

II-096 - PROJETO DE REDES DE ESGOTO SANITÁRIO EM PVC EM ÁREA COM BAIXA DECLIVIDADE - ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO ENTRE REDE DIMENSIONADA PELOS CRITÉRIOS DE TENSÃO TRATIVA 1,0 PA E 0,6 PA

André Ortiz Berner⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Engenheiro Civil da empresa Magna Engenharia Ltda.

Ângela Cocio Martins

Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e Especialista em Sistemas de Esgoto Sanitário pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Engenheira Civil da empresa Magna Engenharia Ltda.

Carolina Tiburi

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Engenheira Civil da empresa Magna Engenharia Ltda.

Endereço⁽¹⁾: Rua Dom Pedro II, 331 – Porto Alegre – RS - CEP: 90550-142 - Brasil - Tel: (51) 2104-0000 - e-mail: andreberner@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta um comparativo de custos de implantação de uma rede de esgoto sanitário em PVC, em uma área com pouca declividade, dimensionada sob dois critérios vigentes de tensão trativa: 1,0 Pa, conforme NBR 9649/1986; e 0,6 Pa, conforme NBR 14486/2000. O objetivo é verificar se há redução significativa nos custos se for considerado o critério de tensão trativa com o valor de 0,6 Pa, em relação ao de 1,0 Pa. O projeto utilizado para a análise é de autoria da Magna Engenharia Ltda., contratada pela Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, e o dimensionamento da rede foi feito com a utilização do software SANCAD. Os resultados demonstram que, no caso do projeto analisado, relativo a área de baixa declividade, é possível obter redução significativa nos custos para a obra com a adoção do valor 0,6 Pa para tensão trativa, em relação ao valor de 1,0 Pa, quando no dimensionamento da rede.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto sanitário, Rede de esgoto, Tensão trativa, Custos.

INTRODUÇÃO

Saneamento é um fator de grande importância para as cidades, pois influencia diretamente na saúde pública, bem como na qualidade de vida da população. No Brasil, ainda é grande o déficit quando o assunto é saneamento básico. Segundo consta na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000, do IBGE, dos 5507 municípios brasileiros, 47,8% eram carentes de coleta de esgoto. Em 1989, dos 4425 municípios existentes apenas 47,3% dispunham de algum tipo de serviço de esgotamento sanitário, o que representa um crescimento de apenas 10 % da disponibilidade destes serviços nos municípios em 11 anos, o que é muito pouco se considerando que o aumento no número de cidades no Brasil ficou em torno de 24%.

Tal situação pode ser atribuída à histórica falta de investimentos em obras dessa natureza por parte das administrações públicas por motivos que vão desde os altos custos até o pouco reconhecimento da população, já que são obras com pouca visibilidade por serem enterradas, acarretando pouca motivação política para investimentos nessa área.

Sendo o tratamento do esgoto de extrema importância para o desenvolvimento das cidades, se faz necessária a busca constante de alternativas que possam minimizar os custos e viabilizar os investimentos em projetos e execução de redes coletoras e sistemas de esgotamento sanitário.

A tensão trativa é um dos critérios atuais de cálculo para o dimensionamento de redes de esgoto sanitário. Trata-se de uma tensão tangencial exercida pelo líquido sobre a parede do tubo condutor, devendo ser o suficiente para arrastar as partículas presentes no esgoto que poderiam ficar ali depositadas, atuando na

autolimpeza da tubulação. A tensão trativa adotada influi diretamente sobre o raio hidráulico (relação entre a seção de escoamento e o perímetro molhado) e sobre a declividade mínima necessária para o trecho.

As redes de esgoto sanitário são tradicionalmente calculadas adotando-se tensão trativa média de 1,0 Pa, de acordo com a NBR 9649 - Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário - Procedimento. Porém, a NBR 14486 – Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC preconiza o uso de tensão trativa média de 0,6 Pa para um coeficiente de Manning 0,010.

Ainda que conste na norma citada, a tensão trativa de 0,6 Pa não é muito usada nos projetos de redes de esgoto, sendo normalmente adotado 1,0 Pa, por ser um valor tradicional, mais conhecido e que apresenta maior folga no dimensionamento, dando maior segurança ao projetista.

Tendo influência sobre a declividade mínima a ser considerada para os trechos da rede projetada, usando uma tensão trativa menor se pode obter redução na profundidade das tubulações e poços de visita (PV) e conseqüentemente nas escavações e no custo estimado para a obra. Estes benefícios tendem a ser mais significativos para casos críticos em que a rede deve ser implantada em áreas com baixa declividade.

METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste na adoção de um projeto de rede de esgoto sanitário em um terreno de baixa declividade, dimensionado pelo critério de tensão trativa 1,0 Pa. Em seguida, é realizada nova simulação para o dimensionamento desta rede, com o auxílio do software SANCAD, empregando o critério de tensão trativa 0,6 Pa. Após, são elaborados os quantitativos e orçamentos para ambos os casos, utilizando os itens e valores originais do projeto adotado. Por fim, é realizado o comparativo dos dois orçamentos, sendo feitas as devidas considerações quanto às diferenças de um caso para o outro.

As condições exigíveis para a elaboração de projetos de redes coletoras de esgoto são fixadas pela NBR 9649, de 1986. Seguindo os critérios desta norma, no projeto analisado, caracterizado como separador absoluto, utilizou-se como diâmetro mínimo o de DN 150 mm seguindo os critérios da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, sendo DN 100 mm o estabelecido pela norma. Os demais parâmetros foram obedecidos uma vez que o programa utilizado para dimensionamento trabalha com base no que preconiza a norma citada.

O tipo de solo será desprezado, pois se tem o mesmo traçado de rede para ambos os dimensionamentos, sendo considerado relevante apenas o quantitativo de movimentação de solo e o custo adotado para este item. Isto foi possível neste trabalho devido às características de solo apresentadas no local da obra, porém, cabe salientar que a análise do solo é de grande importância, pois as diferenças de profundidade dos trechos da rede, de um dimensionamento para o outro, podem acarretar diferenças nos tipos de solo atingidos com a escavação, ou mesmo nas quantidades dos diferentes tipos de solo atingidos. Por exemplo: se determinados trechos da rede, ao passarem para cotas mais altas deixassem de atingir rochas, a economia em escavação seria ainda maior do que se o tipo de solo fosse o mesmo para qualquer profundidade.

A análise de custo será feita através de um orçamento estimativo padrão, o qual sofrerá mudanças apenas nos quantitativos e/ou nos diâmetros das tubulações.

CRITÉRIO DA TENSÃO TRATIVA

Este é o critério adotado no Brasil, desde 1986, com a NBR 9649/1986, para se garantir a autolimpeza das tubulações. A seguir, se pode ver um corte esquemático de uma tubulação de um trecho de rede coletora de esgoto sanitário.

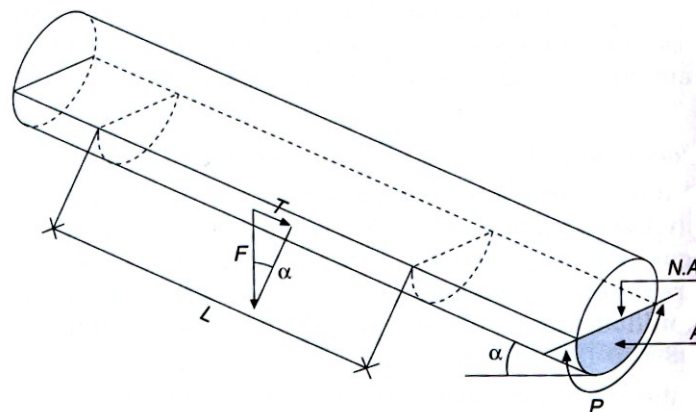


Figura 1 – Representação da tensão trativa (fonte: AZEVEDO NETTO, José M. de et al, 1998)

Na figura 1, representando um trecho de uma rede coletora de esgotos se tem que:

$$\sigma_t = \frac{T}{P \cdot L} = \frac{F \cdot \text{sen}\alpha}{P \cdot L} = \frac{\gamma \cdot A \cdot L \cdot \text{sen}\alpha}{P \cdot L} = \gamma \cdot R_H \cdot \text{sen}\alpha \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

F	=	peso ($\gamma \times A \times L$)	[N]
γ	=	peso específico	[N/m ³]
T	=	componente tangencial ($F \times \text{sen } \alpha$)	[N]
A	=	área molhada	[m ²]
P	=	perímetro molhado	[m]
σ_t	=	tensão trativa	[Pa]
R_H	=	raio hidráulico	[m]

Como para as tubulações das redes de esgoto o α é muito pequeno, pode-se considerar que $\text{sen}\alpha \cong \text{tg}\alpha$ e que $\text{tg}\alpha = I$. Sendo assim, a equação da tensão trativa fica:

$$\sigma_t = \gamma \cdot R_H \cdot I \quad \text{equação (2)}$$

Sendo que I é a declividade (m/m).

Conforme demonstrado no livro *Coleta e transporte de esgoto sanitário* (TSUTIYA; SOBRINHO, 1999, p.91 a 93), é possível se determinar as declividades dos coletores de esgoto, para vários coeficientes n de Manning (indicador da rugosidade das tubulações). Dessa forma, as normas vigentes apresentam expressões para a determinação das declividades mínimas em função das vazões iniciais, para determinados coeficientes n de Manning.

A NBR 9649/1986 admite em seu item 5.1.4 que “Cada trecho deve ser verificado pelo critério de tensão trativa média de valor mínimo $\sigma_t = 1,0$ Pa, calculada para vazão inicial (Q_i), para coeficiente de Manning $n = 0,013$ ”. A declividade mínima que satisfaz essa condição pode ser determinada pela expressão aproximada:

$$I_{O\text{mín.}} = 0,0055 \cdot Q_i^{-0,47} \quad \text{equação (3)}$$

Sendo $I_{O\text{mín.}}$ em m/m e Q_i em ℓ/s

Já a NBR 14486/2000 admite em seu item 6.1.4 que “A declividade mínima admissível, em cada trecho, pode ser determinada pela expressão aproximada (...)”.

$$I_{O\text{mín.}} = 0,0035 \cdot Q_i^{-0,47} \quad \text{equação (4)}$$

Sendo $I_{O\text{mín.}}$ em m/m e Q_i em ℓ/s

Tal expressão de que trata esta norma foi estabelecida com o critério da tensão trativa média 0,6 Pa, calculada para a vazão inicial (Q_i) e coeficiente de Manning $n = 0,010$.

PROGRAMA USADO PARA DIMENSIONAMENTO

Para dimensionamento de redes de esgoto sanitário existem vários softwares que podem ser utilizados. Porém, segundo Tsutiya e Sobrinho (1999, p. 132), o critério da tensão trativa usado aqui no Brasil e em alguns países latino americanos, bem como o conceito de velocidade crítica, não são utilizados em muitos outros países, o que dificulta o uso de softwares internacionais, pois se torna necessária a complementação dos cálculos com a conferência dos valores de tensão trativa. Ainda que atualmente já existam softwares internacionais que possibilitam ao usuário o uso da metodologia da tensão trativa (software norte americano SewerGEMS, por exemplo), é mais comum o uso de softwares brasileiros tais como: Proesg-Cad, Cesp e SANCAD.

O software utilizado neste trabalho é o SANCAD, que será descrito a seguir, reproduzindo texto encontrado no Volume 1A – Redes Coletoras – Memória Descritiva e de Cálculo; Planilhas do relatório do SISTEMA INTEGRADO DE ESGOTO SANITÁRIO DO CONURBADO METROPOLITANO DE ESTEIO E SAPUCAIA DO SUL / RS, desenvolvido pela Magna Engenharia Ltda. em 2003.

Desenvolvido pela SANEGRAPH Ltda. este software conta com três módulos: Módulo ESG, para projeto e dimensionamento de redes coletoras de esgotos sanitários, módulo SEC, para projeto e dimensionamento de redes de água pelo método dos Seccionamentos Fictícios, e Módulo CROSS, para projeto e dimensionamento de redes de água pelo processo de Hardy-Cross.

O SANCAD – módulo ESG é atualmente o software com maior utilização no Brasil e também em alguns países da América Latina para projetos e redes de sistemas de esgotos sanitários, pois foi desenvolvido a partir das Normas Brasileiras NBR 9649/89 e antiga PNB 567/75, incluindo critérios particulares, tais como tensão trativa e velocidade de autolimpeza.

Também apresenta uma interface extremamente fácil e agradável de utilização, ou seja, o ambiente Windows e o software gráfico AUTOCAD.

A metodologia de trabalho adotada pelo SANCAD – módulo ESG consiste basicamente de:

No AUTOCAD:

- Lançar a rede e acessórios diretamente sobre a planta de topografia digitalizada, informando, o sentido de escoamento, a localização dos poços de visita e a cota do terreno;
- Numerar os coletores e acessórios das cabeceiras para as pontas;
- Exportar as informações do desenho para o SANCAD.

No SANCAD:

- Importar as informações do desenho gerado no AUTOCAD;

- Levantar os dados hidráulicos para cada bacia do projeto, tais como: contribuições per capita, vazões unitárias, coeficientes de máxima vazão horária e diária. Adicionalmente, devem ser fornecidos os critérios de projeto, tais como: rugosidades, declividades e recobrimentos mínimos, diâmetros mínimos e máximos, coeficiente de infiltração, etc.
- Dimensionar as canalizações de acordo com as Normas Brasileiras da ABNT em vigor, podendo-se optar pelo critério da Tensão Trativa ou da Velocidade de Auto-Limpeza, o programa também permite que o dimensionamento seja feito através de uma rotina de cálculo automática ou manual, onde se pode interferir trecho a trecho no dimensionamento;
- Verificar as condições hidráulicas de redes existentes;
- Levantar quantitativos por etapa de projeto;
- Gerar os arquivos de dados, planilhas, plantas e ordens de serviço para execução;
- Gerar os perfis longitudinais dos coletores;
- Exportar os dados do dimensionamento para o AUTOCAD.

No AUTOCAD

- Importar as informações do dimensionamento dos trechos e dos acessórios gerados no SANCAD;
- Graficar o projeto completo.

Na rotina de cálculo, o SANCAD – módulo ESG utiliza as equações e conceitos hidráulicos da Norma Brasileira vigente.

PROJETO UTILIZADO COMO REFERÊNCIA

Neste trabalho foi avaliado o projeto da rede coletora de esgoto sanitário de Sapucaia do Sul, Rio Grande do Sul, desenvolvido pela Magna Engenharia Ltda. em 2001 para a Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, relativo à Bacia 4 por ter a conformação de terreno que interessa para este estudo, ou seja, apresenta baixa declividade.

A seguir, na Tabela 1, são apresentadas as vazões do projeto:

Tabela 1 – Vazões de projeto

Bacia	Extensão de Rede (m)	Vazão (l/s)									
		Loteamentos Existentes		Doméstica unitária		Doméstica		Concentrada	Infiltração	Total	
		Q _{max} inicial 2004	Q _{max} final 2034	Q _{máx} inicial 2004	Q _{máx} final 2004	Q _{máx} inicial 2004	Q _{máx} final 2034			Q _{máx} inicial 2004	Q _{máx} final 2004
4	15.106	0,00	0,00	0,00123	0,00171	18,88	26,24	0,000	7,67	26,55	33,92

COMPARATIVOS

Na Tabela 2, tem-se o resumo das extensões de rede para os diâmetros adotados, em cada dimensionamento:

Tabela 2 – Resumo comparativo das extensões da rede

DN (mm)	Tensão Trativa 0,6 Pa	Tensão Trativa 1,0 Pa
	EXTENSÃO (m)	EXTENSÃO (m)
150	14.470,60	14.470,60
200	593,08	593,08
250	-	29,10
300	42,78	13,68
TOTAL	15.106,46	15.106,46

Ao se fazer uma análise das planilhas geradas pelo software SANCAD, pode-se perceber que com relação aos diâmetros houve uma única mudança em um único trecho. Porém, quanto à declividade da tubulação são perceptíveis mudanças consideráveis que ficam ainda mais visíveis quando se analisa as profundidades à montante e à jusante, ou seja, as profundidades dos PV's.

Na rede dimensionada com tensão trativa 0,6 Pa, obviamente tais profundidades se apresentam menores, em sua grande maioria, do que as atingidas no dimensionamento com tensão trativa 1,0 Pa. Isso ocorre devido às declividades mínimas adotadas para os trechos da rede, que podem ser menores quando se deve atingir um valor de tensão trativa menor. Essa diferença é ainda mais perceptível devido à característica do terreno deste projeto, que apresenta uma topografia de baixa declividade natural, o que impossibilita a projeção da rede acompanhando o perfil natural do terreno.

Quanto aos custos, foi utilizada a planilha de preços da CORSAN de junho de 2003 para os itens do orçamento. As diferenças entre um projeto e outro estão indicadas na Tabela 3, onde se pode observar o resumo dos dois orçamentos estimativos:

Tabela 3 – Resumo comparativo dos orçamentos de implantação das redes

ITEM	MATERIAL/SERVIÇO	VALORES TOTAIS (R\$) – JUN/2003		DIFERENÇA	
		Tensão Trativa 1,0 Pa	Tensão Trativa 0,6 Pa	R\$	%
1	CANTEIRO DE OBRAS	156.104,88	156.104,88	0,00	0%
2	SERVIÇOS TÉCNICOS	223.267,46	223.267,46	0,00	0%
3	SERVIÇOS PRELIMINARES	349.174,95	349.174,95	0,00	0%
4	MOVIMENTO DE SOLO	247.455,49	213.893,63	-33.561,86	14%
5	ESCORAMENTO	649.675,24	402.058,08	-247.617,16	38%
6	ESGOTAMENTO	628,00	628,00	0,00	0%
7	FUNDAÇÃO E ESTRUTURA	28.637,84	28.328,65	-309,19	1%
8	ASSENTAMENTO	19.313,47	19.321,59	8,12	0%
9	PAVIMENTAÇÃO	219.048,20	219.048,20	0,00	0%
10	LIGAÇÕES PREDIAIS	82.706,40	82.706,40	0,00	0%
11	FORNECIMENTO DE MATERIAIS	597.264,37	589.339,14	-7.925,23	1%
TOTAL DO ORÇAMENTO		2.573.276,30	2.283.870,98	-289.405,32	11%

Houve mudança nos itens Movimento de Solos, Escoramento, Fundação e Estrutura, Assentamento e Fornecimento de Materiais, sendo os dois primeiros os que mais contribuíram para a redução do custo total, cuja diferença foi de 11% a menos do orçamento estimado para rede dimensionada com tensão trativa 0,6 Pa, em comparação com a dimensionada com tensão trativa 1,0 Pa.

Em situações mais desfavoráveis de obra, como em presença de lençol freático elevado, ou substrato rochoso, a diferença pode ser ainda maior pela redução de volume a escavar.

As diferenças no item Movimento de Solos, se devem às mudanças nas declividades, conforme já comentado anteriormente. Adotando-se tensão trativa 0,6 Pa, as profundidades de rede são menores e há redução nos volumes de escavação, reaterro e bota-fora.

Com uma rede menos profunda, as valas atingem menores profundidades o que acarreta em menores quantidades de escoramento. Este item foi o que apresentou maior diferença entre os projetos, sendo o que mais influenciou para a redução do custo estimado para a obra.

O item Fundação e Estrutura apresentou pouca diferença de um projeto para outro, pois houve mudança apenas nas alturas dos PV's.

No item Assentamento, houve um pequeno aumento do custo estimado devido à já referida mudança de diâmetro de um trecho.

O item Fornecimento de Materiais apresenta diferença influenciada pela mudança de diâmetro citada no parágrafo acima, pois mudam as ligações prediais nesse trecho, e principalmente pela redução nas peças pré-moldadas para execução dos PV's, devido à já mencionada redução das declividades para tensão trativa 0,6 Pa.

CONCLUSÕES

Através deste trabalho, foi possível verificar as reduções significativas (superior a 10%) nos custos estimados para um projeto de rede coletora de esgoto sanitário em PVC, em uma área de projeto com baixa declividade, adotando-se o critério da tensão trativa de 0,6 Pa, em comparação com o valor de 1,0 Pa.

As principais diferenças estão nos quantitativos que sofrem influência da redução das profundidades do sistema. Neste caso, o ganho se dá devido à redução das declividades nos trechos da rede que é possível, pois o valor de tensão trativa que se deve atingir é menor. Tendo uma topografia que apresenta baixa declividade, isso se torna importante uma vez que não é possível acompanhar as declividades do terreno com os trechos da rede.

Este comparativo dos orçamentos estimativos mostra que, nas condições deste projeto, a adoção do critério proposto na NBR 14486/2000 é vantajosa para se reduzir os custos da obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (Brasil). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Rio de Janeiro: Departamento de População e Indicadores sociais. 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm>>. Acesso em: 23 abr. 2010.
2. TSUTUYA, Milton Tomoyuki; ALEM SOBRINHO, Pedro. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 548 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (Brasil). Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC. Rio de Janeiro: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000. 19 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (Brasil). Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986. 7 p.
5. MAGNA ENGENHARIA LTDA. Sistema Integrado de Esgoto Sanitário do Conurbado Metropolitano de Esteio e Sapucaia do Sul / RS - Volume 1A - Redes Coletoras - Memória Descritiva e de Cálculo. Porto Alegre: Brasil. Junho/ 2003..