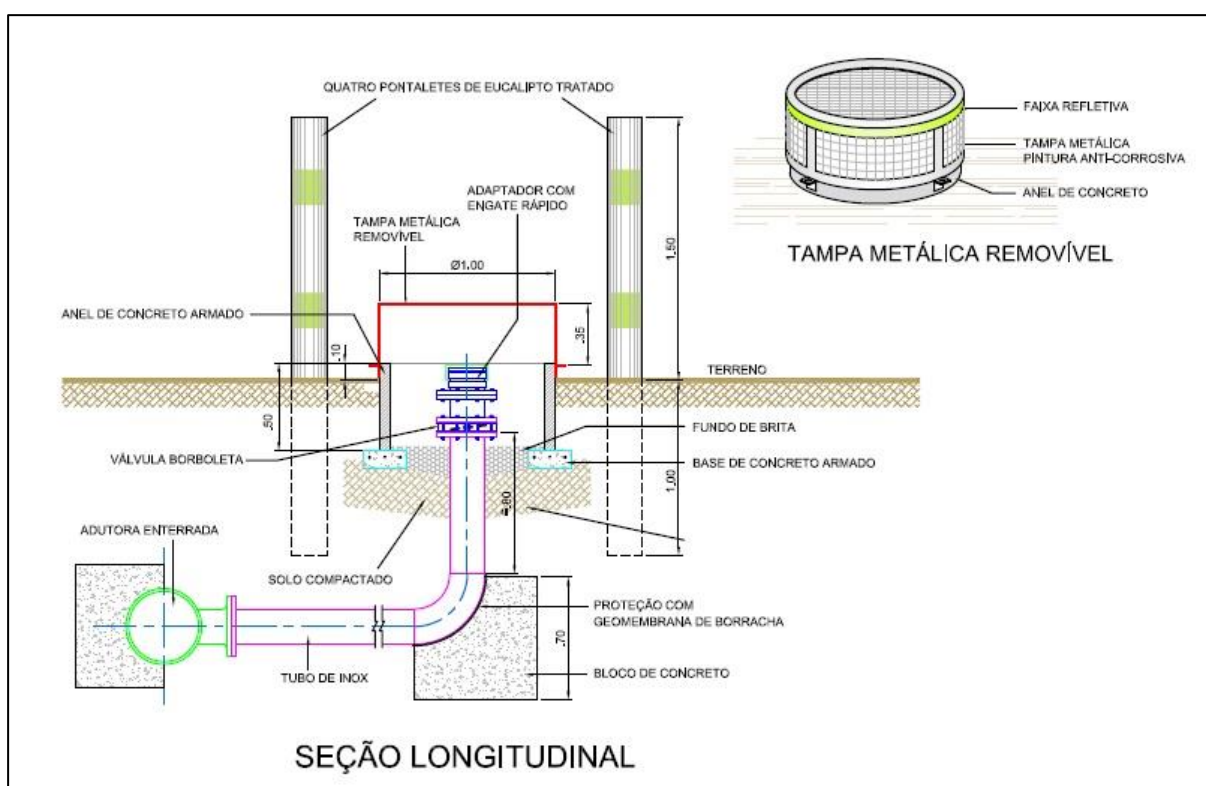


Figura 43 - Modelo de instalação de válvula de dreno sem espaço confinado (Fonte: MATIOLI Projetos e Consultoria)

5.3.4. Derivações (hidrantes)

Os hidrantes são instalados ao longo das adutoras e devem ficar localizados em pontos estratégicos da lavoura canavieira, para acoplamento dos conjuntos de fertirrigação que, basicamente, são compostos de motobomba diesel portátil, tubulação de alumínio com engate rápido e rolões (autopropelidos de aspersão).

Normalmente, o hidrante consiste numa derivação da adutora dotada de engate rápido e comandado por uma válvula tipo “borboleta”, mas, que também pode ser do tipo “gaveta”,

“esfera”, “guilhotina”, ou outra com características e funcionamento semelhantes. A exemplo do dreno recomenda-se que o hidrante não seja instalado dentro de caixa mais profunda que pode caracterizar o chamado “espaço confinado”, estabelecido pela Norma Regulamentadora NR-33 do Ministério do Trabalho e Emprego.

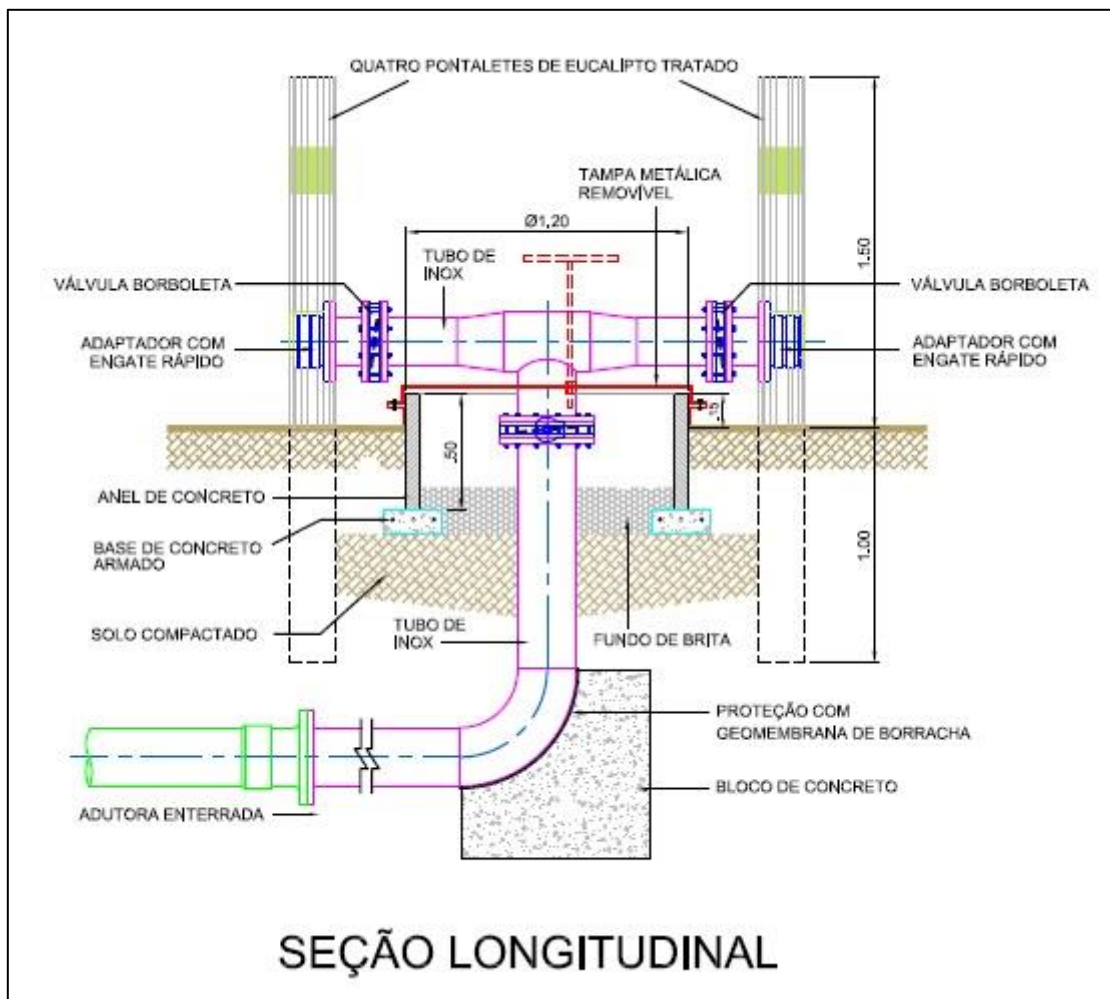


Figura 44 - Exemplo de instalação de hidrante sem espaço confinado (Fonte: MATIOLI Projetos e Consultoria)

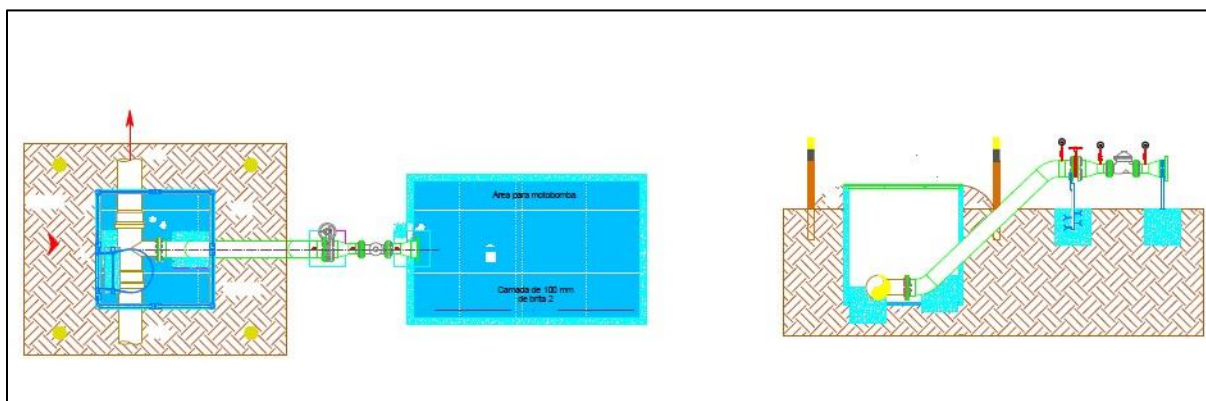


Figura 45 - Exemplo de instalação de hidrante com espaço confinado (Fonte: HidroEng Projetos e Consultoria)

5.3.5. Controle de pressão

A válvula redutora de pressão controla de forma automática através de piloto hidráulico de alta precisão a pressão pré-ajustada, de forma permanente e independente de variação na vazão ou pressão a montante.



Figura 46 - Válvula redutora de pressão

5.3.6. Travessia de Área de Preservação Permanente (APP), Rodovias e Ferrovias

Nos trechos de travessias de cursos d'água e respectivas APP, rodovias e ferrovias, recomenda-se que as adutoras de recalque e gravidade sejam constituídas de tubulação soldada de aço inoxidável AISI-316L (ou similar), com diâmetro e espessura devidamente dimensionados, visando maior segurança nos trechos das referidas travessias. Para aumentar ainda mais a proteção das adutoras, elas devem ser protegidas nesses trechos das travessias por outra tubulação denominada "tubo camisa", constituída de tubos de aço carbono, também com diâmetro e espessura devidamente dimensionados. Esse "encamisamento" tem a função de segurança para conter vazamentos que eventualmente venham a ocorrer, conduzindo-os por gravidade até duas caixas de inspeção localizadas fora da faixa da travessia.

Além do tubo camisa, também deve ser analisada a necessidade da instalação nas travessias de juntas ou liras para absorver dilatações da tubulação, além de ventosas e duas válvulas de bloqueio no início e no final do trecho de cada travessia, visando garantir o bom funcionamento da adutora, e poder isolar os trechos das travessias em situações de emergência.

As travessias de cursos d'água e APP, além das caixas de inspeção, também devem ser dotadas de dois terraços de segurança construídos em leito natural, localizados um de cada lado da travessia e fora das faixas de APP (Área de Preservação Permanente), conforme mostra a figura 47, a seguir. As caixas de inspeção poderão ser em terra ou de alvenaria, e deverão ter capacidade para conter pequenos volumes de efluentes, e ainda serão dotadas de extravasores, que alimentarão por gravidade os terraços de segurança construídos em nível, visando conter eventuais vazamentos de efluentes que excedam a capacidade das caixas de inspeção.

Com a instalação e construção dos dispositivos de proteção descritos anteriormente, as adutoras de recalque e gravidade ficarão dotadas de um eficiente sistema de segurança, contra acidentes de vazamentos, que eventualmente venham a ocorrer nos trechos das travessias, e os consequentes riscos de poluição de águas superficiais.

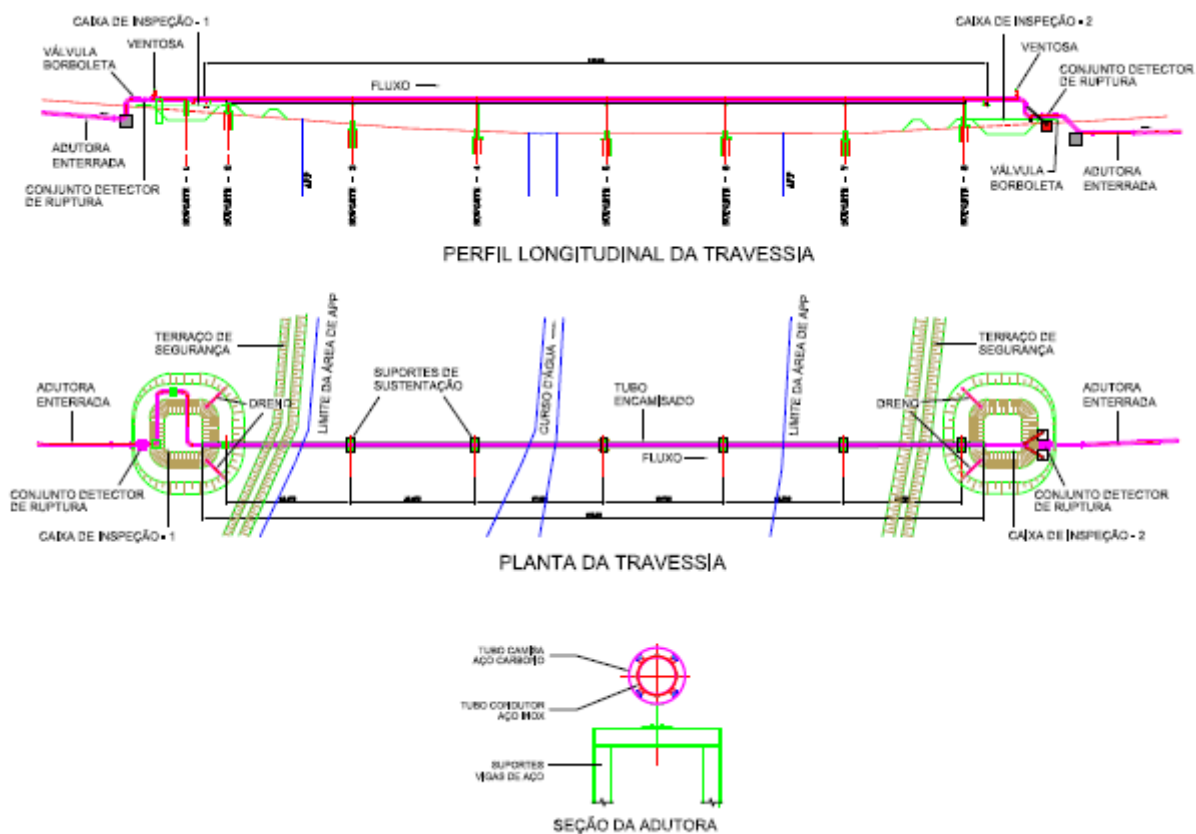


Figura 47 - Esquema ilustrativo p/ projeto e construção de travessia de curso d'água e APP confinado (Fonte: MATIOLI Projetos e Consultoria)

5.3.7. Detecção de Ruptura em tubulações de Vinhaça - Válvula Detectora de Ruptura

A válvula detectora de ruptura monitora de forma automática através de pilotos hidráulicos a velocidade do líquido dentro da adutora, ocorrendo mudança na velocidade em função de rompimento da adutora a válvula fechará automaticamente evitando vazamento do líquido para o ambiente.



Figura 48 - Válvula detectora de ruptura

5.3.8. Reservatórios

É uma solução técnica para armazenamento de vinhaça e/ou águas residuárias, geralmente adotados em projetos de adutoras para as seguintes situações:

- Quando se faz necessário uma regularização do volume para posteriormente ser transportado via adutoras enterradas;
- Como segurança operacional de variação de vazão, quer seja por picos de produção (Indústria) ou por paradas no sistema de aplicação (Agrícola);
- Por critérios técnicos ou limitação topográficas no dimensionamento hidráulico de adutoras enterradas.

Os reservatórios geralmente são construídos escavados, buscando a melhor relação corte/aterro, são revestidos com membrana impermeável em PEAD (Figuras 49, 50 e 51), construídos com dispositivos de liberação de gases e sistema de dreno testemunha. Faz-se necessário verificar legislação específica de cada região, juntos aos órgãos reguladores, para obtenção de licenças para construção e operação.



Figura 49 - Construção de Reservatório Revestido de PEAD



Figura 50 - Reservatório Revestido com manta PEAD



Figura 51 - Reservatório Revestido com manta PEAD

5.4. Fluxograma de processo (FP) e P&ID

Os fluxogramas de processo (FP) são desenhos esquemáticos, sem escala, com a finalidade de mostrar o funcionamento do sistema como um todo.

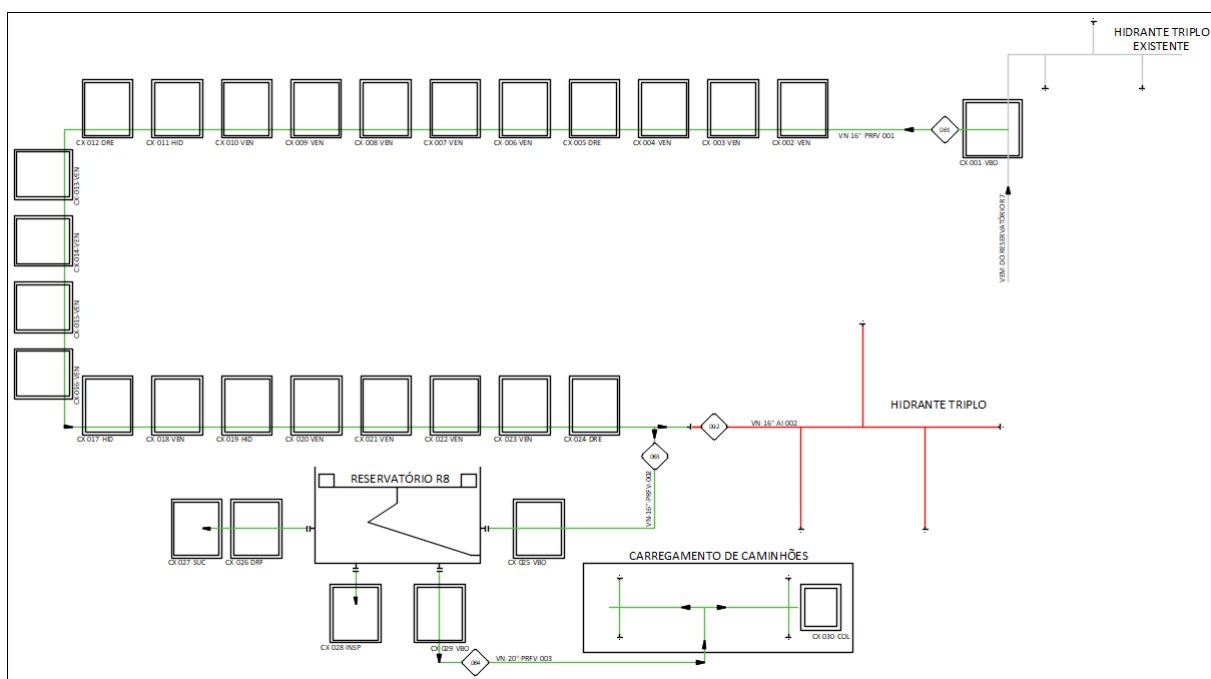


Figura 52 - Exemplo de diagrama

Para projetos de adutoras de águas e vinhaça, se faz necessário a elaboração do fluxograma de engenharia (P&ID), cujo documento deverá contemplar dados da tubulação, equipamentos, acessórios e da automação que compõe o sistema como um todo, ligada ao processo, respeitando uma simbologia específica para cada componente.

O P&ID é elaborado na fase de projeto, norteando o detalhamento mecânico do sistema, sendo a base para especificação de materiais, acessórios e equipamentos, bem como para desenhos executivos que contemplarão o projeto.

5.5.Especificações

Com base na elaboração do dimensionamento hidráulico e considerando as premissas, devem-se especificar os componentes, conforme descrito nos itens a seguir:

5.5.1. Tubos e conexões

As tubulações e conexões devem ser especificadas contemplando os seguintes parâmetros:

- Materiais;
- Diâmetros;
- Classe de pressão;
- Classe de rigidez;
- Temperatura;
- Comprimento do tubo;
- Tipo de acoplamento e vedação.

Os tubos de adutoras estão disponíveis no mercado com diversos tipos de junta ou união, dependendo da sua aplicação, e podem ser assim divididos:

- a) Junta elástica deslizante, desenvolvida para tubos enterrados. Este tipo de junta, dispõe de sistema de vedação formando um conjunto de ponta e bolsa e complementado por anel de borracha. O objetivo desta união é garantir a estanqueidade de tubos pressurizados sem a perda de sua flexibilidade e a capacidade da tubulação acompanhar o perfil suave do solo e reduzir as tensões em casos de imperfeições do solo;
- b) O segundo tipo é chamado de junta rígida, projetada para resistir aos esforços e solicitações longitudinais. Esta união é relativamente comum nas instalações aéreas. Neste grupo estão as uniões por laminação (indissolúveis) e uniões por flanges (desmontáveis).

DN (mm)	Bolsas Paralelas (graus)
≤ 500	1,5
$500 < DN \leq 900$	1,0
$900 < DN \leq 1800$	0,5
$DN > 1800$	0,5

5.5.2. Estação de bombeamento

Para as especificações da estação de bombeamento devem ser considerados os seguintes parâmetros:

- Localização e layout da casa de bomba e estação de bombeamento;
- Definição da alimentação para acionamento dos motores (elétrica ou diesel);
- Definição do conjunto motobomba elétrica: a) para bomba especificação de: vazão, pressão, rotação, rendimento mínimo, NPSH req. máximo e material; b) para motor: rendimento, rotação, formas construtivas, forma de acionamento (com inversor ou sem) e fator de serviço;
- Definição para motobomba a diesel: forma de base (móvel ou fixo), capacidade do reservatório, radiador, cobertura, contenções de diesel e óleo. Para bomba especificação de: vazão, pressão, rotação, rendimento mínimo, NPSH req máximo e material;
- Caso exista mais que um ponto de trabalho, esses deverão ser informados;
- Definição do acionamento do motor e sistemas elétricos.

5.5.3. Válvulas e acessórios

Válvulas são acessórios utilizados em sistemas de adutoras para bloquear e/ou direcionar o escoamento do líquido. São dispositivos operados mecanicamente e utilizados sob diversas condições operacionais, onde a seleção das mesmas devem levar em consideração os seguintes aspectos:

- Se a função é bloquear, controle ou retenção;
- Perda de carga;
- Pressão e Temperatura do líquido;
- Tipo do líquido;
- Capacidade de vazão;
- Tipos de acionamento;
- Espaço para instalação;
- Materiais de construção;
- Tipos de conexões.

5.5.4. Dispositivos de proteção

5.5.4.1. Válvula antecipadora de onda – para água

- Material do Corpo: FoFo Nodular, FoFo Dúctil, WCB;
- Revestimento do Corpo: Epóxi, Poliéster, Rilsan (Nylon 11);
- Atuador: Hidráulico com acionamento por Diafragma;
- Circuito de Comando: Cobre, Latão;
- Elastômeros: EPDM, Buna-N, NBR;
- Pilotos Hidráulicos: Bronze, Latão.

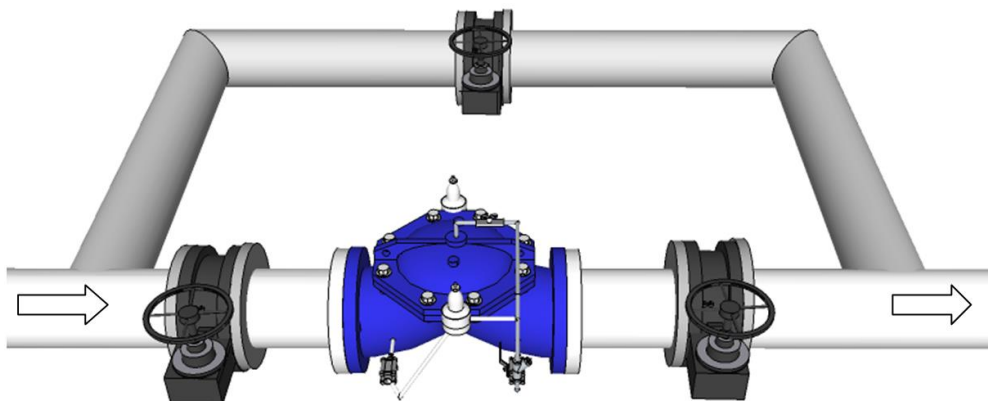


Figura 53 - Esquema de instalação de Válvula Antecipadora de Onda - para água

5.5.4.2. Válvula antecipadora de onda – para vinhaça e/ou águas residuárias

- Material do Corpo: Inox CF8, CF8M;
- Atuador: Hidráulico com acionamento por Diafragma;
- Circuito de Comando: Aço Inox 304, 316;
- Elastômeros: EDPM;
- Pilotos Hidráulicos: CF8, CF8M, 304, 316.



Figura 54 - Exemplo de instalação de Válvula Antecipadora de Onda - para vinhaça e/ou águas residuárias

5.5.4.3. Válvula de AR – para água

- Válvula Ventosa Combinada (Tríplice Função);
- Material do Corpo: FoFo Nodular, FoFo Dúctil, WCB, PP, Nylon Reforçado;
- Revestimento do Corpo: Epóxi, Poliéster, Rilsan (Nylon 11);
- Elastômeros: EPDM, Buna-N, NBR;
- Flutuadores: Policarbonato, Polipropileno Expandido, Aço Inox.

5.5.4.4. Válvula de AR – para vinhaça e/ou águas residuárias

- Válvula Ventosa Seca (Estanque) combinada (Tríplice Função);
- Corpo em formato cônico;



I



II



III



IV

Figura 55 - Vantagens da Válvula Ventosa Seca (Estanque)

- Material do Corpo e Componentes: CF8, CF8M, 304, 304L, 316, 316L;
- Flutuador superior e Flutuador Inferior: Aço Inox, PP, Policarbonato;
- A interligação dos flutuadores deve ser feita através de eixo em aço inox autocentrante com dispositivo antivibratório;
- Elastômeros: EPDM;
- Válvula de Dreno: Aço Inox.

- I. **Corpo em formato cônico:** a) projetado para proporcionar maior bolsão de ar e uma área mais ampla para o flutuador; b) os resíduos acumulados descem para o fundo da válvula e de volta ao tubo; c) o flutuador não tem contato com o corpo em formato cônico, garantindo maior vida útil e menos chances de entrar em colapso.
- II. **Eixo guia flutuante:** a) que absorve grande turbulência que é comum em sistemas hidráulicos, impedindo a liberação de ar (bolsão de ar) indesejada e o enchimento da válvula com efluente; b) flutuador aerodinâmico e vedação moldada previnem o fechamento prematuro da ventosa, incluindo baixa perda de carga e vazão eficiente.
- III. **Válvula de dreno:** a) possibilita a manutenção da válvula ventosa, mesmo com a adutora em operação (Despressurização = segurança); b) limpeza interna da válvula ventosa.
- IV. **Simple manutenção:** a) não há necessidade de manutenções frequentes por acúmulo de resíduos, devido ao formato cônico da ventosa com passagens amplas.

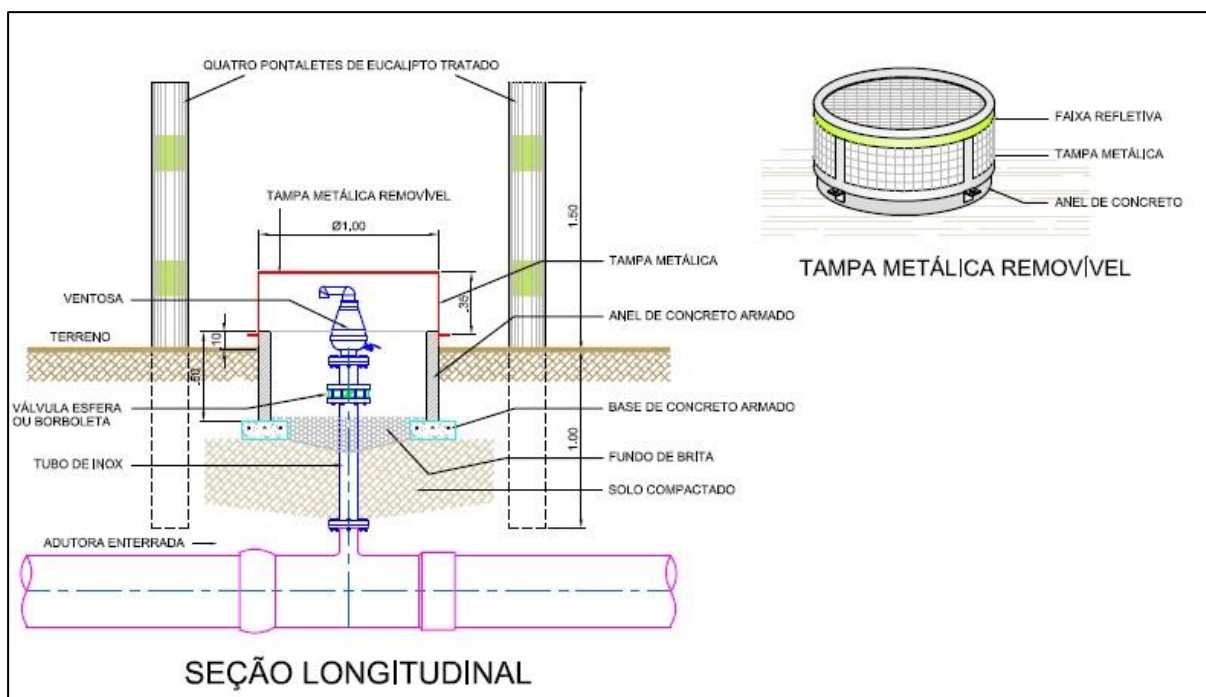


Figura 56 - Exemplo de instalação de ventosa (Fonte: MATIOLI Projetos e Consultoria)

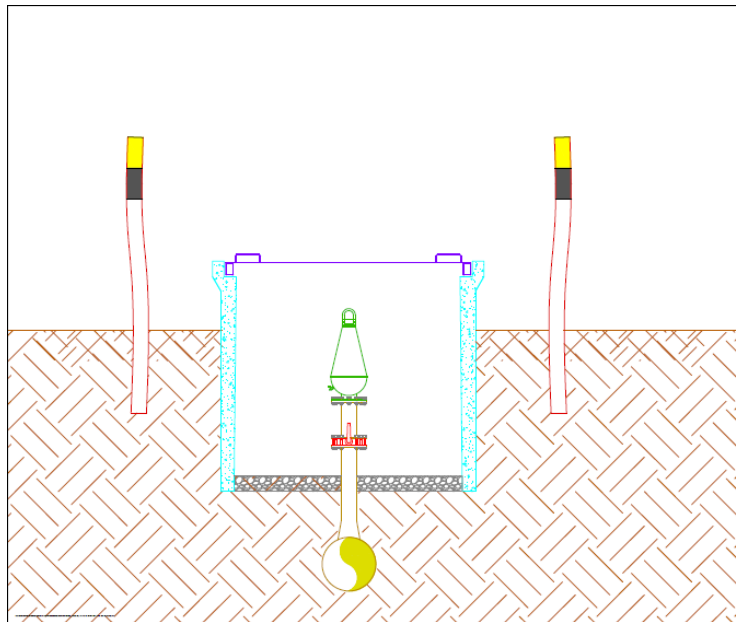


Figura 57 - Exemplo de instalação de ventosa (Fonte: HidroEng Projetos e Consultoria)

6. PROCEDIMENTOS PARA INSTALAÇÃO DE ADUTORAS

Esse capítulo buscará, ao longo do seu desenvolvimento, oferecer ao usuário condições de realizar a implementação de sistemas de adutoras para essa finalidade. Antes, seguem alguns tópicos introdutórios que facilitarão a instalação e o gerenciamento do projeto:

- Identificação de todas as pessoas envolvidas e/ou afetadas pela adutora que será construída;
- O escopo do projeto e Licenças e Autorizações;
- As premissas necessárias para essa construção e que nortearam todo o desenvolvimento da Engenharia.

Uma vez identificado as partes (*Stakeholders*), as necessidades de licenças e autorizações, e a Engenharia definida com premissas válidas, dever-se-á iniciar o Planejamento de Tempo e Aquisições, prever as métricas de aceitação e o controle da qualidade, propriamente dito, a fim de obter o Plano de Construção.

6.1. Identificação de partes envolvidas e/ou afetadas pela Adutora - *Stakeholders*

O guia PMBOK (2008, p. 246) descreve o processo de identificação das partes interessadas como:

“... o processo de identificar todas as pessoas ou organizações que podem ser afetadas pelo projeto e de documentar as informações relevantes relacionadas aos seus interesses, envolvimento e impacto no sucesso do projeto. É fundamental para o sucesso do projeto, identificar as partes interessadas desde o início e analisar seus níveis de interesse, expectativas, importâncias e influências”.

Objetivando identificar todos os envolvidos e/ou afetados pela construção de adutoras para Irrigação ou Fertilização, é possível dividirmos em dois grupos: interno e externo:

- a) No grupo interno deve-se identificar todos que serão impactados: Operação Agrícola, pessoas ligadas a irrigação, plantio, preparo de solo, colheita, transporte, manutenção dos sistemas de irrigação, Indústria (produção de vinhaça e águas residuárias), responsáveis por arrendamento de terras e/ou administração das terras, responsáveis pela comunicação com a sociedade, contratos, responsáveis por compras, questões ambientais e segurança.
- b) No grupo externo temos: os proprietários de terra que poderão ser afetados pela construção da adutora ou por sua atualização; órgãos responsáveis por rodovias/ferrovias; órgãos responsáveis por meio ambiente, entre outros.

Tal identificação é importante para o entendimento dos impactos da construção, dos riscos, das expectativas, do planejamento de recursos e planos que precisarão ser analisados e, se necessário for, alterados com a implantação do projeto.

6.2. Definição do escopo

Após a definição das pessoas que podem exercer influência no projeto de construção de adutora ou de sistema de irrigação, é importante que todos estejam cientes do que será feito e que seja realizado o alinhamento de todas as expectativas com essa construção, uma vez que o sucesso desse empreendimento é o transporte de forma segura e eficiente da água e vinhaça, bem como o atendimento dessas expectativas (relação ao tempo de construção, custo de execução, transtornos gerados com a construção, capacidades, forma construtiva, trajeto, etc).

Dessa forma, podemos definir o escopo como o processo de descrever todos os produtos que serão gerados por esse projeto, delineando os serviços necessários para realizá-los (especificando recursos e funções necessárias) e resultados finais. Assim, podemos dividir o escopo em duas partes: do produto em si (construção da adutora) e de serviços (projeto). Esse último, deverá descrever o trabalho necessário para que a adutora seja entregue operando com as características especificadas.

É importante que, após analisado e delimitado as entregas do projeto e serviços que (antes, durante e após a construção da adutora), um documento seja gerado e divulgado aos interessados, de forma a acordar todas as atividades. Tal documento pode ser apresentado via ata de reunião, e-mail ou qualquer outro de modo a formalizar as definições. Neste documento é importante, ainda, a descrição do que será ou não contemplado no projeto.

6.3. Licenças e Autorizações

Em diversos tipos de construções faz-se necessário a obtenção de licenças e autorizações para que o projeto possa entrar em operação. Na construção de adutoras para irrigação e fertilização esse processo é imprescindível. Tal assunto foi negligenciado por vários anos, entretanto, com a maior profissionalização das usinas e o aumento das fiscalizações, o cenário caminha para a regularidade. É importante lembrar que, o processo de licenciamento é obrigatório e legal, sendo a Licença Ambiental, o principal instrumento.

Licença Ambiental é o ato administrativo no qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, seja ele pessoa física ou jurídica, para implantar, operar, ampliar ou desativar empreendimentos ou atividades considerados efetiva ou potencialmente poluidores, ou aqueles que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental. Três são as modalidades de licença ambiental expedidas pelos órgãos competentes para acompanhar as fases de

desenvolvimento dos empreendimentos e atividades. Segue a classificação adotada pela Resolução CONAMA 237/97:

- a) **Licença Prévia (LP)** - Concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, aprova sua localização e concepção, atesta a viabilidade ambiental e estabelece requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação e operação. Deve ser requerida antes mesmo da aquisição ou aluguel da área em que se pretende executar o projeto.
- b) **Licença de Instalação (LI)** - Autoriza a implantação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante. Até a obtenção da LI, não deve ser iniciada qualquer obra na área do projeto.
- c) **Licença de Operação (LO)** - Autoriza a operação do empreendimento ou atividade, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, como as medidas de controle ambiental e condicionantes determinadas para a operação.

Além das licenças, outras permissões ambientais podem ser necessárias, em casos específicos, como, a Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos - Instituída pela Lei nº 9.433/97, que definiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, autorizando a captação de água e o lançamento de efluentes em um corpo hídrico, a extração de água subterrânea por meio de poços, e outras atividades que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água de um corpo de água.

Em alguns casos é necessário analisar junto aos órgãos ambientais a necessidade de outras autorizações: autorização de passagem por propriedades rurais, travessias de estradas, rodovias, ferrovias rios, reservas ambientais, refúgios silvestres, áreas de concessões, áreas de passagem de infraestrutura como: redes elétricas, oleodutos, gasodutos, etc.

É importante que a definição do escopo contemple, com detalhes, o esforço necessário para a obtenção de licenciamentos e autorizações, evitando frustrações de expectativas de prazo, custos e traçados. Outro ponto relevante é a documentação que deve ser apurada para esse processo, a ser levantada nos órgãos competentes.

6.4.Premissas e Engenharia

Para a construção é necessário seguir os projetos/engenharia desenvolvida por profissional habilitado e amparado via anotação de responsabilidade técnica – ART, junto ao conselho regional da classe. Para o desenvolvimento da engenharia, o profissional deverá se embasar nos critérios, a seguir:

- I. **Premissas segundo o PMBOK:** são fatores associados ao escopo do projeto que, para fins de planejamento, são assumidos como verdadeiros, reais ou certos, sem a necessidade de prova ou demonstração.
- II. **Requisitos:** são especificações e definições que servem de orientação para que o produto a ser gerado no projeto efetivamente atenda a necessidade que deu origem ao projeto. Os requisitos devem ser específicos, claros, detalhados e completos. Este esforço é compensado pela eliminação de retrabalhos, pela aceitação do produto do projeto e pela satisfação gerada.
- III. **Restrições:** são fatores que limitam as opções no desenvolvimento do projeto. São factuais, provenientes de informações reais e disponíveis, que servem de balizamento para que os objetivos do projeto sejam alcançados dentro dos limites impostos. As restrições tipicamente se referem a prazos, custos, metodologias, tecnologias, localização, espaços, distâncias, acessos, horários, disponibilidades e outras características do ambiente do projeto.

Sendo assim, é preciso garantir que as premissas, requisitos e restrições sejam seguidos no desenvolvimento da engenharia, para que a adutora a ser construída possa atender as expectativas.

6.5.Planejamento de Tempo - Cronograma

Antes de se iniciar a construção da adutora, durante a fase de planejamento, é importante a identificação do tempo e dos recursos necessários para a realização do empreendimento, sendo recomendado a criação de um cronograma.

No processo de elaboração do cronograma é indispensável a interação das partes envolvidas para identificar as tarefas necessárias, o sequenciamento dessas tarefas, de forma a estabelecer os prazos para conclusão do projeto. Com essas informações, o cronograma do projeto será uma ferramenta que auxiliará no controle a fim de seguir o planejado.

Quando a construção possuir uma data de entrega/operação definida e inegociável, o aumento de recursos para o atendimento do prazo deverá ser considerado, havendo a possibilidade de elevação de custo no empreendimento.

6.6.Planejamento de Aquisições

Planejar o que precisa ser comprado e como será comprado é fundamental para o sucesso de qualquer projeto. O planejamento de aquisições consiste, em sua essência, na definição do que, quanto, como e quando adquirir, para que as entregas previstas no cronograma sejam devidamente cumpridas, evitando surpresas ao longo do desenvolvimento da construção.

Qualquer que seja a estratégia para a definição do plano de aquisição é importante que contemple custo, tempo, risco, burocracia, demanda de pessoal interno, necessidade de controles, confiabilidade, segurança, etc.

O planejamento das aquisições também engloba a consideração de fornecedores potenciais, o desenvolvimento de parceiros e requisitos para essas aquisições, a partir de critérios para a participação no processo de cotações, incluindo, mas não se limitando a esse, o atendimento a exigências das especificações de compras.

Durante esse planejamento, pode se detectar um gargalo de fornecedor e/ou produto, havendo a necessidade de rever a Engenharia ou de desenvolver novos parceiros, impactando diretamente no prazo de execução e custo.

6.7.Plano de Execução

O Plano de Execução tem como objetivo reunir todas as informações do projeto em um único documento, sintetizando as etapas anteriores e comunicando a finalização do planejamento, com condições de seguir com as atividades de construção.

Esse Plano deve sincronizar todos os demais e indicar claramente como deverá ser realizada a execução do projeto, assim como o comissionamento e a operação do sistema. Alguns requisitos mandatórios devem ser cumpridos antes do início da etapa de construção: definição de um responsável técnico da obra, com emissão da ART; emissão da LI pelo órgão ambiental responsável; demais autorizações particulares.

6.8.Recebimento, Descarga e Manuseio

6.8.1. Inspeção de recebimento

- a) Os tubos devem ser transportados em pallets, mesmo que em diâmetros diferentes. Os mesmos nunca devem ser transportados embutidos.
- b) Os pallets deverão ser construídos de forma de que a altura dos mesmos não exceda 1,80 m;
- c) Realizar uma inspeção geral da carga: Comparar a quantidade física de tubos, pasta lubrificante, conexões e anéis de borracha, etc, com o descrito na nota fiscal/romaneio. Observar atentamente todos os pontos de contato entre a carga e a grade da carroceria ou assoalho, ferragens, pontas e outros objetos contundentes que possam danificar o produto. Observe indícios de maus tratos, sinais de batidas e de movimentação da carga. Se a carga estiver intacta, fazer uma inspeção comum

durante o descarregamento. Tal inspeção será suficiente para assegurar que o tubo chegou sem danos.

- d) Se a carga apresentar alterações ou maus tratos, sinais de batidas e/ou de movimentação da carga, inspecione cuidadosa e minuciosamente cada seção do produto.
- e) Quando a dimensão do tubo/conexão permitir uma inspeção interna, realizá-la observando sinais de danos ou trincas no liner.
- f) Registre no conhecimento de embarque ou na nota fiscal, qualquer dano verificado, alterações ou perdas de material ocorridas em transito, e faça o representante do transportador assinar sua cópia do recibo.
- g) Se qualquer imperfeição ou dano for encontrado, separe imediatamente os tubos afetados, faça uma marca no local danificado ou suspeito, fotografe o dano e a etiqueta de identificação do produto. Registre no verso da NF ou no conhecimento de embarque os danos verificados e contate o fornecedor.
- h) Não utilize tubos/conexões que aparentem estar danificados ou defeituosos.
- i) Solicite apoio do fornecedor e esclareça todas as dúvidas.

6.8.2. Descarga e manuseio



Figura 58 - Descarregamento de Pallet

- a) Os tubos deverão ser descarregados evitando golpes, choques e o contato com elementos cortantes, principalmente em seus extremos.

- b) O descarregamento deverá se dar em pallets.
- c) A tarefa de descarga deverá ser realizada com equipamentos mecânicos, para a qual deverão ser usadas cintas de elevação compatíveis com a capacidade da carga.

6.8.3. Armazenamento

a) TUBOS:

- i. O Armazenamento dos tubos deverá ser feito sobre um terreno plano e de fácil acesso, que permita o transito de caminhões, carretas ou tratores.
- ii. Os tubos devem ser transportados em pallets e assim levados para a área de montagem.
- iii. Deve ser observado se os tubos colocados na parte inferior não apresentem amassamentos nos pontos de apoio causados pelo peso dos tubos na parte superior, assegurando-se que em todos os casos fiquem sujeitos a evitar movimentos.
- iv. Na estocagem caso ocorra o desmonte do pallet respeitar um empilhamento máximo de 02 (duas) camadas de tubo com diâmetro superior a 500 mm. Para tubos com diâmetros inferiores podem ser sobrepostas até 04 (quatro) camadas.

b) SEGURANÇA CONTRA-FOGO:

- i. Tubos reforçados com fibra de vidro, assim como praticamente todos os tubos fabricados com materiais derivados de petróleo são inflamáveis e ardem.
- ii. Durante o seu armazenamento ou instalação não deve expô-los ao calor intenso ou locais com riscos de chamas.
- iii. Evite armazenamento em locais de palhada, e em locais próximos a fagulhas de solda, chamas de maçarico, pontas de cigarros ou qualquer outra fonte de calor.

c) EXPOSIÇÃO AO SOL:

- i. Os tubos de fibra de vidro com união PBA (ponta bolsa anel) devem receber tratamento com inibidores de radiação ultravioleta e podem ficar expostos ao sol por um tempo máximo de 06 meses.
- ii. Caso haja necessidade de se manter os tubos expostos a um período superior a 06 meses, é recomendável que se providencie cobertura apropriada (sombrite 50%) a exposição intempéries.

d) ANÉIS:

- i. Os anéis de vedação deverão ser armazenados em lugar fresco e não devem ser expostos ao sol.

- ii. A radiação ultravioleta resseca os anéis de borracha que acabam ficando mais rígidos e quebradiços. Anéis ressecados comprometem a montagem e a estanqueidade.

e) LUBRIFICANTE:

- i. Na montagem dos tubos é necessário que seja feita a limpeza e lubrificação da bolsa e do anel de vedação.
- ii. O fabricante deverá fornecer a pasta lubrificante adequada à esta aplicação, de acordo com consumo informado em tabela 43.
- iii. Orienta-se realizar uma checagem, após a recepção de todo o material (tubos/conexões), para confirmar se o quantitativo fornecido de pasta lubrificante atenderá a instalação.
- iv. A embalagem da pasta lubrificante deve ser cuidadosamente armazenada para evitar danos à embalagem. Procure armazenar a pasta em local seco e à sombra. Não deixe a pasta exposta ao sol.
- v. Se abrir uma embalagem para uso e sobrar material que possa ser utilizado posteriormente, os baldes ou bisnagas usadas devem ser vedados novamente para evitar contaminação do lubrificante.
- vi. Se as temperaturas durante instalação forem abaixo de 5°C, o lubrificante deve estar protegido até que seja usado.

Tabela 43 - Consumo de pasta lubrificante

DN PRFV	Rendimento Juntas/Kg de Pasta	DN RPVC	Rendimento Juntas/Kg de Pasta
250	10	250	12
300	7	300	9
350	6	350	9
400	5	400	7
450	4	450	7
600	3	500	6
700	3	600	6
800	3	700	4
900	3		
1.000	2		
1.100	2		
1.200	2		
1.300	2		
1.400	1		
1.500	1		
1.600	1		
1.700	1		

f) TRANSPORTE INTERNO

- i. No transporte interno dos tubos nos locais da obra, devem ser utilizados os pallets do transporte original quando carregar o caminhão.
- ii. Assegure que, nenhum tubo tenha contato com outro, para evitar que a vibração durante o transporte venha a causar abrasão.
- iii. Os tubos devem ser amarrados ao veículo sobre os pontos de apoio usando cintas de amarração ou cordas flexíveis (nunca use cabos de aço ou correntes).
- iv. Estas recomendações devem ser cuidadosamente seguidas para evitar danos aos tubos e transtornos na instalação.



Figura 59 - Transporte de tubos dentro da obra

6.9. Instalação de tubulações subterrâneas

Antevendo o início das obras de execução da instalação de tubulações de fibra de vidro é interessante proceder com uma avaliação dos serviços ou atividades preliminares.

É imprescindível que se tenha em mãos o projeto executivo e a lista de materiais completa da instalação, checando a presença de todos os itens no canteiro de obras. Para isso, sugere-se uma verificação com auxílio do *checklist*. Assim, transtornos após o início da montagem, bem como atrasos na execução e custos extras podem ser evitados.

O *checklist* deve contemplar a verificação visual do estado físico dos tubos, acessórios e anéis. Materiais guardados em estoque durante muito tempo podem sofrer danos produzidos por exposição ao calor ou à radiação ultravioleta e outros fatores. Tubos armazenados em locais inadequados podem sofrer deformações ou, ainda, serem danificados por batidas ou outros fatores externos. Existe ainda o risco de extravio de anéis.

6.9.1. Locação da vala

O projeto executivo de montagem de adutoras é elaborado a partir do caminhamento obtido por meio de levantamento planialtimétrico. Deverá ser executado a marcação em campo do traçado e do perfil da adutora e componentes, assegurando-se da concordância entre o projeto executivo e as condições exequíveis. Importante salientar que, o traçado da adutora deverá estar livre e desimpedido de obstáculos como árvores e vegetações, para que a locação seja efetuada.

É necessário que, a marcação do eixo das valetas, onde será implantada a adutora enterrada, seja precisa e estaqueadas de 20 em 20 metros. O projeto executivo deverá ser seguido na íntegra. Caso sejam identificadas interferências no traçado que demandem alterações, a montadora deve reportar à usina, para alterações no projeto executivo.



Figura 60 - Limpeza do traçado da adutora

Durante a locação da vala é necessário que o topógrafo faça um estaqueamento indicando o local onde serão instalados os componentes da adutora: hidrantes (H) ventosas (V), drenos (D), válvulas de linha (VL) ou outro acessório. Em cada ponto, a estaca deverá representar a respectiva sigla.

Em sistemas que operem por gravidade, a topografia deverá fornecer as cotas de profundidade de instalação, no topo das estacas a cada 20 metros de distância, colocadas no traçado da adutora.

6.9.2. Escavação – Abertura da vala

A abertura da valeta em solos é geralmente realizada com ajuda de uma escavadeira hidráulica. A determinação da largura e profundidade da vala é definido através do diâmetro do

tubo, da natureza do terreno, das cargas externas, das normas de segurança e do método de compactação que será utilizado. Para maior estabilidade e segurança, as paredes laterais devem ser chanfradas a partir de 1,0 metro do fundo da vala com um ângulo de 45º até a superfície, acomodar o solo retirados pela escavação 1,0 metro da borda da vala para evitar sobre cargas e desmoronamentos. É importante deixar o início da vala chanfrando, colocar escada próximo as pessoas que estão dentro, facilitando a saída em caso de emergência.



Figura 61 - Escada para acesso a vala

6.9.3. Escavação – Largura do fundo da vala

A largura do fundo da valeta é determinada em função do diâmetro do tubo e do método de compactação que será utilizado. O método prático de dimensionamento mais utilizado da largura mínima da vala para tubos é: considerar o diâmetro do tubo (mm) + 300 mm de cada lado. Dessa forma, possibilita a utilização do compactador de percussão para a devida compactação do solo nas laterais da tubulação.

6.9.4. Escavação – Profundidade da vala

A profundidade da vala é determinada pela cobertura mínima de 1,2 metros sobre a geratriz superior do tubo instalado: diâmetro do tubo (mm) + 1200 mm = Profundidade mínima da vala.

Esta profundidade, entre outras coisas, tem a função de oferecer uma proteção e segurança, além de colaborar para um aumento da vida útil e funcional do tubo.

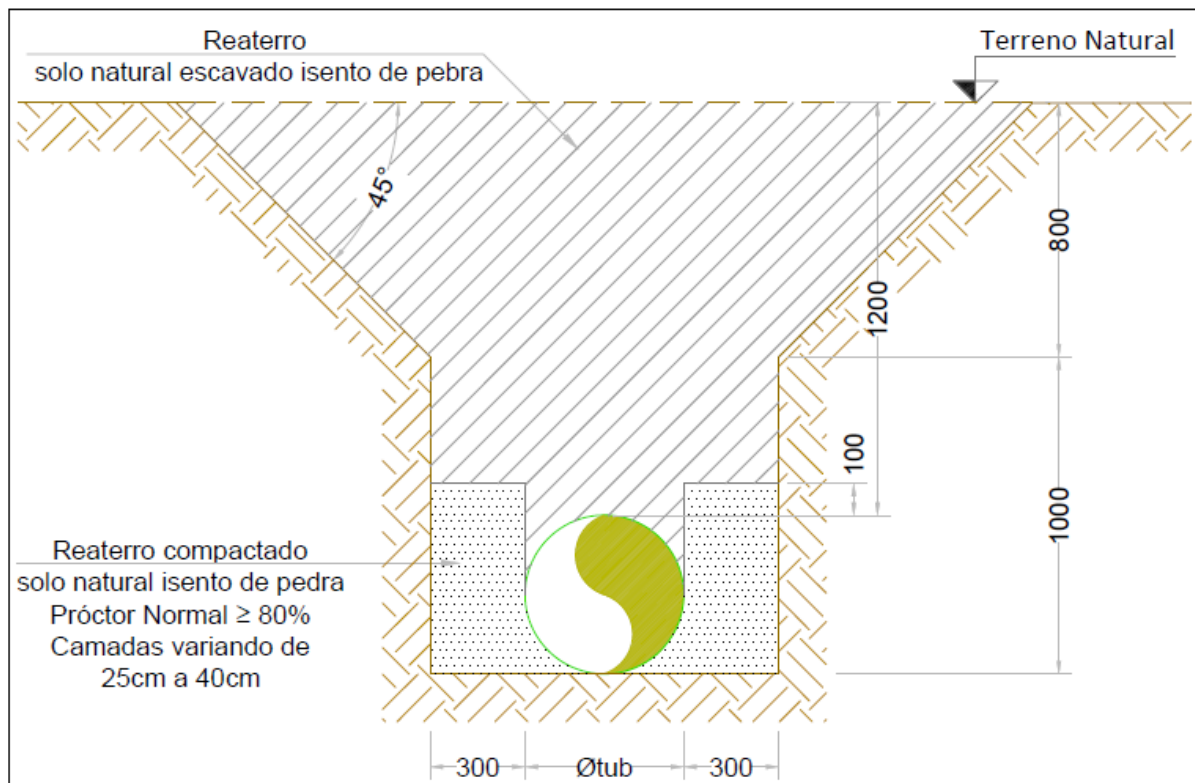


Figura 62 - Vala para assentamento de tubulação - uso de solos nativos

6.9.5. Montagem de tubos enterrados

Os tubos destinados a instalação enterrada são dotados de sistema de junta tipo JE – PBA. Este sistema de junta é bastante prático, pois garante a estanqueidade dos tubos pressurizados sem que os mesmos percam a capacidade de se ajustarem ao perfil topográfico do terreno.

6.9.5.1. Limpeza e instalação do anel de vedação

Nesta etapa da instalação, o leito da valeta já deve estar regularizado. Após a descida da tubulação na valeta, realiza-se a inspeção final da bolsa, ponta e anel do tubo. Se alguma irregularidade for encontrada no tubo e/ou na conexão e/ou no anel vedação, será removido e o defeito será identificado através de uma marcação pontual.

Estando em perfeitas condições, deve ser feito uma limpeza na bolsa, ponta do tubo e conexão, particularmente na canaleta do anel. Nenhum corpo estranho deve ficar na ponta, na bolsa ou na canaleta, para que o anel de borracha não seja danificado e a estanqueidade comprometida.

Os anéis alojados na canaleta da bolsa, são maiores que o perímetro do seu alojamento e requerem uma pressão para se acomodarem.



Figura 63 - Anel de borracha (vedação)

Na montagem do anel, é importante verificar se a vedação ficou uniforme ao redor da canaleta, sem nenhuma parte torcida ou saliente. O acoplamento de tubos e/ou conexões deve exercer, tanto quanto possível, uma pressão uniforme em todo perímetro do anel.

6.9.5.2. Lubrificação da junta

A lubrificação do acoplamento (ponta e bolsa) deve ser realizada para que se tenha uma montagem de forma mais suave. A pasta lubrificante deverá ser fornecida e/ou especificada pelo fabricante de tubulação.

Um bom sinal de que o sistema será estanque é o aperto do anel de vedação e consequentemente a necessidade de empregar certo esforço para conseguir montar o tubo.

6.9.5.3. Acoplamento dos tubos com catraca

Tubos de diâmetros maiores que 450 mm, são pesados e de difícil manuseio, sendo necessário o apoio de um Guindauto ou outro tipo de equipamento de movimentação de carga.

Os tubos que serão acoplados devem estar perfeitamente alinhados e nivelados para evitar o desalojamento do anel de vedação.

O acoplamento ocorre com o auxílio de catraca e cintas de amarração até a marca determinada pelo fabricante no material (profundidade correta de montagem da ponta na bolsa).



Figura 64 - Distribuição da tubulação em campo



Figura 65 - Montagem da tubulação com catraca



Figura 66 - Marcação da Profundidade de Montagem

Respeitando esse limite determinado pelo fabricante, de profundidade correta de montagem da ponta na bolsa, o tubo terá condições necessárias para “trabalhar”, dilatando e contraindo, em função das variações físicas do solo.

6.9.5.4. Comissionamento a frio dos tubos

Em tubulações PBA a verificação se dá através de uma ferramenta manual (calibrador) que é introduzida entre a ponta e a bolsa, em todo o perímetro do acoplamento para comprovar que o anel de vedação está devidamente alojado na canaleta da bolsa.

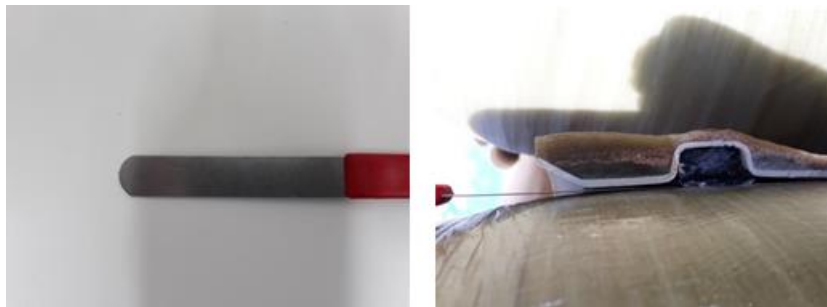


Figura 67 - Calibrador

6.9.5.5. Deflexão angular entre duas barras de tubos

As condições de campo podem requerer que o tubo se acomode ao relevo do terreno e ao seu caminhamento. Os tubos de fibra de vidro, dotados de sistema de junta elástica flexível, permitem que seja feita esta acomodação ou ajuste às necessidades da obra. Entretanto, a realização da deflexão ou desvio angular deve ser feito observando-se os seguintes cuidados:

- a) Deve ser realizado somente após o acoplamento dos tubos e o comissionamento a frio, com resultado positivo;
- b) O tubo deve estar posicionado próximo ao eixo central da vala;
- c) A vala deve ter sido preparada para que o tubo seja montado bem alinhado e depois seja realizado o ajuste angular (horizontal e vertical). Pode ser necessário aumentar a largura da vala, além de corrigir seu alinhamento, acompanhando o desvio angular que será dado ao tubo;
- d) Observar os limites de ângulo de desalinhamento indicados em tabela 44.

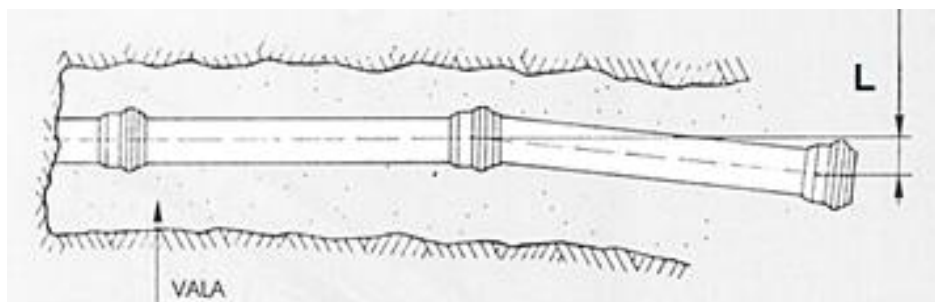


Figura 68 - Deflexão angular

Tabela 44 - Limite para o desvio angular máximo

Diâmetro Nominal	Deflexão angular máxima	Deflexão Linear - L (mm)
100 a 500	3º	314
500 a 800	2º	209

6.9.5.6. Assentamento da tubulação

A adequada seleção e aplicação do material do envoltório primário é de suma importância para controlar a deformação vertical (ovalização) e a interação “tubo-solo”, sendo fundamental para o perfeito funcionamento do sistema de adução.

O assentamento da tubulação deve oferecer suporte adequado tanto no sentido circunferencial como longitudinal. Durante a montagem ou acoplamento do conjunto PBA (Ponta/Bolsa/Anel), deve ser providenciado calço para a ponta e a bolsa de modo a deixá-los acima da cota da vala, não permitindo a contaminação da pasta lubrificante com terra e outros.

A figura 69 ilustra o modo correto e a maneira errada de executar o assentamento da tubulação.

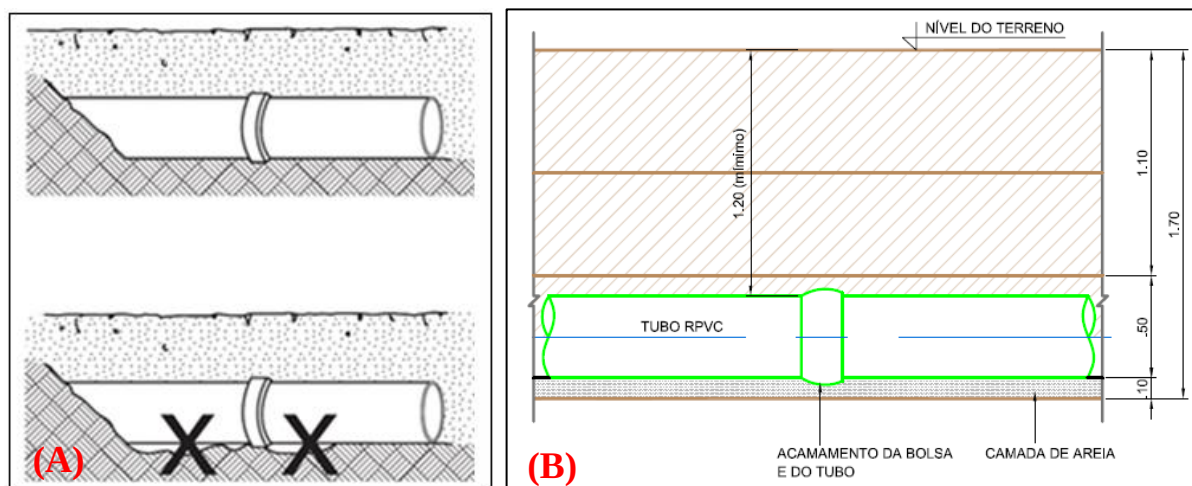


Figura 69 - Assentamento da tubulação demonstrando a forma errada (figura A) e forma correta (figura B)

I. Uso de solos nativos

Quando se usam solos nativos para a zona de envolvimento primário do tubo é preciso considerar os seguintes requisitos, que não são admissíveis:

- a) Solos com pedra;
- b) Torrões ou solos aglutinados;
- c) Solos turfosos e/ou rico em matéria orgânica;
- d) Escombros de construções e resíduos de pneus, borracha, metais, vasilhames plásticos ou de vidro, etc.

Tais materiais podem causar perda da capacidade de suporte lateral do sistema “tubo-solo”. Durante a execução do leito de suporte da tubulação, o solo (granular) deve ocupar toda a região da geratriz inferior do tubo, de modo a proporcionar um suporte adequado: contínuo e uniforme.

O envoltório primário deve ser executado em camadas com espessuras que variam de acordo com o peso do equipamento de compactação. Normalmente a espessura de camada varia entre 25 cm e 40 cm.

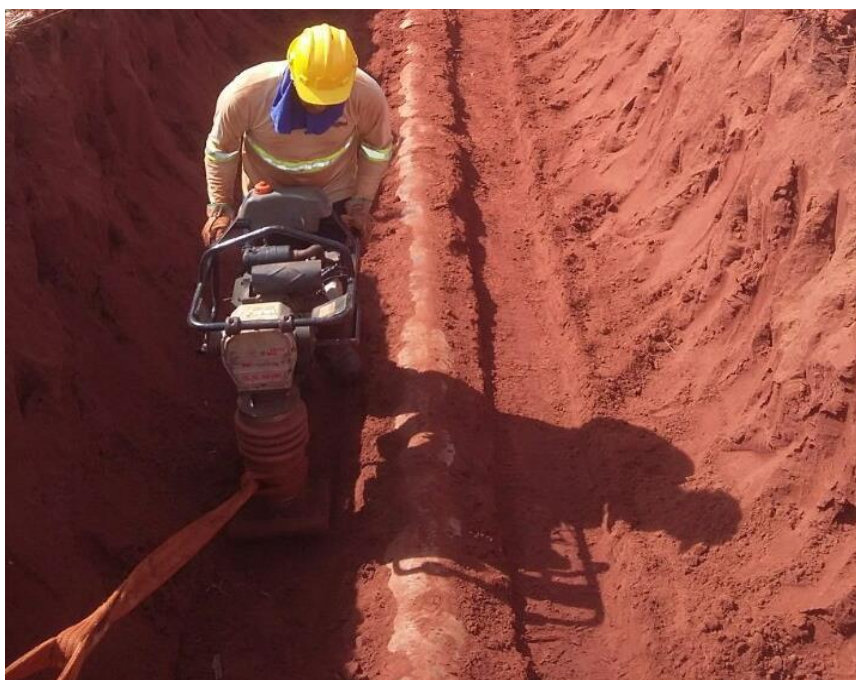


Figura 70 - Utilização de compactador de percussão

Esta operação de compactação é feita com compactador de percussão. Quando realizada nas laterais (entre barranco e tubo), não deve permitir que haja desalinhamento da tubulação. O solo do leito e das colunas laterais devem ser compactados até atingir um grau de compactação mínima referente à 80% do Proctor. Para garantir isso, deve-se fazer um ensaio de compactação de solo a cada 500 metros de montagem de adutora, desde que as características físicas do solo

permaneçam uniformes. Havendo, ao longo da adutora, a percepção de alteração das características do solo, faz-se necessário um ensaio pontual de compactação para checagem.

A compactação deverá ser realizada nas laterais da valeta de modo a não comprometer a integridade do tubo.

Sobre a geratriz superior do tubo não se faz compactação, visando a preservação da sua integridade e a melhoria da distribuição das cargas para as colunas laterais de solo. A partir deste ponto, o solo complementar ou secundário, não tem necessidade de receber compactação, apenas cuidados com o acabamento para evitar erosão através das águas pluviais.

Vantagem: Custo de montagem menor.

Desvantagem: Dificuldade em atingir o Proctor recomendado.

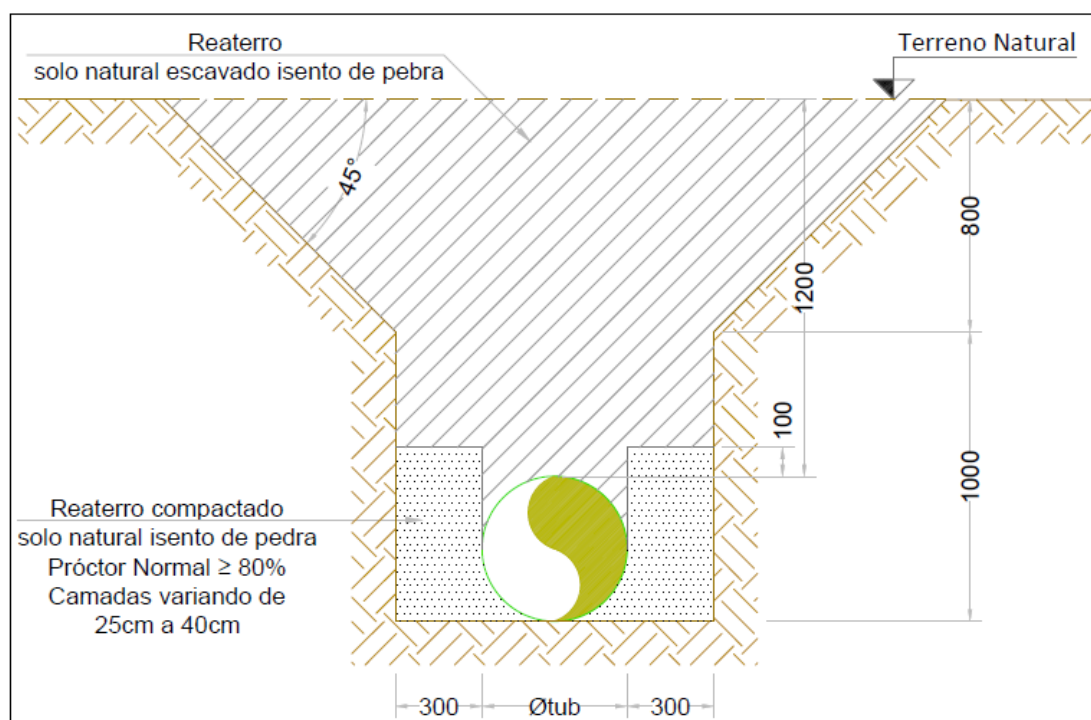


Figura 71 - Vala para assentamento de tubulação – uso de solos nativos

Na ocorrência de tráfego de veículos pesados sobre a adutora, deverão ser instaladas placas de proteção respeitando uma distância mínima de 50 cm sobre a geratriz superior e compactando a partir de então.

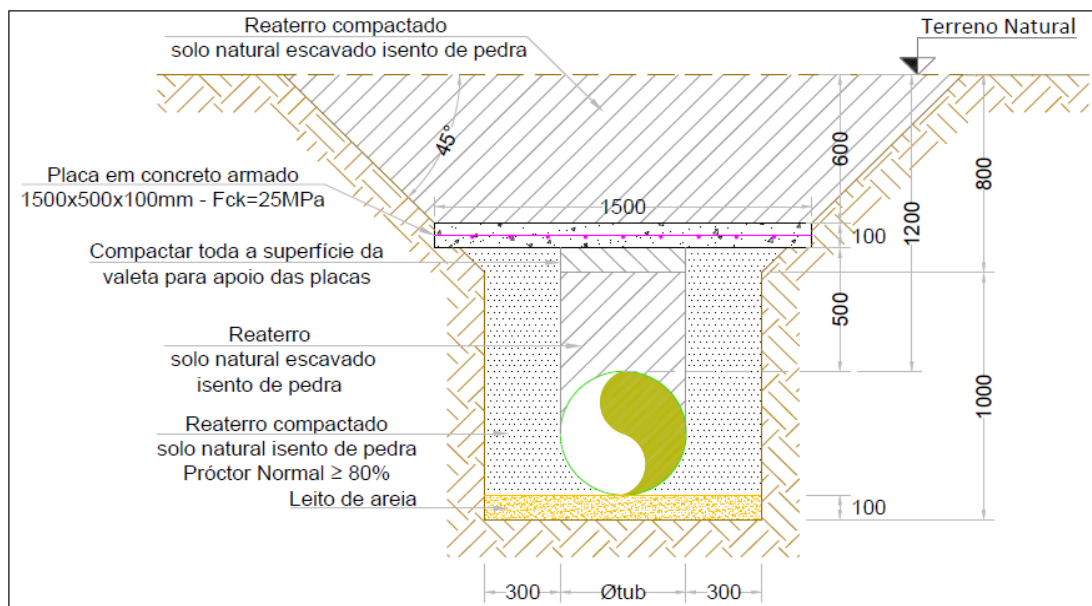


Figura 72 - Vala para assentamento de tubulação – em locais de tráfego de veículos pesados

II. Uso de Areia - 10 cm acima da geratriz superior do tubo

Nesse tipo de instalação, o leito de 10 cm será composto de material granular (areia) livre de pedras e apenas nivelado. Após a instalação dos tubos será usada areia (a mesma usada no leito) e deverá cobrir 10 cm acima da geratriz superior dos tubos após o adensamento com água. Na sequência da instalação é usado solo nativo para o fechamento da vala, sem compactação, até que a vala fique mais alta que o terreno natural, impedindo que as águas pluviais canalizem, causando erosões.

Vantagem: Adensamento uniforme e identificação da adutora.

Desvantagem: Custo da areia e custo de montagem.

A areia mais indicada para esse tipo de instalação é a “Areia média fechada”, com granulometria variando entre 0,25 e 0,5mm, livre de matéria orgânica, pedras, madeira, etc.

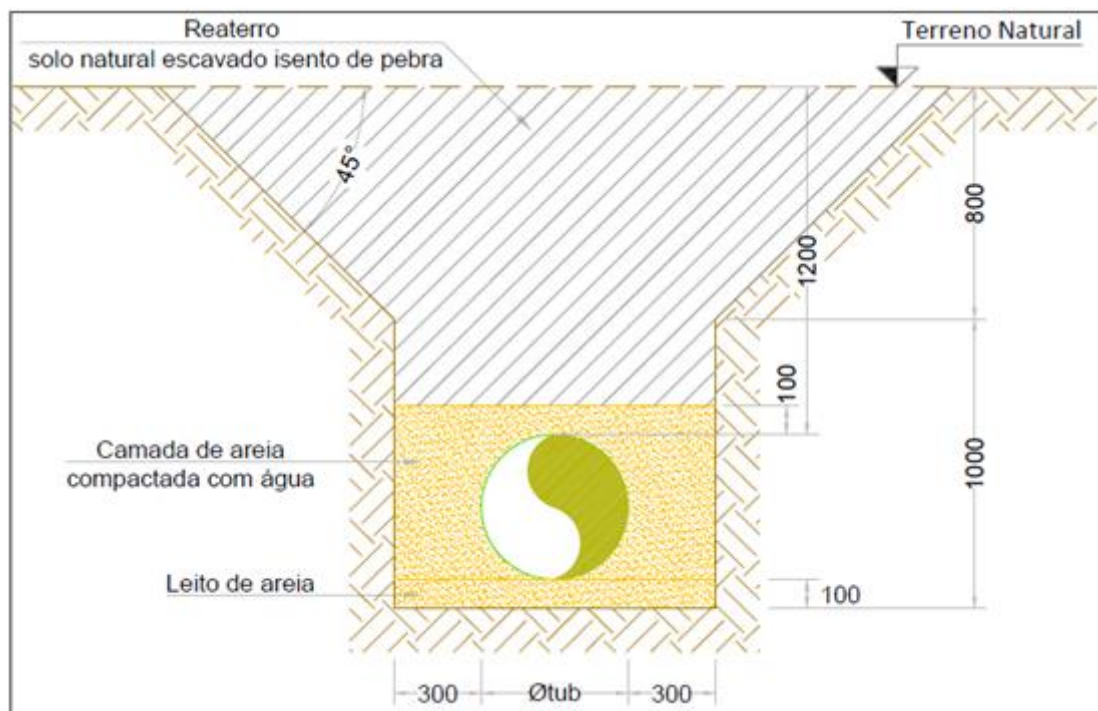


Figura 73 - Vala para assentamento de tubulação – uso de areia compactada com água pressurizada

III. Uso de Areia - até 60% do diâmetro do tubo

Nesse tipo de instalação, o leito de 10 cm será composto de material granular (areia), nivelado e livre de pedras. O envolvimento lateral também será substituído por areia (a mesma usada no leito) e deverá cobrir 60% do diâmetro do tubo após o adensamento. Na sequência de instalação é usado solo nativo, que deve seguir com o trabalho de compactação lateral até a geratriz superior do tubo, com pelo menos 80% do Próctor, continuar com solo nativo sem compactação até que a vala fique mais alta que o terreno natural.

Vantagem: Usa menos areia.

Desvantagem: Custo da montagem.

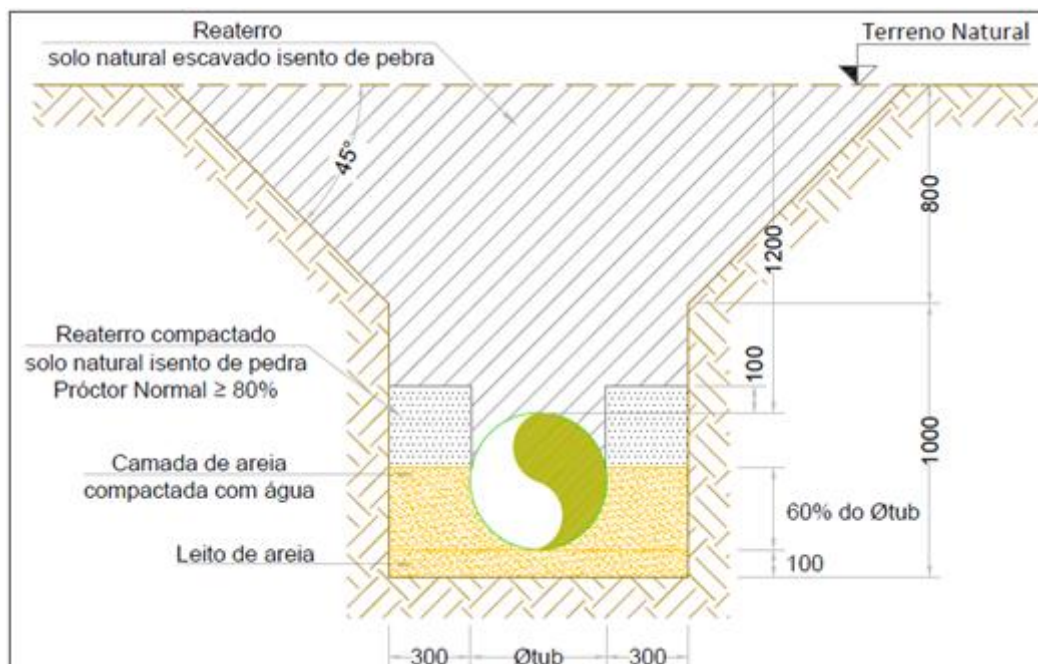


Figura 74 - Vala para assentamento de tubulação – uso de areia até 60% do diâmetro do tubo

6.9.6. Instalações alternativas e especiais

6.9.6.1. Valas com instalações múltiplas de tubos

I. Tubulações em paralelo

Para uma linha com dois tubos instalados em paralelo, os mesmos deverão estar espaçados, no mínimo, 400 mm (C). Para os espaçamentos laterais, manter a recomendação de 300 mm (A).

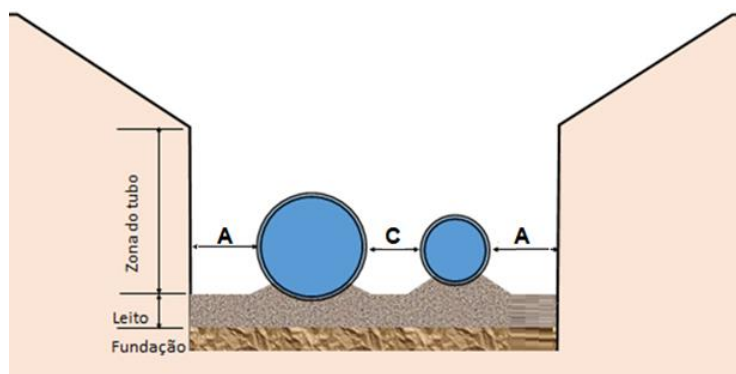


Figura 75 - Instalação de adutora em paralelo

Deve-se tomar atenção especial para tubos com diâmetros diferentes na mesma valeta para que fiquem nivelados. Caso isto não seja possível deve-se usar um material de enchimento adequado para completar o leito, entre a fundação da valeta e o tubo que ocupar a posição mais

elevada, conforme indica a figura 75. A sobre elevação do leito é trabalhada com cuidado e com compactação adequada de modo a garantir um perfeito assentamento da tubulação em questão.

II. Cruzamento de tubulações

Quando duas linhas de tubulação de fibra de vidro se cruzam em um mesmo trecho de vala, deve-se ter o cuidado de garantir que isto ocorra em níveis diferentes, ou seja uma linha passa por cima enquanto a outra passa por baixo, conforme indicado na figura 76.

Em certas situações pode ser necessário instalar uma tubulação sob uma linha já existente. É aconselhável proteger o tubo existente, por exemplo: Instalar uma viga de aço cruzando a vala da nova instalação e também forrar o tubo existente neste trecho para evitar danos causados por impactos de pedras e/ou ferramentas.

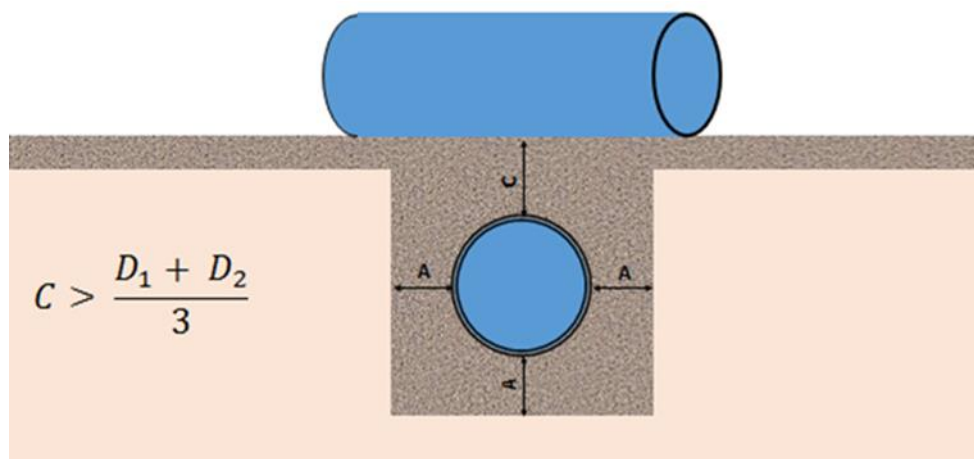


Figura 76 - Cruzamento de tubulações

No momento de se colocar o solo de envolvimento selecionado, recomenda-se que, neste pequeno trecho, seja depositado manualmente em camadas com espessura máxima de 10 cm.

A compactação também deve ser feita manualmente de modo a distribuir completa e uniformemente o material ao redor dos dois tubos, sem deixar espaços vazios e sem compactação.

6.9.6.2. Vala com fundo instável

Quando o fundo da vala é formado por solos moles, solos soltos ou solos altamente expansivos, considera-se que sejam instáveis.

O fundo da vala instável deve ser estabilizado antes de iniciar o assentamento da tubulação propriamente dita (fundação) de modo a aumentar sua capacidade de suporte. Normalmente, a fundação é feita com um enrocamento ou com cimento. A espessura da camada de pedra pode

variar bastante em função da natureza do solo e das condições em que ele se encontra, porém, esta espessura nunca deve ser inferior a 150 mm. Para diâmetros maiores a espessura tende a aumentar. Ainda deve ser considerada a necessidade de ser usada uma “tela filtrante” como bidim, por exemplo, para impedir que as pedras se misturem com o solo nativo e evitar a consequente perda da capacidade de suporte. A migração normalmente acontece na presença de água, oriunda de lençol freático ou chuva, e ocasiona uma rápida perda da capacidade de suporte sob a tubulação. É aconselhável que o comprimento máximo das barras de tubos seja de 6 metros.

6.9.6.3. Recuperação de vala

Em caso de necessidade de uma manutenção da tubulação que envolva a escavação da vala e/ou onde o tubo de fibra de vidro foi instalado, deve-se ter o cuidado de reconstruir a vala como o mesmo tipo de solo usado na vala original, com o mesmo grau de compactação, conforme recomendações do projeto.

6.9.6.4. Blocos de Ancoragem

Quando o solo natural não é capaz de conter os esforços e impedir os movimentos na tubulação/acessórios é preciso de ancoragem. A determinação da necessidade dos ancoramento, bem como do seu dimensionamento, é de responsabilidade do Projetista.

A construção do bloco deve seguir o projeto executivo, em todas as recomendações. Nessa execução é necessário envolver a conexão de fibra de vidro no seu sentido longitudinal, porém deixando de fora a bolsa e a ponteira para acesso à manutenção. Em casos de ancoragem, onde haja contato direto com a tubulação e acessórios, deve-se proteger a conexão envolvendo-as com um lençol de borracha natural. A espessura mínima do lençol de borracha deve ser de 3,2 mm.



Figura 77 - Bloco de Ancoragem em Curva



Figura 78 - Ancoramento Metálico / Ancoramento em Concreto

Os principais acessórios que requerem uma análise da necessidade de construção dos ancoramentos são:

- Curvas;
- Tee's;
- Reduções e ampliações;
- Flanges;
- Cap's;
- Válvulas de linha.

É importante fazer a compactação do solo no dorso do bloco em uma largura 2L, correspondente à largura do Bloco e que nesta dimensão o concreto seja vazado diretamente no terreno, “depois do solo estar bem compactado”. No momento da concepção do bloco de ancoragem, deixar as juntas livres, a fim de permitir sua inspeção durante o teste hidráulico.

6.9.6.5. Instalação em trechos íngremes

O ângulo de inclinação (encostas, rampas, taludes, paredes de trincheiras, etc.) no qual o solo pode se tornar instável depende da natureza e do estado em que o solo se encontra. O risco de encontrarmos condições instáveis aumenta drasticamente com o aumento do ângulo de inclinação e com a quantidade de água ou saturação do solo. Em geral, tubos não devem ser instalados em locais com inclinação maior que 15 graus, ou em áreas onde haja histórico de deslizamentos ou ainda, quando houver suspeitas acerca da estabilidade do solo local, a não ser que condições de suporte do solo tenham sido verificadas por uma investigação geotécnica apropriada.

I. Instalação aérea em trechos íngremes

A instalação de tubulação em encosta ou rampa com subida ou descida íngreme, deve ser feita de forma aérea. Recomenda-se fazer sondagens para definir a fundação e suportes para a correta instalação.

II. Instalação enterrada em trechos íngremes

A instalação de tubos em encostas ou rampas com ângulos maiores que 15 graus, deve seguir as seguintes recomendações:

- O reaterro deve ser compactado pelo menos 80% Próctor Normal;
- Os tubos devem ser alinhados com uma folga mínima entre as ponteiros para que não se movam;
- O movimento absoluto do reaterro no sentido axial e/ou longitudinal do tubo deve ser o mínimo possível;
- A instalação deve ser adequadamente drenada, evitando-se desmoronamento de materiais assegurando a resistência do solo ao cisalhamento;
- A estabilidade de tubos individualmente deve ser monitorada durante toda a fase de construção;
- Para encostas com ângulo muito acentuado pode ser necessário que o fabricante de tubo desenvolva um projeto especial de tubos.

6.9.6.6. Instalação de tubos aéreos

Em instalações aéreas, recomenda-se que seja realizado um projeto específico. Considerando as premissas do tipo de material indicado, topografia da região, legislação vigente, distâncias máxima entre suportes, sondagem do terreno, etc.

Os tubos destinados à instalação aérea são normalmente fabricados com estrutura especial para exposição às condições ambientais, diferentes das encontradas no subsolo. Para isso, deverá ser informado ao fabricante sobre a condição de instalação da tubulação: aérea ou enterrada.

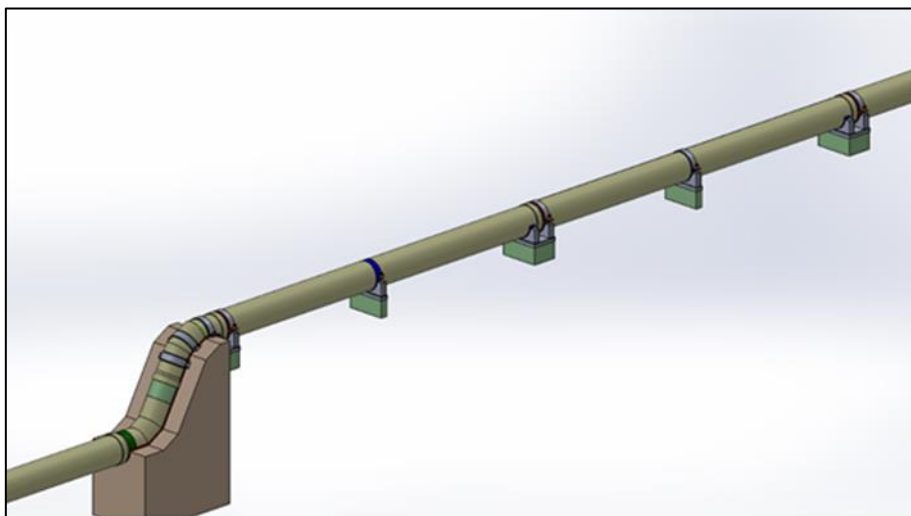


Figura 79 - Exemplo de Instalação Aérea

A figura 79 ilustra uma instalação de tubos aéreos apoiada em berços de aço e base em concreto armado ou pode ser feita sobre berços em concreto armado.

Em casos de instalações aéreas com tubos de PRFV/RPVC, deve-se ter atenção especial para evitar o contato direto dos berços com o tubo.

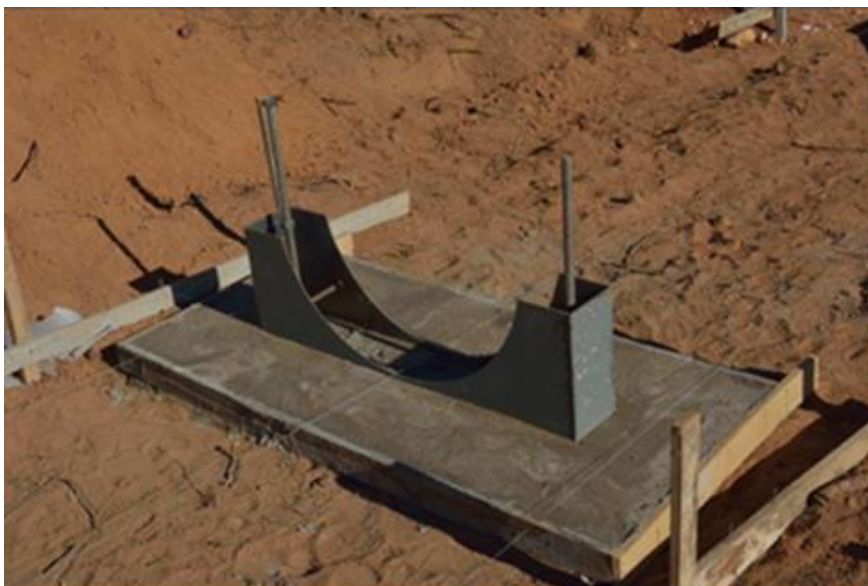


Figura 80 - Detalhe da base e do berço intermediário

A figura 80 demonstra a forma de construção da base e de como o berço deve ser ancorado. Deve-se ter cuidado em nivelar e alinhar as bases e os berços.



Figura 81 – Exemplo de molde para construção do berço

A figura 81 demonstra o detalhe de um molde usado para conseguir uma curvatura precisa para a superfície do concreto. Esta forma é usada no momento de concretar o berço.

Este sistema de construção dos berços é bastante prático, produtivo e oferece uma qualidade final muito boa a um custo baixo.

A sequência de construção dos berços deve ser a mesma de montagem dos tubos, ou seja, os berços são construídos na medida em que os tubos são instalados. Desta forma fica mais fácil alinhar e nivelar os tubos não gerando concentração de tensão.

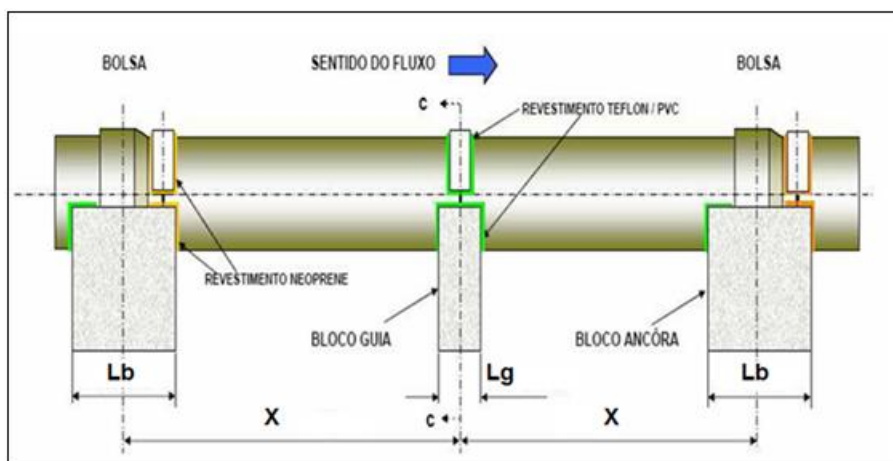


Figura 82 - Exemplo de instalação aérea

Na figura 82, L corresponde a largura do berço da bolsa, L_g - Largura do (s) berço (s) intermediário (s) e X é o espaçamento entre pontos de apoios consecutivos.

6.9.7. Outras recomendações importantes

- a) Antes de ser iniciada uma obra de escavação, devem ser analisadas algumas situações e informações a respeito da existência de galerias, canalizações e cabos elétricos, na área onde serão realizados os trabalhos, e os riscos de impregnação do subsolo por emanções de gases ou produtos nocivos.
- b) A área de trabalho deve ser previamente limpa, devendo ser retirados ou escorados solidamente árvores, rochas, equipamentos, materiais e objetos de qualquer natureza, quando houver risco de comprometimento de sua estabilidade durante a execução do serviço.
- c) Devem dispor de escadas ou rampas colocadas próximas aos locais de trabalho, a fim de permitir em caso de emergência, a saída rápida e segura do pessoal.
- d) Quando existir cabo subterrâneo de energia elétrica nas proximidades das escavações, elas só poderão ser iniciadas quando o cabo estiver desligado.
- e) As escavações devem ter sinalização de advertência (cones, cavaletes, placas de advertência), cercas de proteção nas laterais (tela tapume laranja) para profundidades de até 2,0 m.
- f) Durante a execução diária da montagem de tubulação, a jornada de trabalho deverá garantir o recobrimento de todas as valas abertas durante o dia.
- g) As escavações, valas e áreas adjacentes deverão ser inspecionadas após cada chuva e à medida que as condições do solo se modificam, e quando necessário, durante a execução dos serviços. Se houver algum sinal de risco, precauções deverão ser tomadas antes que seja retomada a tarefa. A inspeção deverá verificar a perda parcial de coesão do solo pela formação de fendas e rachaduras que possam causar colapso da escavação.

7. COMISSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO

As atividades de Inspeção, testes e Comissionamento devem ser planejadas já durante a fase de engenharia. Esse planejamento é fundamental, pois é durante essa etapa que são especificados os equipamentos assim como o seu modo de funcionamento. Na engenharia também devem ser identificados os equipamentos críticos para o sistema e que vão merecer mais atenção com relação a testes, inspeções. Também é durante a engenharia que devem ser previstos dispositivos para que os testes e comissionamentos possam ser realizados.

Após a conclusão da construção, o comissionamento geralmente ocorre em duas fases. O comissionamento é realizado pela combinação de testes estáticos (geralmente referidos como pré-comissionamento) e dinâmicos, testando com a intenção de demonstrar que os equipamentos e sistemas atendem às suas intenções de projeto.

7.1. Inspeção e teste

Aplica-se a atividades não energizadas durante a fase de construção do projeto que levam a conclusão mecânica do sistema. Essa etapa inclui verificação, calibração, inspeção e teste de construção, que é realizado pelos fornecedores para confirmar a conformidade com as normas aplicáveis, regulamentos, padrões, projetos e desenhos de construção.

Os exemplos de Inspeções e Testes incluem: testes de cabo desenergizados, calibração de instrumento/válvulas/ventosas, teste de soldas não destrutivo, teste de estanqueidade e teste de resistência de tubulação e conexões.

7.2. Comissionamento estático

O comissionamento estático, também conhecido como pré-comissionamento ou check-out funcional, está preocupado com a qualidade da construção/instalação de um sistema, como evidenciado por testes mecânicos apropriados e teste de vazamento. Ele é realizado após a conclusão da instalação, antes que o teste do sistema dinâmico comece. Isso geralmente é limitado a dispositivos/equipamentos individuais. Os exemplos incluem verificações de conexões, rotação do motor, estanqueidade, etc. A conclusão do comissionamento estático:

- a. O sistema possui uma integridade mecânica suficiente para o serviço de campo;
- b. O teste de função confirma que o fabricante completou adequadamente seus requisitos, com isso, pode ser usado como ponto de sucesso. Essa atividade exige uma excelente integração entre as equipes de montagem e comissionamento.

7.3.Comissionamento dinâmico

O Comissionamento Dinâmico coloca vários sistemas em serviço, com fluídos de processo/utilidades sendo simulados, conforme necessário, para demonstrar sua capacidade de funcionar em conjunto. Por exemplo, executando uma bomba de recalque com uma bomba de sucção.

No final da etapa do comissionamento dinâmico temos:

- Os sistemas foram totalmente verificados, e a funcionalidade foi comprovada.
- Os sistemas integrados estão prontos para uso no campo, e foi garantido que potenciais problemas como as vibrações, vazamentos, não ocorrerão no início das operações. Esta garantia só pode ser obtida a partir de tais testes.
- Foi obtida uma garantia significativa da competência daqueles que irão operar o sistema, pois os mesmos participaram dos testes e foram capazes para operarem. Isso vai ser refletido no processo de garantia de bom funcionamento do sistema de irrigação.

Os testes durante o comissionamento dinâmico provam a função integrada do sistema e, portanto, são necessários para garantir o desenvolvimento da equipe operacional. Ainda, confirma que o fornecedor completou adequadamente o seu escopo (incluindo fornecimento de suporte no local de construção e testes) e, como tal, é usado como ponto de avaliação do sucesso do seu trabalho.

Sendo assim, podemos notar que essa é uma fase muito importante do processo e também bastante delicada para uma boa entrega de construção de adutora, pois em muitos casos os tubos são danificados por falta de conhecimento ou displicência do operador, que não observa os procedimentos desta etapa.

Alguns cuidados, como por exemplo, o enchimento deve ser feito de maneira bastante lenta para evitar que o choque brusco da água com válvulas, conexões e acessórios, possam causar algum tipo de dano, além de certos trechos onde as mudanças de inclinação favorecem a ocorrência de vácuo de elevada intensidade. Ambos os efeitos podem danificar tubulações antes mesmo de atingir a pressão de trabalho. Outro aspecto menos óbvio é o fato que, nas tubulações enterradas costumam passar despercebidos a presença de certos corpos estranhos, que acabam ficando no interior dos tubos, sendo encontrados: madeiras, pregos, pedras, terra, animais, insetos e resíduos da obra de modo geral.

Se a operação de enchimento da adutora for realizada com uma velocidade elevada, os objetos que estão no seu interior serão arrastados e arremessados contra as paredes dos tubos, conexões, etc., podendo danificá-los e, em casos mais críticos, podem inutilizá-la totalmente.

Normalmente o que se procura numa instalação nova é a existência de vazamentos em anéis e/ou no corpo do tubo.

Antes de iniciar o enchimento propriamente dito, deve-se certificar com a montadora se todos os acessórios foram instalados e as ancoragens devidamente executadas.

A seguir, verificar se as válvulas de linha, ventosas e drenos estão abertas.

O próximo passo é iniciar o enchimento com água. Normalmente a vazão de enchimento deve situar-se entre 7% e no máximo 10% da vazão nominal da adutora. “Sim, vai demorar muito para encher a tubulação. É assim mesmo”!

Desde o início da operação deve-se acompanhar atentamente o funcionamento do sistema, verificando a presença de possíveis vazamentos.

Quando a água chegar em cada ponto de drenagem, começará a expelir o líquido sujo e resíduos existentes no interior da tubulação. Esse deverá vazar por um período aproximado de 15 minutos em cada ponto ou até que tenha a aparência limpa. Uma vez constatado que o líquido está limpo, as válvulas devem ser fechadas lentamente para não causar golpe de aríete. Este procedimento deve se repetir em todos os pontos de drenagem.

Depois que a água chega ao reservatório de montante, recomenda-se manter a adutora operando por um tempo suficiente para realizar uma inspeção detalhada em todo o trajeto, verificando se há indícios de vazamentos.

***Nota:** Antes de partir a bomba é necessário fazer todas as medições de corrente e tensão em cabos, painéis e no motor elétrico por um técnico eletricista, que deve acompanhar toda etapa de comissionamento*

7.4. Teste de estanqueidade

Este teste de campo permite verificar a estanqueidade e estabilidade da tubulação de fibra antes de sua entrada em operação.

Quando previsto em projeto e solicitado na fase de orçamento, o teste poderá ser realizado em toda tubulação, ou em trechos especificados, tornando mais simples. As extremidades de cada trecho deverão estar fechadas com válvulas ou flanges cegos.

Durante o teste as pressões devem estar entre 1,0 PN e 1,5 PN do projetado e só deverá ser realizado após o comissionamento do sistema, o qual deverá estar limpo e operante. Esse teste deverá ser de 2 a 4 horas, tempo suficiente para que se percorra o setor testado e observe evidências de vazamento.

As válvulas e acessórios devem ter especificações de modo que admitam trabalhar com a pressão máxima de teste de estanqueidade.

As etapas a serem seguidas são:

- 1) A extremidade a jusante da tubulação deverá estar diretamente conectada no sistema de bombeamento usado para o teste, as válvulas de proteção, retenção, registros, manômetros, etc. calibrados, conforme indicado na figura 83.

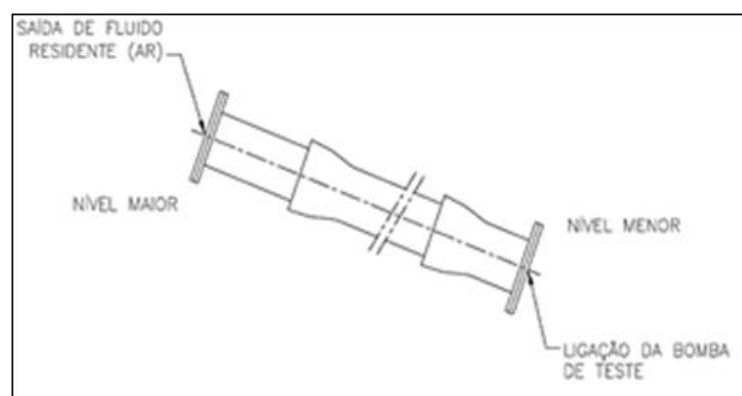


Figura 83 - Esquema de fechamento das extremidades da tubulação

- 2) Na extremidade a montante deverá ser vedada com o uso de válvula de bloqueio ou flange cega;
- 3) Após o enchimento completo do trecho a ser testado, desligar a bomba, fechar a extremidade a jusante, bem como todas as válvulas existentes na adutora, incluindo ventosas;
- 4) Aguardar 2 horas antes de fazer a pressurização máxima, para que a tubulação se acomode e atinja seu estado de equilíbrio;
- 5) Ligar novamente a bomba, observando que a pressão interna deve ser elevada lentamente até atingir a pressão de 1,0 a 1,5 vezes a pressão nominal do projeto;
- 6) Fechar a válvula de bloqueio na saída da bomba e em seguida desliga-la;
- 7) Observar e registrar a pressão por pelo menos 2 horas. O ponto de registro deverá ocorrer após a válvula de retenção na saída da bomba;
- 8) Se houver grandes variações de pressão, pode ser indicativo de vazamento no sistema. Caso ocorra, o teste deverá ser interrompido até a correção do problema;
- 9) Outra avaliação a ser feita, é a verificação visual de vazamentos em todo o trajeto, bem como o acompanhamento e registro do comportamento da tubulação, em seus blocos de ancoragem aparentes, válvulas e fechamentos;
- 10) Todos os valores de pressão deverão ser anotados em uma planilha específica, e também as observações a respeito do comportamento da tubulação, válvulas diversas, blocos de ancoragem e tempo de duração do teste.

- 11) Recomenda-se que o teste seja acompanhado pelo representante da usina, fabricantes dos componentes e da montadora do sistema.

É normal que haja perda de pressão sem perda de líquido, uma vez que, quando se pressuriza a água, ocorre a separação de gases dissolvidos. Os gases que se separaram migram para os pontos altos e acabam sendo expelidos por ventosas. Desta forma, quando ocorrer uma perda de pressão, em que chegue a 70% da Pressão Nominal, deve-se completar o enchimento da adutora com água e retomar os testes de pressão.

A duração desta etapa segue até que todos os vazamentos sejam devidamente corrigidos e os valores de pressão tenham uma variação inferior a 5% dentro do período de duas horas, que corresponde ao período previsto para manter a linha pressurizada.

7.5. Operação assistida

Assim como o teste de estanqueidade, a operação assistida é uma etapa opcional da usina, mas bastante recomendado para certificação do bom funcionamento. As pressões dinâmicas produzem esforços muito maiores que os esforços estáticos nos tubos, conexões e acessórios, que podem provocar eventuais acomodações.

A adutora deve operar normalmente dentro dos parâmetros para qual foi projetada. Deve se observar os dispositivos de proteção e segurança, válvulas e tubulações aparentes. Recomenda-se o acompanhamento por um período não inferior a 15 dias.

Nesta etapa, devem ser corrigidos eventuais problemas com painéis, válvulas, acessórios e tubulações.

Fazer o registro diário das pressões e vazões do sistema operando nas mais diversas condições de projeto. Exemplos: bombeamento do ponto A para o B; bombeamento do ponto A para B + Hidrantes; bombeamento somente para hidrantes; etc.

Manter um registro georreferenciado de todas as ocorrências, inclusive com fotografias e posição indicada na planta do projeto executivo, posicionando cada ocorrência com numeração sequencial.

Além dos relatórios diários, recomenda-se um relatório final de operação assistida, incluindo fotos, ocorrências, soluções e recomendações.

8. PROJETO COMO CONSTRUÍDO “As Built”

O Projeto “Como Construído” ou “As Built” é o conjunto de informações elaboradas na fase de supervisão e fiscalização das obras com o objetivo de registrar as condições físicas e econômicas da execução da obra, fornecendo elementos considerados relevantes para subsidiarem futuras intervenções na obra, como: reformas, ampliação e restauração.

Projeto “Como Construído” deve apresentar fielmente o objeto construído, com registros das alterações realizadas durante a execução.

Qualquer alteração no projeto deverá ser informada à equipe de projeto da Usina e deverão ser tratadas e aprovadas, exclusivamente, pelos respectivos projetistas.

Durante a implantação do projeto a empresa responsável pela montagem deverá fazer os registros fielmente das alterações e ajustes realizados com o acompanhamento do responsável do cliente.

Ao término da implantação e após a entrega da obra, deverão ser encaminhados pela Usina todos os registros dos itens modificados aos respectivos projetistas, que deverão atualizar todos os desenhos e documento emitindo os desenhos/carimbos “conforme construído”. O custo dessas alterações (*As Built*) deverá ser solicitado aos projetistas no escopo inicial do projeto executivo.

Com todos os documentos, conforme construído a adutora estará pronta para início do comissionamento.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei no. 9.433. de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>> Acesso em 2018-02-07.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro DE 1997. In: Resoluções, 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em 2018-02-07.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, Título: Utilização de restilo como fertilizante em solos cultivados com cana de açúcar: relatório final, 262p, Imprensa São Paulo, 1982.

ELIA NETO, A., 2009. Manual de Conservação e reuso de água na Agroindústria Sucroenergética. Agência Nacional de Águas, Ministério do Meio Ambiente. Brasília.

ELIA NETO, A. e Nakahodo, T., Caracterização Físico-Química da Vinhaça, Piracicaba, SP: 1995.

ELIA NETO, A. e Zotelli, L. C., Caracterização de águas residuárias para reuso agrícola, Piracicaba, SP: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), 2008.

PIZZARO, M.E.; GUAZZELLI, M.A.N.; MATIOLI, C.S. Circuitos Hidráulicos para transporte de resíduos líquidos – projeto e operação. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4. Piracicaba, 1988. Anais. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1988. P. 187 – 247.

PMI, Project Management Institute. Um Guia do Conjunto de Conhecimentos do Gerenciamento de Projetos - PMBOK (Project Management Body of Knowledge) Guide. PMI, 2008.

SILVA, Pedro Alves. Amortecimento da celeridade de onda em condutos forçados. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>> Acesso em: 2018-02-07.