

CODIGO	VERSAO	DATA DA APROVAÇÃO	DOCUMENTO
NT-2B.2	03	16/02/2024	NOTA TÉCNICA

ASSUNTO

**TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797
ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I****ANEXO I – SELEÇÃO ECONÔMICA DE MATERIAIS PARA TUBULAÇÕES ENTERRADAS**

SANARE

**SELEÇÃO
ECONÔMICA DE
MATERIAIS PARA
TUBULAÇÕES
ENTERRADAS**

- Tosin, Maria Regina
- Saunitti, Rosa Maria

RESUMO

O presente trabalho oferece ao engenheiro projetista, metodologia para flexibilizar a especificação de tubulações destinadas ao transporte de águas ou esgotos.

Oferece aos fabricantes de tubos, por outro lado, condições para uma abertura de mercado, com competição efetiva em licitações de obras públicas, uma vez que, observada a metodologia proposta, os materiais constituintes das tubulações deixam de ser especificados como alternativas excludentes.

De fato, apoiada em conceitos de hidráulica, resistência dos materiais, mecânica estrutural e mecânica de solos, a metodologia foi desenvolvida para permitir, de uma maneira simples e direta, que se identifique as condições físicas de trabalho das tubulações pelos mais diversos tipos de materiais, (ferro, aço, concreto, plástico etc) respeitadas as características comportamentais e dimensionais próprias a cada material considerado.

Pretende-se com a aplicação da metodologia proposta, contribuir para a viabilização dos projetos da área do saneamento, levando-se em conta que, tipicamente, nesta área, os investimentos em tubulações representam, aproximadamente, 50% do total de todos os investimentos realizados.

ABSTRACT

This article offers to the design engineer a methodology to make more flexible the specifications of pipes used in the transport of waters or sewage.

It is offered to the pipe manufacturers, in other way, conditions for opening new markets with effective competition of pipes in biddings of public works. This happens because of complying with the proposed methodology, the materials used to make the pipes are no more specified, and there are no more alternative or excluded materials.

In fact, relied upon the concepts of hydraulics, strength of materials, structural mechanics and soil mechanics, the methodology was developed to allow, in a simple and direct way, the identification of the physical work conditions of pipes that can be faced and satisfied through several types of pipe materials, like steel, ductile iron, concrete, plastics, etc, if it is observed the proper characteristics of behaviour and dimensional of each considered material.

It is intended, with the use of the proposed methodology, to make the designs more feasible to the sanitation companies, taking into account that, typically, in such companies the investments in pipelines are worth 50% (approximately) of the total investments costs made.

INTRODUÇÃO

É fato conhecido que o transporte da água ou dos esgotos sanitários é responsável pela parcela mais significativa dos custos dos sistemas de fornecimento de água potável e de coleta de esgotos sanitários. Como até em um passado recente não se dispunha de muitas alternativas de materiais, a sistemática adotada nos projetos era a de definir um material nesta fase com base em custos praticados no mercado e quando da

compra indicar este material acrescido de “ou similar”. Este procedimento impedia que novos materiais fossem ofertados, bem como desestimulava os fabricantes a investirem na busca de soluções mais econômicas, compatibilizando os materiais com as reais necessidades dos sistemas, por desconhecerem as características operacionais bem como os ambientes de instalação.

Os materiais tradicionais, quase sempre, nos diâmetros acima de 300mm, apresentam resistências bem superiores às requeridas pelo sistema, assim embora com a “ou similar” continua-se a solicitar e a pagar pelo que não se precisa. É excesso de segurança a alto custo. Hoje, com a grande gama de materiais ofertados, pode-se comprar o que realmente se precisa com competitividade muito maior e conseqüentemente a preços sensivelmente menores, podendo em muitos casos ter-se os custos reduzidos em até 50%. (Isto é muito significativo!!!).

Para adaptar-se a esta realidade é que se desenvolveu este trabalho que objetiva principalmente:

- orientar o dimensionamento no que diz respeito às cargas externas, transcrevendo os tópicos principais das teorias existentes;
- destacar a grande contribuição do solo no alívio das cargas, reduzindo a participação dos tubos, desde que convenientemente avaliados e compactados. Para tal há que se conscientizar os responsáveis pela obra de assentamento das tubulações da importância dos cuidados na compactação do solo, principalmente no fundo e laterais das valas;
- classificar os materiais existentes principalmente quanto às capacidades de resistências às cargas externas, através da elaboração de tabelas práticas, com o cálculo dos coeficientes de rigidez;
- para subsidiar dimensionamento de tubulações, quando não se dispõe de informações precisas sobre as cargas do solo e cargas móveis, elaborou-se tabelas práticas, considerando-se as cargas máximas prováveis e os coeficientes de rigidez necessários para cada situação.

O trabalho finaliza com a proposta de nova especificação para compra de tubulações, que fornece as características técnicas e operacionais das mesmas, possibilitando ao fornecedor conhecer as reais necessidades do cliente.

Espera-se que esta nova sistemática, além de baixar consideravelmente os custos de transporte da água e dos esgotos, estimule os fabricantes a melhorarem seus materiais bem como surjam novas soluções, tais como tubos reforçados com anéis em situações de baixa pressão interna e grandes cargas externas. A seguir tem-se o resumo do trabalho.

“... continua-se a solicitar e a pagar pelo que não se precisa. É excesso de segurança a alto custo.”

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

1. DISSERTAÇÃO PRÁTICA

Diante da complexidade das variáveis e formulações envolvidas, procurou-se fazer a seguir uma simplificação, fornecendo dados para o projeto.

1.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS

a. Tubos Rígidos

Tubos Rígidos são aqueles que, quando submetidos à compressão diametral, podem sofrer deformações de até 0,1% no diâmetro, medidas no sentido de aplicação da carga, sem que apresentem fissuras prejudiciais.

Exemplo: Tubos de concreto simples e armado, manilhas de barro e tubos de cimento amianto.

b. Tubos Semi-Rígidos

Quando submetidos à compressão diametral, podem sofrer deformações no diâmetro, medidas no sentido de aplicação da carga, superiores a 0,1% e inferiores a 3%, sem que apresentem fissuras prejudiciais.

Exemplo: Tubos de ferro fundido cinzento, revestidos ou não com cimento, tubos de ferro dúctil revestidos com cimento, tubo de aço revestidos internamente com cimento.

c. Tubos Flexíveis

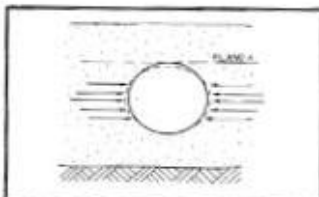
Quando submetidos à compressão diametral, podem sofrer deformações superiores a 3% no diâmetro, medidas no sentido da aplicação da carga, sem que apresentem fissuras prejudiciais.

Exemplo: Tubos de aço com revestimento elástico, tubos de ferro dúctil sem revestimento interno, tubos de PVC rígido, tubos de polietileno.

1.2 CAPACIDADE DE CARGA

Os tubos flexíveis derivam sua capacidade de carga da sua própria flexibilidade. Sob a carga de solo, o tubo tende a defletir, acarretando uma diminuição do diâmetro vertical e um aumento do diâmetro horizontal. Isto provoca uma reação do solo de envolvimento lateral, que impede maiores deformações.

Os tubos rígidos, não se defletindo, não podem utilizar o solo de envolvimento lateral como apoio, e sua capacidade de carga dependerá apenas da resistência do próprio tubo.



Reação do solo de envolvimento lateral

“... procurou-se fazer a seguir uma simplificação, fornecendo dados para o projeto.”

1.3 CARGAS

Os dois tipos principais de cargas a serem consideradas são as cargas de terra, devidas ao peso do solo acima da tubulação, e as cargas móveis, representadas pelo tráfego na superfície do terreno. Se ocorrer o vácuo, caso freqüente nas adutoras, essa pressão deve ser adicionada à pressão externa.

a) Carga de Terra

A carga de terra pode ser calculada pelas fórmulas de Marston, e depende principalmente do tipo de tubo (rígido ou flexível), tipo de solo, profundidade e tipo de instalação.

As instalações podem ser classificadas em dois tipos principais: valas e aterros.

a.1) Condição de Vala

A carga sobre um tubo na condição de vala pode ser calculada pelas fórmulas de Marston:

Tubos rígidos: $P = C_v \cdot g \cdot B \cdot B = C_v \cdot g \cdot B^2$

Tubos flexíveis: $P = C_v \cdot g \cdot B \cdot D$

onde:

P = carga sobre o tubo, por unidade de comprimento

B = largura da vala, no nível da geratriz superior do tubo

C_v = coeficiente de carga para tubos instalados em vala, que depende do tipo de solo, do recobrimento sobre o tubo (H) e da largura da vala (B).

D = diâmetro externo do tubo

g = peso específico do solo de reaterro. Os seguintes valores são recomendados:

MATERIAL	g (N/m ³)
materiais granulares sem coesão	17.000 (mín)
pedregulho e areia	19.000 (máx)
solo orgânico saturado	20.000 (máx)
argila	21.000 (máx)
argila saturada	22.000 (máx)

Equações válidas para $B \leq 2 D$

Analisando as duas expressões, comprovamos que a carga sobre um tubo rígido, nas mesmas condições de instalação, é sempre superior à carga sobre um tubo flexível, já que B é sempre maior que D.

a.2) Condição de aterro (condutos salientes)

Na condição de aterro, o tubo estará sujeito à carga máxima (pois não haverá alívio de carga devido ao atrito nas paredes da vala), que neste caso é calculado pela seguinte fórmula de Marston:

Tubos rígidos e flexíveis $P = C_A \cdot g \cdot D^2$

onde:

C_A = é o coeficiente de carga para tubos instalados na condição de aterro, sendo função do tipo de solo, da profundidade da instalação e do diâmetro do tubo, além de

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

outros fatores dependentes de deformações do solo e da tubulação.

Equação válida para $B \geq 2D$

Na maioria das instalações em aterro usando tubos flexíveis, verificou-se que o coeficiente de carga C_A é igual a H/D , o que conduz a:

Tubos flexíveis $P = g \cdot H \cdot D$ (aterros)

Para tubos flexíveis a carga se apresenta distribuída ao longo da área projetada do tubo e é expressa sob a forma de pressão do solo sobre o tubo:

$$Q_t = g H$$

Esta equação é conhecida como a "carga do prisma", sendo a carga máxima imposta pelo solo a um tubo flexível na maioria dos casos.

a.3) Nível do lençol freático

No caso do nível do lençol freático situar-se acima da tubulação, a carga de terra será calculada por:

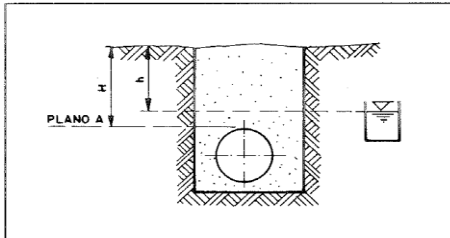
$$q_t = g h + (H - h) g_s$$

onde:

h = profundidade do nível do lençol freático

g_s = peso específico do solo saturado

H = recobrimento sobre o tubo



b. Cargas Acidentais (Móveis)

Resultantes do tráfego na superfície. Calculada através da integração de Newmark para fórmula de Boussinesq:

$$q_m = C f P$$

onde:

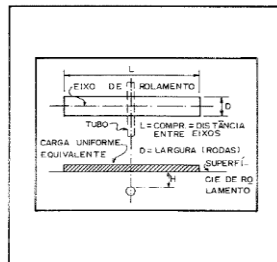
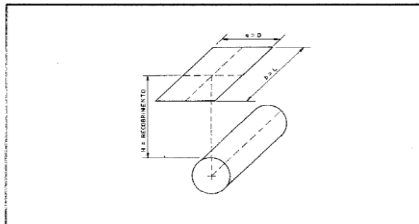
C = coeficiente de carga

f = fator de impacto, sendo:

$f = 1,5$ para rodovias

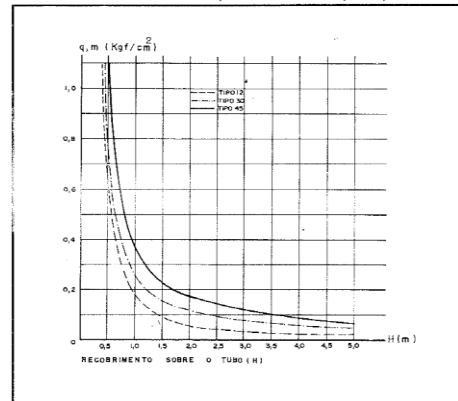
$f = 1,75$ para ferrovias

P = carga distribuída na superfície sobre uma área $a \times b$ ($= D \times L$)



Valores do Coeficiente de Carga C
(ver pág. 26 Tab. 1)

Os gráficos abaixo, fornecem valores da pressão no solo resultante de cargas móveis dos tipos 12, 30 e 45 t, sendo considerada a posição mais desfavorável do veículo em relação ao tubo e fator de impacto unitário ($f = 1$).



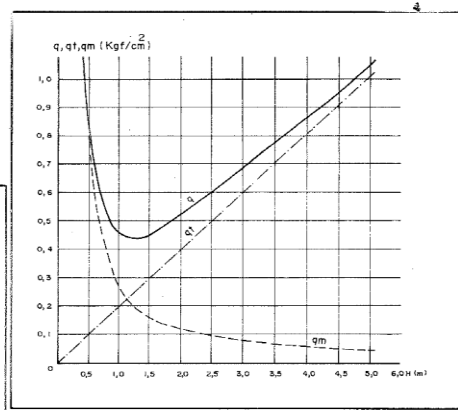
Pressão no solo devido a cargas móveis

Obs: A carga móvel tipo 30 t é a que representa aproximadamente o tráfego de veículos pesados em rodovias, sendo o valor máximo admitido para as condições brasileiras.

c. Carga Total

É a soma da carga de terra, da carga móvel e de outras que porventura existam, tais como fundações, vácuo etc.

A figura abaixo mostra a composição de carga móvel de um veículo tipo 30 t com a carga de terra (carga do prisma) para um solo de médio peso específico ($g = 20.000 \text{ N/m}^3$), considerando-se um fator de impacto unitário ($f = 1$).



Recobrimento sobre o tubo (H)

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

		b / 2H = L / 2H															
		0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,30	0,40	0,50	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
a / 2H = D / 2H	0,02	0,001	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,011	0,014	0,016	0,018	0,021	0,025	0,024	0,025	0,025	0,025
	0,05	0,002	0,005	0,009	0,014	0,018	0,023	0,027	0,034	0,040	0,045	0,052	0,058	0,061	0,063	0,063	0,064
	0,1	0,004	0,009	0,015	0,022	0,037	0,045	0,053	0,067	0,079	0,089	0,103	0,112	0,121	0,124	0,126	0,126
	0,15	0,006	0,014	0,022	0,041	0,054	0,067	0,079	0,100	0,118	0,132	0,153	0,166	0,181	0,185	0,187	0,188
	0,2	0,007	0,018	0,037	0,054	0,072	0,088	0,103	0,131	0,159	0,174	0,202	0,219	0,238	0,244	0,247	0,248
	0,25	0,009	0,023	0,045	0,067	0,088	0,108	0,127	0,161	0,190	0,214	0,248	0,269	0,295	0,301	0,305	0,306
	0,3	0,011	0,027	0,053	0,079	0,103	0,127	0,149	0,190	0,224	0,252	0,292	0,318	0,346	0,353	0,359	0,361
	0,4	0,014	0,034	0,067	0,100	0,131	0,161	0,190	0,241	0,294	0,320	0,373	0,405	0,442	0,454	0,460	0,461
	0,5	0,016	0,040	0,079	0,118	0,155	0,190	0,224	0,284	0,356	0,379	0,441	0,481	0,525	0,540	0,547	0,549
	0,6	0,018	0,045	0,089	0,132	0,174	0,214	0,252	0,320	0,379	0,428	0,499	0,544	0,596	0,613	0,622	0,624
	0,8	0,021	0,052	0,103	0,153	0,202	0,248	0,292	0,373	0,441	0,499	0,584	0,639	0,703	0,725	0,736	0,740
	1,0	0,023	0,058	0,112	0,166	0,219	0,269	0,318	0,405	0,481	0,544	0,639	0,701	0,775	0,800	0,814	0,818
	1,5	0,024	0,061	0,121	0,181	0,238	0,293	0,346	0,442	0,525	0,596	0,703	0,775	0,863	0,894	0,913	0,918
	2	0,025	0,063	0,124	0,185	0,244	0,301	0,355	0,454	0,540	0,613	0,725	0,800	0,894	0,930	0,951	0,956
	3	0,025	0,063	0,126	0,187	0,247	0,305	0,359	0,460	0,547	0,622	0,736	0,814	0,913	0,951	0,976	0,984
5	0,025	0,064	0,128	0,188	0,248	0,306	0,361	0,461	0,549	0,624	0,740	0,818	0,918	0,958	0,984	0,994	

VALORES DO COEFICIENTE DE CARGA C.

Valores do Coeficiente de Carga C

Pressões no solo devido à carga de terra (q_t), à carga móvel (q_m) e à ação conjugada das duas (q).

Pelo gráfico se observa que a carga total é elevada para pequenas profundidades, devido à influência da carga móvel. Passa depois por um valor mínimo, para uma profundidade de 1,3m, aproximadamente, para em seguida voltar a crescer sob a influência da carga de terra.

1.4 DEFLEXÃO

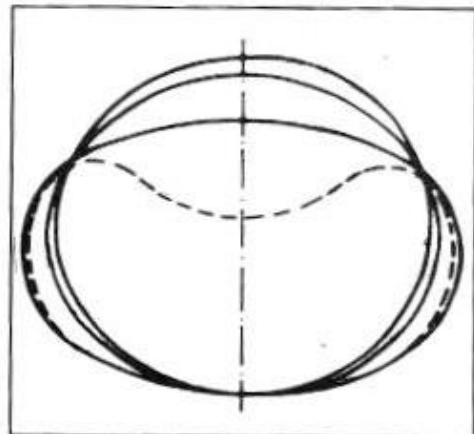
Os tubos flexíveis se defletem sob carga, como já visto, usando então o solo de envolvimento lateral como suporte para resistirem às cargas. Porém, há limites para esta deflexão, pois a partir de um determinado valor ocorre o colapso do tubo.

O mecanismo de deflexão é tal que o tubo, passando a uma forma aproximadamente elíptica, chega a um ponto em que a curvatura se reverte (linha tracejada na figura). A partir daí, um aumento de carga provocará o movimento das paredes laterais do tubo para dentro, desaparecendo então o apoio lateral proporcionado pelo solo. O colapso, então, estará eminente e será tão rápido quanto o prisma de solo situado sobre o tubo possa se deslocar para baixo.

Este é o comportamento normal de tubos flexíveis enterrados, sendo seu projeto pela teoria de Spangler, baseado na limitação da deflexão a um valor seguro.

Para cargas muito elevadas (profundidades

superiores a 10 m) em solos rígidos, é aconselhável a verificação do dimensionamento quanto ao esmagamento da parede e possibilidade de colapso localizado.



Etapas da deflexão de tubos flexíveis enterrados

1.4.1 FÓRMULA DE SPANGLER

O cálculo da deflexão de tubos flexíveis enterrados, baseado na teoria de Spangler, pode ser expresso da seguinte forma: onde:

$$d = \frac{K(D_r \cdot (q_t + q_m))}{CR + 0,061 \cdot E_s} = \frac{\text{Fator de carga}}{\text{Fator de rigidez do anel do tubo} + \text{Fator de rigidez do solo}}$$

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

d = deflexão a longo prazo (diminuição do diâmetro vertical do tubo)

D = diâmetro médio do tubo

D_r = coeficiente de deformação retardada
(= D_L = deformação lenta)

K = constante de leito

q_t = pressão no solo devido às cargas de terra

q_m = pressão no solo devido às cargas móveis

CR = fator de rigidez do tubo

E_s = módulo reativo do solo

Analisemos os diversos fatores que entram na composição da fórmula de Spangler:

a) Deflexão a Longo Prazo (d)

Normalmente se trabalha com a deflexão relativa em porcentagem, isto é,
 $d/D \times 100 = d\%$

b) Fator de carga ($K (D_r, q_t + q_m)$)

Este fator incorpora os parâmetros relativos à grandeza e à distribuição das pressões no tubo enterrado.

A deflexão do tubo é diretamente proporcional ao fator de carga e ainda há incertezas em relação aos seus componentes. Variações da qualidade das construções podem afetar significativamente este fator.

b.1) Coeficiente de Deformação Retardada (D_r)

A fórmula de Spangler, sem este coeficiente, forneceria a deflexão do tubo logo após o estabelecimento das cargas. O coeficiente de deformação retardada é introduzido com o

deformação é amenizado pelo efeito de arredondamento provocado pela pressão

E_s (kgf/cm ²)	14	28	70	140	210
D_r	2,0	1,75	1,50	1,25	1,0

interna na tabulação. Para estes casos deverá ser adotado D_r entre 1.0 e 1,5.

b.2) Constante de Leito (K)

A constante de leito leva em consideração a situação de apoio inferior da tubulação, sendo função do ângulo que abrange a superfície de apoio do tubo sobre o leito.

O valor de K varia de 0,083 a 0,116 correspondem, respectivamente, a um ângulo de apoio de 180° a 0°. Será adotado $K = 0,1$ (equivalente a um ângulo de apoio de 35°).

b.3) Pressões no Tubo Devido à Carga de Terra e às Cargas Móveis (q_t, q_m)

São pressões atuantes sobre o plano horizontal (a) que passa pela geratriz superior do tubo, sendo resultante da carga da terra e cargas móveis.

c) Fator de Rigidez do Anel do Tubo (CR)

De uma maneira geral o fator EI/r^3 tem pouca influência na deflexão do tubo porque o outro fator de rigidez do solo é muito maior.

É oportuno lembrar que o fator de rigidez do anel do tubo é que permitirá o cálculo da espessura da chapa do tubo, pois $I = e^3/12$ onde e é a espessura da chapa. Para tanto recomenda-se que o fator EI/r^3 não seja nunca menor do que 10% a 15% do que o fator de rigidez do solo $0,061 E_s$ (*).

É uma medida de resistência do tubo à deflexão, verificado no ensaio de pratos paralelos (ABNT MB 2:09.01-049 - Projeto).

d) Fator de Rigidez do Solo ($0,061 E_s$)

É um fator indicativo da capacidade de suporte do solo de envolvimento lateral, desempenhando papel fundamental na resistência à deflexão do tubo.

O módulo reativo do solo depende principalmente do tipo de solo de envolvimento lateral e do grau de compactação. Solos granulares (areia, pedregulhos, brita) apresentam valores do módulo reativo bem maiores do que os solos finos (argilas, siltes).

O grau de compactação do solo de envolvimento lateral influi tanto quanto o tipo de solo, sendo tanto maior o módulo reativo quanto maior o grau de compactação.

O módulo reativo do solo é de difícil avaliação. Um dos melhores trabalhos efetuados com o objetivo de apresentar valores para E_s foi conduzido por Howard, do Bureau of Reclamation, dos Estados Unidos, que

TIPO DE SOLO	VALOR DE E_s (kgf/cm ²) PARA VÁRIOS GRAUS DE COMPACTAÇÃO PROCTOR			
	DESPEJADO S/COMPACTAÇÃO	LEVE 85%	MODERADO 85% - 95%	ALTO >95%
BRITA	70	210	210	210
SOLOS GRANULARES COM POUCO OU NENHUM MATERIAL FINO: GW, GP, SW, SP	14	70	140	210
SOLOS GRANULARES COM MATERIAL FINO: GM, GC, SM, SC.	7	28	70	140
SOLOS FINOS COM MÉDIA E NENHUMA PLASTICIDADE (LL < 50): CL, ML, ML - CL, COM MAIS DE 25% DE MATERIAL GRANULAR.	3,5	14	28	70
SOLOS FINOS COM MÉDIA E NENHUMA PLASTICIDADE (LL > 50): CH, MH, CH - MH.	NÃO HÁ DADOS SEGUROS. CONSIDERA-SE $E_s = 0$			

objetivo de se prever a deflexão a longo prazo de um tubo flexível enterrado.

O valor de D_r situa-se entre 1 e 2, estando relacionado com o valor de E_s . Quanto maior o valor de E_s (solos de melhor qualidade e maior grau de compactação), menor o valor de D_r .

Podem ser adotados os seguintes valores de D_r para tubos não pressurizados:

Para tubos pressurizados esse efeito de

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

apresentamos no quadro da figura 1.

(*) Observação do engº Paulo Ferreira feita no trabalho sobre Critérios de Dimensionamento de Tubulações Flexíveis publicado na Revista DAE, nº 129/1982.

2. AVALIANDO OS MATERIAIS

2.1 PROPRIEDADES DOS DIVERSOS MATERIAIS

Para o desenvolvimento das tabelas de caracterização dos materiais, apresentadas nos itens 2.2 e 2.3, conhecer as propriedades físicas dos materiais alternativos é fundamental. Abaixo são apresentadas as características de forma resumida.

2.1.1 AÇO A-283 GR C

T_e = Tensão de escoamento - 2.100 Kgf/cm²
 T_{adm} = Tensão de trabalho admissível - 1.050 Kgf/cm²
 = 0,5 T_e
 T_{adm} = Tensão para condições excepcionais - 1.575 Kgf/cm²
 = 0,75 T_e
 E = Módulo de elasticidade - 2.100.000 Kgf/cm².
 ν = Módulo de Poisson - 0,27.
 K = 0,5 - para cálculo da celeridade.

2.1.2 FERRO DÚCTIL

T_f = Tensão de flexão máxima - 3.310 Kgf/cm²
 E = Módulo de elasticidade - 1.700.000 Kgf/cm²
 T_{adm} = 850 Kgf/cm²
 ν = Módulo de Poisson - 0,24 a 0,27.
 K = 0,588

2.1.3 PVC RÍGIDO - DIN 8062 e 8063

T_c = Tensão à compressão PVC a 20°C - 700 Kgf/cm² (7 x Tração).
 T_{adm} = Tensão de trabalho admissível - 40 Kgf/cm² para VINILFORT
 T_{adm} = Tensão de trabalho admissível - 60 Kgf/cm² para PBA (CL12, CL15, CL20)
 T_{adm} = Tensão de trabalho admissível - 120 Kgf/cm² para DEFOFO 1MPa.
 NT.1 - AS NORMAS INTERNACIONAIS RECOMENDAM: T_{adm} para PVC - 100 Kgf/cm²
 E = Módulo de elasticidade - 27.000 Kgf/cm² para o cálculo das deformações e colapso.
 NT.2 - Adotar E = 30.000 Kgf/cm² para transientes porque há colaboração do solo no enrijecimento.
 K = 33,33
 ν = módulo de Poisson - 0,4

2.1.4 PEAD - DIN 8074 e 8075

T_{adm} = Tensão admissível à tração para 50 anos a 20°C - 50 Kgf/cm²
 E = Módulo de elasticidade (Creep modulus) = módulo de plastodeformação = 9.000 Kgf/cm² - para longos períodos E = 1.000

kgf/cm² (50 anos)
 ν = Módulo de Poisson = 0,4
 Celeridade = 115 (PN)^{1/2} (m/s)

2.1.5 RPVC

Trata-se de material anisotrópico, com grande variação nas propriedades. A resistência dos laminados à fadiga depende do teor a do arranjo das fibras, bem como da resina utilizada.

E_c = módulo de elasticidade à flexão circunferencial - 54.000 a 162.000 Kgf/cm²

ν = módulo de Poisson = 0,25

E_t = módulo de tração circunferencial - 60.000 a 180.000 Kgf/cm²

K = $10^6/E_t$ para cálculo celeridade

$T_{\tau adm}$ = resistência à tração circunferencial 1000 a 3200 Kgf/cm²

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS QUANTO À RIGIDEZ

O fator de rigidez dos tubos - CR, é dado por:

$$CR = \frac{E_c \times l}{R^3} = \frac{E_c \times e^3}{12R^3} = \frac{8 \times E_c \times l}{D^3} = \frac{2 \times E_c \times e^3}{3 \times D^3} \text{ (em Kgf/cm}^2\text{)}$$

onde:

E_c = módulo de flexão circunferencial (Kgf/cm²)

I = momento de inércia da parede do tubo em relação ao eixo longitudinal, por unidade de comprimento (cm x cm³/cm)

R = raio médio da seção do tubo (cm) - $D/2$

e = espessura da chapa do tubo (cm)

D = diâmetro médio do tubo (cm)

2.2.1 DADOS PARA CÁLCULO DO FATOR DE RIGIDEZ DOS TUBOS

a) AÇO (REF. CONFAB - JE)

E_c = 2.100.000 Kgf/cm²
 D/e = variável

b) FERRO DÚCTIL

E_c = 1.700.000 Kgf/cm²
 D/e = variável ==> aumenta com os diâmetros

c) PVC

E_c = 27.000 Kgf/cm²

c1) VINILFORT (ESGOTO) - NBR 7362 (EB 644)
 DN100 a DN200 - D/e = 43,5
 DN250 a DN400 - D/e = 40,0

c2) PBA - classe 12 - D/e = 21
 PBA - classe 15 - D/e = 17
 PBA - classe 20 - D/e = 13

c3) VINILFER - DEFOFO - 1 MPa - D/e = 24

d) PEAD

“Trata-se de material anisotrópico, com grande variação nas propriedades.”

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

$E_{cL} = 1000 \text{ Kgf/cm}^2$ (módulo de 50 anos - para cargas permanentes)

$E_{cC} = 9000 \text{ Kgf/cm}^2$ (mód. de 3 minutos - para cargas transientes)

D/e _ 100/PN PN 2,5 - D/e = 40

PN 3,2 - D/e = 31

PN 4,0 - D/e = 25

PN 6,0 - D/e = 16

PN 10 - D/e = 10

e) RPVC

E_c - variável entre 54.000 e 162.000 Kgf/cm^2

Os valores D/e variam com as classes de pressão interna e com os diâmetros.

O RPVC é um material anisotrópico, porque suas características físicas variam muito, em função da relação resina de poliéster/fibra de vidro, espessura do PVC etc.

Salienta-se também que para as espessuras apresentadas no catálogo, estes tubos devem merecer especial atenção quando da ocorrência de vácuo, mesmo que parcial.

Uma solução econômica para aumentar a rigidez destes tubos é a utilização de anéis de reforço.

Segundo as normas AWWA - C 950 - 88 - os tubos de fiberglass devem ter classes de rigidez iguais a 0,10 Kgf/cm^2 - 0,20 Kgf/cm^2 - 0,40 Kgf/cm^2 - 0,80 Kgf/cm^2 .

Obs.:

(*) o diâmetro adotado é o diâmetro médio.

CR dado em Kgf/cm^2

2.2.2 TABELAS DOS FATORES DE RIGIDEZ DOS TUBOS - CR

$$CR = 2/3 \times E_c \times (e/D)^3$$

a) AÇO (Ref. CONFAB - JE) - $E_c = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$

DN(mm)	e(mm)	D/e	CR	DN(mm)	e(mm)	D/e	CR
150	4.37	37.5	26.55	900	5.56	169	0.2900
200	4.37	49.1	11.83		6.30	149	0.4232
250	4.37	61.5	6.02		7.10	132	0.6087
300	4.37	73.1	3.58		8.00	117	0.8741
350	4.37	80.4	2.69		9.50	98	1.4875
400	4.78	84.0	2.36	1000	6.30	165	0.3117
450	4.78	94.6	1.65		7.10	147	0.4407
500	5.56	90.4	1.90		8.00	130	0.6372
550	5.56	99.5	1.42		9.50	109	1.0811
600	6.35	95.0	1.63		11.20	93	1.7405
700	4.37	168	0.2953	1200	7.10	176	0.2568
	4.75	154	0.3833		8.00	156	0.3688
	5.56	133	0.5951		9.50	131	0.6228
	6.30	116	0.8969		11.20	111	1.0237
	7.10	103	1.2812		12.50	100	1.4000
800	4.75	176	0.2568				
	5.56	150	0.4148				
	6.30	133	0.5951				
	7.10	118	0.8521				
	8.00	104	1.2446				

b.1)FD K7 - $E_c = 1700.000 \text{ Kgf/cm}^2$

DN	D/e	CR
100	22.6	98.18
150	31.7	35.60
200	40.1	17.56
250	48.8	9.74
300	56.2	6.39
350	63.06	4.52
400	67.09	3.75
500	75.00	2.68
600	81.46	2.09
700	86.86	1.7296
800	91.53	1.4781
900	95.43	1.3041
1000	98.81	1.1748
1200	104.46	0.9942

b.2)FD K9 $E_c = 1700.000 \text{ Kgf/cm}^2$

DN	D/e	CR
100	18.84	169.36
150	26.48	61.01
200	34.19	28.36
250	39.79	17.98
300	47.44	12.62
350	48.59	9.88
400	52.46	7.85
450	55.31	6.70
500	58.61	5.63
600	63.64	4.40
700	67.83	3.63
800	71.47	3.11
900	74.50	2.74
1000	77.13	2.47
1200	81.53	2.09

c) FD 1MPa $E_c = 1.700.000 \text{ Kgf/cm}^2$

DN	D/e	CR
100	31.8	35.31
150	42.6	14.67
200	51.8	8.13
250	59.9	5.28
300	66.9	3.78

d) PVC - $E_c = 27.000 \text{ Kgf/cm}^2$

	D/e	CR
ESGOTO DN 100-200	43.5	0.2187
ESGOTO DN 250-400	40.0	0.2813
ÁGUA 1 MPa	24.0	1.3021
ÁGUA PBA - 12	21.0	1.9436
ÁGUA PBA - 15	17.0	3.6637
ÁGUA PBA - 20	13.0	8.1930

e) PEAD

	D/e	CR - $E_c = 1000$	CR - $E_c = 9000$
PN 2.5	40	0.0104	0.0936
PN 3.2	31	0.0224	0.2016
PN 4.0	25	0.0427	0.3843
PN 6.0	16	0.1628	1.4652
PN 10.0	10	0.6667	6.0000

$E_c = 1000 \text{ Kgf/cm}^2$ para "cargas longas"

$E_c = 9000 \text{ Kgf/cm}^2$ para "cargas curtas"

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

relações diâmetro/espessura (D/e) foi feito como segue:

Para tubos perfeitamente circulares: $d = 0$

$$P_{Cr} = \frac{2 E (e/D)^3}{1 - \nu^2} \quad \text{Eq (1)}$$

onde:

D = diâmetro médio do tubo

E = módulo de elasticidade Kgf/cm²

ν = módulo

de Poisson (para aço = 0,27)

e = espessura da parede do tubo

- Esta expressão é válida desde que a tensão de compressão correspondente não exceda a tensão de ruptura do material à compressão. O limite da relação (e/D) para aplicações desta fórmula é encontrado pela equação:

$$T_c = \frac{2 E (e/D)^2}{1 - \nu^2} \quad \text{Eq (1)}$$

Para o aço com $T_e = 2.100 \text{ Kgf/cm}^2$ tem-se para limite aproximadamente o valor $D/e = 46$.

Para valores D/e abaixo de 20 a tensão crítica é tomada como a tensão de escoamento. Valores intermediários são obtidos pela interpolação entre a tensão de escoamento e a tensão crítica correspondente dada pela equação (2).

$$P_c = 2 e T_c/D$$

Para tubos com excentricidade inicial obtém-se a pressão crítica através da equação:

$$P_{Cr}^2 - 1 2. T_e (e/D) + (1 + K D/e) P_o \mid P_{Cr} + 2. T_e (e/D) P_o = 0$$

sendo:

P_{Cr} = máxima pressão externa para tubulação com excentricidade inicial (não circular).

T_e = tensão de escoamento do material

D/e = relação diâmetro médio/espessura do tubo

P_o = pressão crítica para tubo perfeitamente circular

K = 3 x (excentricidade)

por exemplo para excentricidade de

1% - K = 0,03

5% - K = 0,15

b. Tabela de Pressões Críticas de Colapso para Tubos de Aço Aéreo em (kgf/cm²)

(Sem Coef. Segurança/ Sem Colaboração do Solo)
Para Várias Deformações Iniciais e Relações D/e

Aço com $T_e = 2.100 \text{ Kgf/cm}^2$ e $E = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$

D/e	Tubo Perfl Circular d=0	d=1%	d=2%	d=3%	d=4%	d=5%	d=10%
10	420	322	197	168	147	132	88
20	210	99	74	60	50	44	27
30	149	57	40	32	26	22	13
40	70	32	23	18	15	13	7
50	37	20	14	11	9	8	5
60	22,5	13	10	8	6	5	3
70	14,0	9	7	5	4,5	3,8	2,3
80	9,0	6	4,7	3,8	3,2	2,8	1,7
90	6,4	4,5	3,5	2,9	2,5	2,2	1,3
100	4,6	3,4	2,7	2,3	1,9	1,7	1,1
110	3,5	2,6	2,1	1,8	1,5	1,3	0,9
120	2,7	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1	0,7
130	2,2	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,6
140	1,8	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,5
150	1,4	1,1	0,95	0,83	0,73	0,64	0,42
160	1,1	0,9	0,79	0,69	0,61	0,55	0,36
170	1,0	0,8	0,68	0,59	0,53	0,48	0,32
180	0,8	0,7	0,58	0,51	0,46	0,41	0,28
190	0,7	0,6	0,50	0,44	0,40	0,36	0,24
200	0,6	0,5	0,43	0,38	0,35	0,31	0,21
210	0,49	0,42	0,37	0,33	0,30	0,28	0,19
220	0,42	0,37	0,33	0,29	0,27	0,24	0,17
230	0,37	0,33	0,29	0,26	0,24	0,22	0,15
240	0,33	0,29	0,26	0,24	0,21	0,20	0,14
250	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,18	0,13
260	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18	0,16	0,12
270	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,11
280	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,10
290	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,09
300	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,08

c. Considerações:

- As pressões externas seguras para outros materiais com um mais baixo módulo de elasticidade e tensão de escoamento, podem ser obtidas para valores de D/e maiores que 50 pela multiplicação pela relação entre os módulos de elasticidade desses materiais e o do aço.
- Para valores de D/e menores que 50 a pressão externa para o material de menor resistência, deve ser ajustada na razão das tensões de escoamento dos materiais.

3.2 RIGIDEZ NECESSÁRIA PARA TUBOS ENTERRADOS

- TABELAS

a: Rigidez Total Necessária (tubo + solo)

b: Rigidez do Tubo

Objetivando facilitar o trabalho de dimensionamento das tubulações para cargas externas e vácuo, bem como para permitir uma sistematização dos cálculos elaborou-se as seguintes tabelas:

a. Fator de Rigidez Total (Tubo + Solo) para Várias Deformações e Cargas Externas.

Fórmula de Spangler: $d = K \frac{\text{fator de carga}}{\text{fator de rigidez do tubo} + \text{fator de rigidez do solo}}$

“... a pressão externa para o material de menor resistência deve ser ajustada...”

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

K = coef. de leito adotado igual a 0,100 (varia de 0,083 a 0,116).

a.1 Uso Prático da Tabela

1. Calcula-se o fator de carga que atua sobre a tubulação, com K = 0,10, por meio de figuras ou equações (dadas no capítulo 1);
2. Verifica-se para o material a ser adotado qual a deformação máxima permitida, ver catálogo de fornecedores ou normas técnicas;
3. Com estes valores, entra-se na tabela abaixo onde, obtém-se a Rigidez Total Necessária (tubo + solo);
4. Com as tabelas correspondentes aos fatores de rigidez dos tubos e do solo, demonstradas no item 2.2, compõe-se a Rigidez Total necessária para suportar as cargas previstas com a deformação máxima admissível para cada caso conforme o material e o revestimento permitem.
5. Deve-se observar que a rigidez do tubo seja de no mínimo 10 a 15% da rigidez do solo.

a.2 Tabela da Rigidez Total Necessária

Carga	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
1%	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
2%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3%	0,67	1,33	2,00	2,67	3,33	4,00	4,67	5,33	6,00	6,66
4%	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
5%	0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	4,00
6%	0,33	0,66	1,00	1,33	1,66	2,00	2,33	2,67	3,00	3,33
7%	0,29	0,57	0,86	1,14	1,43	1,71	2,00	2,29	2,57	2,86

Carga em Kgf/cm² 1 Kgf/cm² = 10 m.c.a.

b. Fator de Rigidez dos Tubos Necessários - verificação quanto ao colapso

b.1 Considerações

- Para os vários módulos de resistência passiva dos solos;
- Para a carga externa de 1,6 Kgf/cm², composta abaixo, que representa com boa segurança a maioria das linhas de recalque sujeitas ao vácuo total.
Carga = Vácuo (9 mca) + Aterro (4 mca) + C. Móvel (3 mca)
= 16 mca = 1,6 Kgf/cm²;
- Coeficiente de Segurança = 2,5
- Não foi considerada a ocorrência de lençol freático (Ra = 1);
- Carga móvel de 30 t;
- Fator de impacto f = 1,5 (transporte rodoviário);
- recobrimentos (H) : mínimo = 1,20 m máximo = 2,00 m

b.2 Uso Prático das Tabelas (itens b.3 e b.4)

Supondo uma tubulação já definida que se tenha que escolher qual material adquirir, podemos proceder:

1. Calcula-se para o material ofertado qual fator de

- rigidez do tubo e a deflexão máxima permitida;
2. Estabelece-se qual a condição de solo que se conseguirá obter na execução da obra, E_s;
 3. Com estes valores, entra-se na tabela e compara-se o fator de rigidez do tubo proposto com o fator de rigidez do tubo necessário.
- Obs.: Tabelas válidas para as considerações simplificadoras adotadas no item b.1.

b.3 Utilizando-se a fórmula de Luscher:

$$P_{cri} = (4 \cdot Ra \cdot B' \cdot E_s \cdot E_c \cdot l \cdot R_w / R^3)^{1/2}$$

$$= (4 \cdot Ra \cdot B' \cdot E_s \cdot CR \cdot R_w)^{1/2}$$

Válida para: na ausência do vácuo : 0,6 m <= H <= 24 m

com vácuo : 1,2 m <= H <= 24 m

onde:

P_{cri} = pressão crítica que colapsa o tubo

Ra = coeficiente de empuxo hidrostático para lençol freático acima da geratriz superior do tubo.

$$Ra = 1 - 0,33 \text{ ha}/H$$

sendo:

ha = distância do lençol freático à geratriz superior do tubo (m)

H = altura do recobrimento (m)

B' = coeficiente de suporte elástico

$$B' = \frac{1}{1 + 4 \cdot e^{-0,213 \cdot H}} \quad (H \text{ em metros})$$

E_s = módulo reativo do solo (Kgf/cm²)

CR = rigidez do tubo por unidade de comprimento (Kgf/cm²).

Cálculo:

- B' min = considerando-se o recobrimento mínimo de 1,20 m (com vácuo) = 0,244

$$\text{Para coef. seg.} = 2,5 \rightarrow CR = 16,3934/E_s$$

Tabela Resultante de CR do tubo para Carga 1,6 Kgf/cm²

E _s	CR	CR mínimo para o tubo não colapsar
3,5	4,68	
7,0	2,34	
14,0	1,17	
28,0	0,59	
70,0	0,23	
140,0	0,12	
210,0	0,08	

b.4 Utilizando-se a fórmula de Meyerhof-modificada para a ovalização

$$P_{cri} = (4 \cdot E_s \cdot CR)^{1/3} \cdot ((1-d)/(1+d))^3 \cdot P_{vácuo} / (P_v + q \cdot \text{externas})$$

Para ovalização variável - 3% - 5% - 6%.

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

Tabela Resultante de CR do Tubo para Carga 1,6 Kgf/cm²

E _s	CR para d = 3%	CR para d = 5%	CR para d = 6%	
3,5	6,25	8,82	10,37	
7,0	3,13	4,41	5,19	
14,0	1,56	2,21	2,59	
28,0	0,78	1,10	1,29	
70,0	0,31	0,44	0,52	CR mínimo para o tubo não colapsar
140,0	0,16	0,22	0,26	
210,0	0,10	0,15	0,17	

3.3 TABELA DE PRESSÕES CRÍTICAS ADMISSÍVEIS (EXTERNAS) PARA O PEAD

a Conforme Método Proposto no Manual para Dimensionamento do PEAD

- Utilizando:

E_C = 9000 Kgf/cm² - módulo de curto prazo - pois a resistência ao colapso dos tubos ou a estabilidade elástica não é afetada pela deformação de longo período.

a.1 Considerações

- Coeficiente de segurança 2,5;
- Sem ocorrência de lençol freático.

a.2 Uso Prático da Tabela

1 - Faz-se o cálculo da pressão a qual a tubulação estará submetida, considerando:

P = pressão (solo + móvel + lençol freático) -

pressão interna mínima

(*) a pressão interna mínima entra com seu valor real na ocorrência de vácuo (negativo).

2 - Avalia-se as condições existentes e as deflexões máximas permitidas;

3 - Com estes valores, entrando na tabela, obtém-se qual a classe de pressão do tubo que atende a condição de pressão admissível.

a.3 Tabela das Pressões Admissíveis (externas) para que não ocorra o Colapso da Tubulação (em Kgf/cm²)

Classe de Pressão Rigid.	Fator de Rigidez	Solo sem Compactação/Ovalização dos Tubos				Solo Compactado/Ovalização dos Tubos					
		1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%		
PN 2,5	0,0936	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,36	0,33	0,30	0,28	0,24
PN 3,2	0,2016	0,39	0,35	0,32	0,30	0,26	0,78	0,71	0,65	0,60	0,52
PN 4,0	0,3843	0,59	0,54	0,49	0,46	0,39	1,38	1,26	1,15	1,08	0,92
PN 6,0	1,4652	1,88	1,72	1,57	1,46	1,26	4,33	3,95	3,61	3,37	2,89
PN 10,0	6,0000	7,72	7,03	6,43	6,00	5,14	9,26	8,43	7,71	7,20	6,17

Fator de rigidez em Kgf/cm²

Pode também ser calculado pela fórmula adotada para os outros materiais

b. Conforme fórmula utilizada para os outros materiais

$$P_{crit} = (4 \cdot R_a \cdot B' \cdot E_s \cdot CR)^{1/2}$$

Considerações:

- para H = 1,0 m -> B' = 0,236
- sem lençol freático

Tabelas das Pressões Admissíveis (em Kgf/cm²)

Classe de Pressão	E _s = 14 Kgf/cm ²	E _s = 28 Kgf/cm ²	E _s = 70 Kgf/cm ²
PN 2,5	0,44	0,63	0,99
PN 3,2	0,65	0,92	1,46
PN 4,0	0,90	1,28	2,02
PN 6,0	1,76	2,49	3,94
PN 10,0	3,56	5,04	7,96

4. CLASSIFICAÇÃO DAS TUBULAÇÕES DISPONÍVEIS NO MERCADO/ CONCLUSÕES

4.1 QUANTO AS PRESSÕES INTERNAS:

Para pressões internas até 10,0 Kgf/cm² - 100 mca, os materiais plásticos PEAD e PVC são competitivos com os materiais metálicos, sendo que o PEAD tem se mostrado econômico para pressões internas de até 6,0 Kgf/cm².

Para redes coletoras de esgoto, não pressurizadas, as manilhas cerâmicas e os tubos de concreto são os materiais mais econômicos. Os tubos plásticos neste caso, se apresentam competitivos, pelas juntas estanques, nos locais de lençol freático elevado, quando se tem vazões de infiltração que levam à necessidade de diâmetros maiores.

Para pressões acima de 10,0 Kgf/cm², o RPVC reforçado com fibras de vidro e resina de poliéster se apresenta como alternativa para diâmetros até DN 300 mm.

Para pressões de até 20,0 Kgf/cm² e diâmetros maiores que 300 mm também o RPVC é competitivo. Em resumo tem-se:

MATERIAIS	DN	atm	PRESSÕES INTERNAS - Kgf/cm ²															
			2,0	4,0	6,0	7,5/8	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	ACMA	20,0				
MANILHA DE BARRIL	100-300																	
CONCRETO ARMADO JE	>1-400																	
PVC - VINILFORT	100-400																	
PVC - PBA 15	25-40																	
PVC - PBA 12	50-300																	
PVC - PBA 15	50-300																	
PVC - PBA 20	50-300																	
PVC - DE FFFF	100-300																	
RPVC (S)	50-700																	
PEAD (S)	25-1200																	
ACO-JS-JE	>150																	
FD 1 MPa	100-300																	
FD K7	100-1200																	CONF DN
FD K9	50-1200																	

(S) ESTES MATERIAIS PODEM SER DIMENSIONADOS PARA A CLASSE EXATA DE PRESSÃO NECESSÁRIA.

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

4.2 QUANTO ÀS PRESSÕES EXTERNAS

As tubulações plásticas e as de aço, para baixas pressões internas, devem ser cuidadosamente dimensionadas para os diferenciais de pressão externas/internas que ocorrem, mesmo que em regimes transientes ou em condições excepcionais de operação. Toda a metodologia para este dimensionamento é o objeto principal deste trabalho.

Considerando-se as dificuldades para este dimensionamento, face à existência de várias considerações, fórmulas empíricas cuja aplicação diverge nas normas e em catálogos dos fabricantes, procurou-se elaborar tabelas simples que permitam identificar pelos vários critérios adotados, as capacidades de suporte dos materiais disponíveis.

Para o dimensionamento das tubulações quanto às cargas externas (carga de solo, carga móvel, vácuo interno parcial ou total, lençol freático acima da geratriz superior), **todos os materiais disponíveis são avaliados pelo indicador "Fator de Rigidez do Tubo", denominado CR, que é igual a:**

$E'_c \times e^3 / (12 \times R^3)$ e a deformação máxima.

A grande vantagem da definição deste indicador é que uma vez conhecido o solo e sua capacidade de suporte às deformações (indicador 0,061 Es) para vários graus de compactação, independentemente do material, diâmetro e espessura da parede, especifica-se a rigidez desejada para a tubulação a ser adquirida para várias alternativas de assentamento ou assumindo uma delas se for conveniente.

POR EX:

Para deformação máxima de 5% (limite para revestimentos elásticos)

ALT. I - Solo com $E_s = 28 \text{ Kgf/cm}^2$ - $CR \geq 1,50 \text{ Kgf/cm}^2$

ALT. II - Solo com $E_s = 70 \text{ Kgf/cm}^2$ - $CR \geq 0,40 \text{ Kgf/cm}^2$

Para deformação máxima de 3% (limite para revestimentos com cimento)

ALT. I - Solo com $E_s = 28 \text{ Kgf/cm}^2$ - $CR \geq 3,60 \text{ Kgf/cm}^2$

ALT. II - Solo com $E_s = 70 \text{ Kgf/cm}^2$ - $CR \geq 1,10 \text{ Kgf/cm}^2$

Deve-se fornecer a diferença de custo dos assentamentos para as alternativas I e II que onera os tubos para a rigidez mais baixa.

Vale aqui destacar a importância do dimensionamento de sistemas eficientes e seguros para impedir a ocorrência do vácuo nas

"O projetista deve estabelecer especificação de envolvimento dos tubos, de tal forma que quando assentados e vazios... não apresentem deformação..."

linhas, nas condições transientes de regime, face ao aumento significativo nas espessuras de parede para, principalmente, em solos de baixo suporte ($E_s \leq 14 \text{ Kgf/cm}^2$) e para tubos de baixo fator de rigidez (com $CR < 0,4 \text{ Kgf/cm}^2$), para haver segurança contra ocorrência de colapso dos tubos.

Para facilitar a seleção de materiais em situações de $E_s \text{ min} = 28 \text{ Kgf/cm}^2$, com profundidade máxima de 2,0m sujeitas ao tráfego de veículo e ao vácuo, sugerimos a seguinte classificação:

Cargas	- solo	- 0,4 Kgf/cm ²
	- carga móvel	- 0,3 Kgf/cm ²
	- vácuo	- 0,9 Kgf/cm ²
	- total	- 1,6 Kgf/cm ²

Considerando o solo com $E_s = 28 \text{ Kgf/cm}^2$ e $E_s = 70 \text{ Kgf/cm}^2$ e deformações máximas de longo período:

- 6% para os plásticos;
- 5% para o aço com revestimento flexível (coal-tar enamel)
- 3% para FD com revestimento interno de cimento;
- 2% para o aço com revestimento de cimento.

Em se tratando de tubos plásticos com diâmetro nominal DN maior que 100, e nos casos especiais quando são submetidos a esforços externos anormais, o projetista deve estabelecer especificação de envolvimento dos tubos, de tal forma que quando assentados e vazios (sem pressão interna) não apresentem deformação diametral, em nenhum ponto, superior a 3%.

Para Linhas Pressurizadas, Classificação/Condição Limite Cargas Externas.

a. Para solo com $E_s = 28 \text{ Kgf/cm}^2$, os seguintes materiais atendem às solicitações da carga externa acima, que representam condições extremas de projetos de linhas pressurizadas:

- VINILFER DEFOFO 1 MPa
- PVC PBA - CLASSES 12/15/20
- PEAD - PN6/PN8/PN10...
- Aço com revestimento elástico (coal-tar enamel) - qualquer diâmetro desde que a relação D/e seja menor ou igual a 90 ($D/e \leq 90$)
- Aço com revestimento interno de cimento qualquer diâmetro desde que a relação D/e seja menor ou igual a 60 ($D/e \leq 60$)
- FD 1MPa - todos os diâmetros
- FD K7 para diâmetros $\leq \text{DN } 400$
- FD K9 para diâmetros $\leq \text{DN } 700$

b. Para solo com $E_s = 70 \text{ Kgf/cm}^2$, os

CODIGO NT-2B.2	VERSAO 03	DATA DA APROVAÇÃO 16/02/2024	DOCUMENTO NOTA TÉCNICA
--------------------------	---------------------	--	----------------------------------

ASSUNTO

TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I

SANARE

seguintes materiais atendem às solicitações da carga externa acima, que representam condições normalmente extremas de projetos de linhas pressurizadas:

- VINILFER DEFOFO 1MPa
- PVC PBA - CLASSES 12/15/20
- PEAD PN4/PN6/PN8/PN10...
- Aço com revestimento elástico (coal-tar enamel) - qualquer diâmetro desde que a relação D/e seja menor ou igual a 140 (D/e <= 140)
- Aço com revestimento de cimento qualquer diâmetro desde que a relação D/e seja menor ou igual a 70 (D/e <= 70)
- FD 1 MPa-todos os diâmetros
- FD K7 para todos os diâmetros.
- FD K9 para todos os diâmetros.

c. Na especificação pode-se também indicar pelos CR para cada deformação:

Ex.: Carga externa:

c. solos 0,4 Kgf/cm²

c. móvel-0,3 Kgf/cm²

vácuo - 0,9 Kgf/cm²

TOTAL - 1,6 Kgf/cm²

DEFLEXÕES	Es = 28 Kgf/cm ²	Es = 70 Kgf/cm ²
para d < 6%	CR >= 1,0	CR >= 0,4
para d < 5%	CR >= 1,5	CR >= 0,5
para d < 3%	CR >= 3,5	CR >= 1,0
para d < 2%	CR >= 6,3	CR >= 3,7

Considerações:

Esta tabela pode ser utilizada para a especificação de compra dos materiais, definindo-se apenas as deformações para cada material proposto.

Pode-se elaborar tabelas semelhantes para tubulações não sujeitas ao vácuo considerando com carga móvel e sem carga móvel e para tubulações de esgoto considerando várias profundidades de assentamento.

De posse destas tabelas a maioria dos projetos ficam facilitados, sendo apenas necessários estudos para tubulações de rigidez menor que as tabeladas, como o PEAD PN 2,5 e PN 3,2; o RPVC e o Aço com D/e > 140.

4.3 QUANTO À INTERCAMBIABILIDADE

Dos materiais disponíveis, são intercambiáveis as tabulações de FD e PVC - VINILFER DEFOFO para os diâmetros DN 100, DN 150, DN 200, DN 250 e DN 300.

O PVC - PBA CL 12/15/20 apresenta os mesmos diâmetros externos do PEAD, para os diâmetros iguais e maiores que DN 100. Os diâmetros DN 50 e DN 75, que são os mais utilizados em redes de distribuição apresentam diferenças: PEAD DN 50 - DE = 63 (PVC DN 50 - DE = 60)

PEAD DN 75 - DE 90 (PVC DN 75 - DE 85).

O DMAE de Porto Alegre já vem utilizando com sucesso o PEAD nas redes de distribuição (trabalho apresentado no congresso de Natal/1993).

O RPVC apresenta as pontas com diâmetros iguais aos do FD, entretanto as pontas são especiais, exigindo tubos com comprimentos diferentes para conciliar com as derivações. Sua utilização é interessante desde que não existam muitas derivações.

O aço JE apresenta pontas e bolsas especiais, por isso, como o RPVC também tem que ser adaptado nas derivações, com soldagem* das pontas especiais, onde os anéis são encaixados. Deve-se no caso do aço recompor com cuidado o revestimento quando destes cortes.

(*) Tratamento especial dado às pontas de tocos de tubos para se conseguir os comprimentos necessários.

O uso do PEAD em redes existentes exige que nos projetos as conexões sejam fornecidas com os tubos.

As redes de distribuição poderão ser em PVC-CL12 / PEAD PN6/ FD 1MPa ou PVC DEFOFO.

No caso do PEAD, nas ofertas atuais, as conexões estão sendo fornecidas junto com os tubos, o projeto acompanha o processo de compra (para conhecimento do local da conexão).

Nas redes coletoras de esgoto, emissárias e interceptores e linhas de recalque, não haverá problema de intercambiabilidade, podendo ser utilizados além dos materiais já consagrados o PEAD e o RPVC.

Para os materiais alternativos como o PEAD, AÇO e RPVC recomenda-se a aquisição de peças especiais, tais como juntas polipartidas e luvas, para que em caso de acidentes ou derivações não previstas se minimize os problemas da falta de intercambiabilidade.

4.4 QUANTO ÀS JUNTAS

JUNTAS ELÁSTICAS: são as mais indicadas, pela facilidade de montagem e por permitirem deflexões o que facilita a execução dos traçados, sem necessidade de muitas conexões.

Os inconvenientes são a necessidade de

“Esta tabela pode ser utilizada para a especificação de compra dos materiais...”

CODIGO	VERSAO	DATA DA APROVAÇÃO	DOCUMENTO
NT-2B.2	03	16/02/2024	NOTA TÉCNICA
ASSUNTO			
TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I			

SANARE

ancoragens (ou travamentos) nas curvas e derivações nas montagens das tubulações, possibilidades de vazamentos por movimentação do solo próximo a tubulações existentes, problemas na execução da junta em campo devido a má colocação do anel de borracha, a falta de compactação do solo, más condições do subleito e falta de regularização, cargas de veículos sem a devida proteção e variações de temperaturas (para materiais plásticos).

Neste aspecto o PEAD com diâmetros de até DE 125, PN 6, apresenta a grande vantagem de ser fornecido em bobinas com comprimento de 100m o que reduz a quantidade de juntas normalmente a cada 6,00m, de 16 a cada 100m, para 1 a cada 100m.

As **JUNTAS SOLDÁVEIS** aplicáveis para os tubos de aço e de PEAD, são de execução mais complicada, exigindo valas especiais, com execução de "cachimbos" nas áreas das juntas para solda da parte inferior do tubo. A execução, o controle e a inspeção da solda exigem mão-de-obra especializada. Para os tubos de aço soldados, há que se recompor os revestimentos interno e externo, o que só pode ser bem controlado internamente para tubos com diâmetros maiores que DN 700.

As vantagens das juntas soldáveis são a pequena probabilidade de vazamentos por movimentação do solo próximo as tubulações existentes e a melhor adaptação do tubo as más condições do subleito. Outra vantagem é que normalmente não precisam de ancoragens nas curvas e derivações.

As JUNTAS ARGAMASSADAS, utilizadas pela Sanepar para as manilhas de barro devem ser abolidas, por não apresentarem estanqueidade. São rígidas e rompem com a movimentação do solo e por defeitos de construção.

Como solução temporária, até que os fabricantes de manilhas de barro desenvolvam a junta elástica, e devem ser motivados para tal, sugere-se a volta **temporária** da **antiga** junta alcatroada, a qual ainda é utilizada por muitas companhias de saneamento.

As **JUNTAS "ALVENIUS"**, utilizadas para tubos de aço, que devem possuir as pontas especiais, só devem ser utilizadas em instalações onde deseja-se travamento, pois quase não permitem deflexões nas juntas, havendo necessidade de muitas conexões.

4.5 QUANTO AOS REVESTIMENTOS DOS

"As manilhas de barro devem ser abolidas, por não apresentarem estanqueidade. São rígidas e rompem..."

MATERIAIS METÁLICOS

Para o FD mantém-se o revestimento já utilizado que consiste em pintura betuminosa externamente e cimentação internamente. Recentemente foi incluída a aplicação de zinco antes da pintura betuminosa, por processo de metalização.

Em locais com solo de baixa resistividade e baixo pH, normalmente encontrados em regiões alagadas, deve ser avaliada a necessidade de proteção dos tubos de FD com manga de polietileno, que funcionará como um isolante tubo/solo.

Para o aço existem muitas alternativas de revestimento, quais sejam:

- interno e externo - Coal-tar enamel/AWWA C 203
- interno - cimentação e externo - Coal-tar enamel - AWWA C 203
- interno e externo com galvanização a quente
- interno e externo com pintura epoxi
- externo - fusion bonded epoxi e interno - cimentação

Destes revestimentos, o mais recomendado tem sido o coal-tar enamel/AWWA C 203 para tubulações enterradas - por apresentar maior eficiência ao longo da vida das linhas, bem como por, sendo elástico, permitir deflexões das linhas de até 5%. O cimento limita as deflexões das linhas em 2 a 3%. A galvanização, em meios agressivos, logo se perde. Como o aço é bastante vulnerável à corrosão, faz-se necessária a identificação das características do fluido a transportar, bem como da resistividade do solo e do pH, necessários tanto para definição do revestimento a ser adotado, bem como parâmetro para o projeto e instalação da proteção catódica. Para o aço com implantação aérea recomenda-se a tinta de alumínio fenólico.

É importante informar também quais as deflexões que devem ocorrer no tubo, pois estas limitam o uso dos revestimentos apresentados.

4.6 QUANTO AO USO ÁGUA/ESGOTO

Com exceção dos tubos de aço, todos os outros materiais podem ser utilizados nos sistemas de esgoto sanitário. Os tubos de FD devem ter revestimento interno aluminoso para este fim.

As manilhas de barro devem ser utilizadas nas áreas onde o lençol freático é baixo.

CODIGO	VERSAO	DATA DA APROVAÇÃO	DOCUMENTO
NT-2B.2	03	16/02/2024	NOTA TÉCNICA
ASSUNTO			
TUBULAÇÃO METÁLICA – AÇO CARBONO ASTM A1018SS AWWA C200/NBR 9797 ASSENTADOS INFRAESTRUTURA – DIMENSIONAMENTO – ANEXO I			

SANARE

Para os sistemas de água, nas redes de distribuição secundária e nas principais **com muitas interligações** recomenda-se o uso dos materiais tradicionais, devendo entretanto serem, diante das grandes vantagens do PEAD, avaliadas as possibilidades de implantação.

Nas redes de distribuição principais com poucas derivações e DN > 300mm pode ser utilizado **além do FD, o PEAD, o RPVC e o AÇO JE**, desde que para este seja avaliada a necessidade de proteção catódica.

Nas adutoras podem ser utilizados todos os materiais quais sejam: FD, PVC, RPVC, PEAD, AÇO desde que dimensionados para resistir além das pressões internas, às cargas externas e ao vácuo quando for o caso. Destes materiais, o que merece maiores cuidados no dimensionamento para cargas externas, é o RPVC, principalmente se houver vácuo. **Nas especificações deve ser indicado o fator de rigidez mínimo exigido.**

O PEAD PN 2,5 e PN 3,2 também apresentam restrições em presença de cargas externas elevadas.

Nos microssistemas do saneamento rural o uso do PEAD deve apresentar vantagens ainda mais significativas pelas condições topográficas desfavoráveis que normalmente se apresentam; pelas grandes extensões de rede por ligação; pela falta de informações precisas quanto à altimetria destas localidades. A grande flexibilidade destes tubos permite o assentamento em regiões acidentadas e em caminhos tortuosos.

4.7 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Como compatibilizar as diferenças de diâmetros internos e de rugosidades na avaliação dos diversos materiais?

Uma sugestão é especificar a perda de carga máxima calculada para a alternativa de menor diâmetro útil interno e/ou maior rugosidade. Para propostas que apresentem perdas de carga menores, descontar o valor da economia que se obterá em energia elétrica para o período de vida do projeto.

Para o cálculo das perdas de carga deverá ser utilizada a fórmula universal, uma vez que pela fórmula de Hazen Willians, as perdas diferem significativamente com os diâmetros e com as velocidades. (Trabalho desenvolvido pelo engº Celso Savelli Gomes/Sanepar).

Para avaliação das perdas dos diversos

materiais deve ser elaborada uma tabela onde constem todos os diâmetros internos úteis para cada material e um **diâmetro equivalente a uma mesma rugosidade** para todos os materiais.

Para todos os materiais, exceção do PEAD nos grandes diâmetros, os diâmetros úteis internos não diferem muito.

4.8 CONCLUSÃO

Este trabalho surgiu com a necessidade de se buscar materiais alternativos para soluções mais econômicas de transporte da água e dos esgotos sanitários, uma vez que os materiais tradicionais, para diâmetros acima de 300mm, não oferecem opção de dimensionamento para as pressões requeridas pelo sistema, sendo adotados geralmente materiais com classe de pressão interna muito além das requeridas.

Com os materiais alternativos propostos, AÇO JE /RPVC/PEAD, as especificações não mais serão dirigidas a um único material. Já temos resultados de compras efetuadas com esta abertura, onde obteve-se redução nos custos normalmente observados, **de 40 a 50%. Isto é muito significativo.**

Pagar-se-á o ônus, de trabalhando com estes materiais alternativos, dificultar-se a manutenção dos sistemas, com uma gama maior de material de estoque, com necessidade de equipes treinadas para cada material. Porém entende-se que com o decorrer das aplicações, estes problemas serão minimizados.

Para obter-se êxito com esta abertura é imprescindível a colaboração de todas as áreas da Companhia, principalmente as ligadas a projetos, obras, operação e suprimentos.

Devemos nos empenhar para controlar, observar e informar as áreas competentes quanto ao desempenho destes materiais com relação a todos os aspectos, dificuldades ou facilidades de implantação, operação e manutenção, peças de reposição etc.

É de extrema importância que as áreas de projeto sejam alimentadas com informações dos resultados das obras e da operação dos sistemas.

Para tal há que se encontrar uma linha de comunicação sistematizada, voltada para desempenho das tubulações envolvendo principalmente projeto/obra/operação, sem o que este trabalho não terá o alcance esperado.

“Com os materiais alternativos propostos..., as especificações não mais serão dirigidas a um único material... Obteve-se redução nos custos... de 40 a 50%.”