



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
AUSTREGISELO SOARES DE VASCONCELOS JÚNIOR

**DIMENSIONAMENTO DE REDE COLETORA DE ESGOTO:
DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE**

João Pessoa - PB
2018

AUSTREGISELO SOARES DE VASCONCELOS JÚNIOR

**DIMENSIONAMENTO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO:
DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Jácome Sarmiento

João Pessoa - PB
2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

J95d Junior, Austregiselo s de Vasconcelos.
DIMENSINAMENTE DE REDE COLETORA DE ESGOTO:
dESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE / Austregiselo s de
Vasconcelos Junior. - João Pessoa, 2018.
42 f. : il.

Orientação: Francisco Jácome Sarmiento Sarmiento.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Software; Pré-dimensionamento; Rede de esgoto. I.
Sarmiento, Francisco Jácome Sarmiento. II. Título.

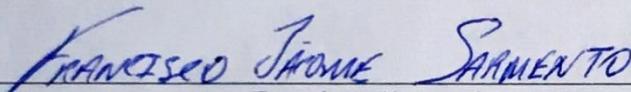
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUSTREGISELO SORES DE VASCONCELOS JÚNIOR

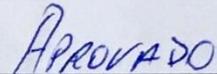
**DIMENSIONAMENTO DE REDE COLETORA DE ESGOTO:
DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE**

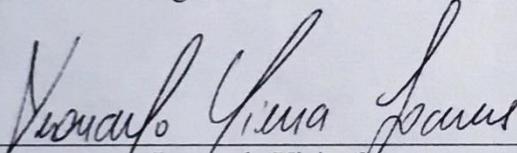
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 01/11/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:



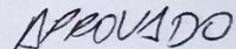
Francisco Jácome Sarmento

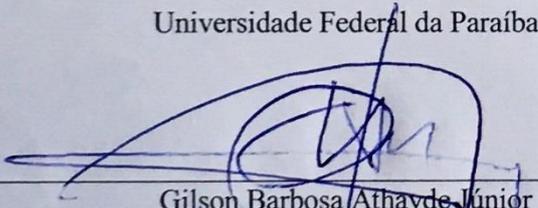
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB



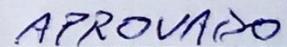


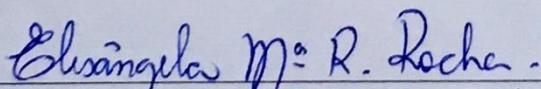
Leonardo Vieira Soares
Universidade Federal da Paraíba





Gilson Barbosa Athayde Júnior
Universidade Federal da Paraíba





Profª Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Profª Elisângela M. R. Rocha
Coord. CCGEAM/CT/UEPB
Mat. SIAPE 1821373

*Dedico este trabalho a minha
família com ênfase a minha mãe
que nunca mediu esforços e sempre
estava ao meu lado nos momentos
mais difíceis dessa caminhada*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora por sempre terem me acompanhado em toda a minha vida.

Agradeço a todos os meus amigos que me apoiarão nos momentos mais alegres e difíceis.

Agradeço também minha família com ênfase em André Oliveira Galvão de Vasconcelos, Ana Gabriela Galvão da Cunha Lima, Ana Claudia de Oliveira Galvão, Austregiselo Soares de Vasconcelos e minha avó Maria Selma de Oliveira Galvão.

Agradeço também ao professor doutor Francisco Jácome Sarmiento pela orientação, ensinamentos de programação e conselhos.

Agradeço aos professores de banca, Leonardo Vieira Soares e Gilson Barbosa Athayde Júnior, por aceitarem o convite para banca de defesa desde trabalho.

Agradeço ao professor Hamilcar José Almeida de Filgueira pelos conselhos dados durante o curso de engenharia ambiental.

Por fim, agradeço a coordenação de engenharia ambiental por todo esclarecimento dado durante o curso.

RESUMO

O uso de condutos para coleta e transporte de esgoto se mostra importante desde a antiguidade. A implantação de redes coletoras de esgoto evita mau odores, contaminações de corpos hídricos e futuros gastos com saúde pública. Sendo assim a agilidade no desenvolvimento de projetos nessa área essencial se faz necessária. Levando em consideração que o tempo consumido para dimensionar uma rede coletora de esgoto, torna-se extenso no pré-dimensionamento, devido ao processo de cálculo, desenvolveu-se o aplicativo DimensionamentoRC. Trata-se de um software com linguagem Visual Basic.net desenvolvido para automatizar a fase de pré-dimensionamento de condutos. O software considera a NBR – 9649 da ABNT (1986), que normatiza as redes coletoras de esgoto sanitário. O programa traz uma interface simples e usual, sendo o mesmo aplicável em casos de redes com poços de visita com até 4 entradas e uma saída. Embora o software tenha sido desenvolvido para facilitar o dimensionamento das redes coletoras, a utilização do mesmo não exclui a participação do engenheiro nesse processo. O profissional de engenharia sempre será o responsável pela concepção do projeto, em particular, pelo traçado da rede coletora.

Palavras-chave: Software; Pré-dimensionamento; Rede de esgoto

ABSTRACT

The use of conduits for collection and transportation of sewage has been important since antiquity. The implantation of sewage collection networks avoids bad smell, contamination of water bodies and future expenditures with public health. Therefore, agility in the development of projects in this essential area is necessary. Taking into account that the time consumed to size a sewage collection network, becomes extensive in the pre-dimensioning, due to the calculation process, the DimensionamentoRC application was developed. It is a software with Visual Basic.net language developed to automate the pre-sizing phase of conduits. The software considers ABNT NBR - 9649 (1986), to regulate sanitary sewage collection networks. The program has a simple and usual interface, and the same is applicable in cases of networks with wells with up to 4 inputs and one output. Although the software was developed to facilitate the design of the collecting networks, its use does not exclude the engineer's participation in this process. The engineering professional will always be responsible for the design of the project, in particular, for the layout of the collection network.

Keywords: Software; Pre-dimensioning; Collection network

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de poço de visita	11
Figura 2 - Tubo de queda em poço de visita	17
Figura 3 - Secção de um conduto	18
Figura 4 - Início do programa	25
Figura 5 - Dados de entrada.....	27
Figura 6 - Dados de possíveis condutos afluentes.....	28
Figura 7 - Dados de saída	29
Figura 8 - Dados de saída em Excel	29
Figura 9 - Etapas da programação.....	29
Figura 10 - Dados de exemplo manual	31
Figura 11 - Traçado da rede do exemplo manual.....	31
Figura 12 - Introdução de dados	37
Figura 13 - Exposição de dados em suas respectivas abas	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	06
1.1 Justificativa.....	07
1.2 Objetivo.....	07
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	08
2.1 Rede coletora e tipos de coletores.....	08
2.2 Vazão doméstica.....	08
2.3 Taxa de contribuição linear para redes simples.....	09
2.4 Vazões.....	10
2.5 Hidráulica de coletores.....	12
2.5.1 Declividades.....	13
2.5.2 Cálculo do diâmetro.....	16
2.5.3 Verificação da lâmina líquida de esgoto (Y/D).....	17
2.5.4 Verificação da velocidade.....	19
2.5.5 Verificação da tensão trativa.....	20
2.5.6 Verificação da velocidade crítica e arraste de ar.....	21
2.6 Cálculo das cotas do conduto.....	22
2.7 Profundidades do conduto.....	23
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 Software.....	25
3.2 Dados de entrada.....	26
3.3 Dados de saída.....	28
3.4 Algoritmo.....	29
4 EXEMPLO PRÁTICO.....	30
5 APLICAÇÃO PRÁTICA DO PROGRAMA.....	36
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	38
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1 INTRODUÇÃO

A rede coletora de esgoto é de extrema importância para a qualidade de vida da sociedade. Casos históricos como *“The Great Stink”* (“O Grande Fedor”), relatam a dificuldade e o sofrimento da população de Londres em meados dos anos 1800, quando despejos eram jogados nas vias públicas e ocasionavam, além do mau cheiro, contaminação dos corpos hídricos, ocasionando doenças como a malária. Dessa forma, rede coletora de esgoto evita não só o odor, mas também as contaminações e, conseqüentemente, futuros gastos excessivos com saúde pública (TEIXEIRA et al., 2014).

Outros casos históricos relatam práticas sanitárias da antiguidade destacando-se entre elas a Cloaca Máxima de Roma construída por volta do século VI antes de Cristo, usada para transportar esgoto e águas pluviais ao rio Tibe, que corria ao lado da cidade (GUIMARÃES; SILVA, 2007).

Inicialmente os condutos transportavam não só esgoto, mas também contribuições pluviais. Acarretando assim grandes custos de implantação de projetos, dificultando a implementação dos mesmos em regiões carentes. Assim, nos Estados Unidos, em 1879, o engenheiro George Waring propôs que as águas residuais fossem transportadas em diferentes sistemas, dando o nome a esse tipo de sistema de sistema separador absoluto. Este possibilitava o transporte de volumes menores, acarretando menor custo (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

No Brasil, inicialmente o sistema de esgoto recebia tanto contribuições pluviais quanto de águas residuais domésticas, sistema esse denominado sistema unitário *de esgotamento*, que foi implantado no Rio de Janeiro em 1857. No Brasil atual, basicamente é usado o sistema separador absoluto (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Em resumo, de acordo com Bezerra (2011), os sistemas de drenagem das águas residuais podem ser: sistema unitário, sistema separador parcial e sistema separador absoluto, onde para o sistema unitário, esgoto doméstico e industrial, águas de infiltração e esgoto pluvial escoam em um mesmo sistema de canalizações. No sistema separador parcial, esgoto doméstico e industrial, águas de infiltração e parte de esgoto pluvial como água de chuva coletada em telhados e pátios das habitações são conduzidos pelo mesmo sistema. Assim no sistema separador absoluto escoam águas residuais e águas de infiltração, reduzindo o custo da obra.

Logo além da redução de custo foi verificado também a importância da agilidade de composição da rede e com o desenvolvimento de ferramentas computacionais foi possível otimizar processo como pré-dimensionamento da mesma como também há possibilidade de evitar erro humano.

Por tanto o presente trabalho visa agilizar o dimensionamento de redes coletoras de esgoto, usando ferramentas computacionais, como a programação em linguagem Visual Basic.net, automatizando assim o processo de pré-dimensionamento de rede coletora de esgoto.

1.1 Justificativa

Este trabalho foi elaborado com o intuito de agilizar o pré-dimensionamento de redes coletoras de esgoto, demonstrando-se assim o ganho de tempo e de precisão com a aplicação de rotinas computacionais à engenharia, otimizando processos e minimizando a possibilidade de erros humanos.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivos:

- Automatizar o dimensionamento de rede coletora de esgoto;
- Evidenciar as vantagens de uso do software “DimensionamentoRC”, desenvolvido no contexto do presente trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000), considerando a NBR – 9649 da ABNT (1986), as etapas necessárias para o pré-dimensionamento de rede coletora de esgoto do tipo simples (somente uma rede coletora de esgoto na via pública), são: cálculo de taxa de contribuição linear para rede simples, cálculo das vazões, cálculo das declividades, cálculo das cotas do conduto e cálculo das profundidades do conduto. Além dessas etapas mencionadas, faz-se ainda necessário verificar as condições de autolimpeza e possível desgaste do tubo. Tais verificações envolvem: a velocidade de escoamento do líquido no conduto, a tensão trativa e a velocidade crítica de escoamento do esgoto.

2.1 Rede coletora e tipos de coletores

A rede coletora é o conjunto de canalizações e órgãos acessórios com destino a coletar e encaminhar esgoto sanitário. Coletor de esgoto é uma canalização que recebe e conduz esgoto, sendo divididos em coletor principal, aquele de maior extensão numa mesma bacia de drenagem, e coletores troncos, que são aqueles que recebem vazão de outros coletores através de órgãos acessórios (SOARES, 2017 e BEZERRA, 2011).

É importante pontuar que, segundo Soares, (2017), coletor tronco de pequeno diâmetro é dimensionado da mesma forma que rede coletora. No entanto, ele só recebe vazão afluyente do poço de visita a montante do coletor e vazão devida a infiltração.

2.2 Vazão doméstica

A contribuição do esgoto doméstico, segundo Nuvolari (2003), é a parcela vinculada a população servida em que, a contribuição média é calculada segundo a equação 1, sendo esta vazão estimada para início e fim de plano, como demonstrado abaixo:

$$\bar{Q}_d = \frac{P * C * q}{86400} \quad (1)$$

Onde:

\bar{Q}_d = Vazão doméstica, L/s;

P = População servida, hab;

C = Coeficiente de retorno;

q = Consumo de água efetivo, (L/hab*dia).

Em que C é a relação entre o volume de esgoto produzido e a água efetivamente consumida, onde, na falta de valores, a NBR 9649 da ABNT (1986), recomenda 0,8 como valor a ser utilizado.

2.3 Taxa de contribuição linear para redes simples

A taxa de contribuição linear provém das contribuições tidas como indevidas, sendo elas os encaminhamentos acidentais ou clandestinos, como também possíveis infiltrações por lençol freático. (TSUTIYA e SOBRINHO, 2000).

Essa taxa pode ser calculada de algumas formas, mas a adotada neste trabalho tem como base a unidade comprimento, (equação 2 e 3), sendo calculada da seguinte forma:

$$T_{xi} = \frac{K_2 * \bar{Q}_{di}}{L_{ti}} + T_{inf} \quad (2)$$

$$T_{xf} = \frac{K_1 * K_2 * \bar{Q}_{df}}{L_{tf}} + T_{inf} \quad (3)$$

Onde:

T_{xi} e T_{xf} = Taxa de contribuição linear inicial e final, L/s*m;

K_1 = Coeficiente de vazão máxima diária;

K_2 = Coeficiente de vazão máxima horaria;

T_{inf} = Taxa de infiltração do conduto, L/s*m;

L_{ti} e L_{tf} = Comprimento total da rede, de início e fim de plano, m;

Q_{di} e Q_{df} = Vazão média doméstica de início e fim de plano, L/s.

A NBR – 9649 da ABNT (1986), recomenda a utilização dos coeficientes $K_1=1,2$ e $K_2 = 1,5$, constantes em relação ao tempo e indiferentes em relação à população, significando, respectivamente, coeficiente de máxima vazão diária e coeficiente de máxima vazão horária.

2.4 Vazões

Em nosso país o sistema de rede coletora de esgoto é considerado como separador absoluto, tendo acesso a rede coletora apenas vazões de singularidades, águas de infiltração (aquelas que infiltra no conduto por pressão positiva externa) e esgoto doméstico (provém de uso humano derivados de hábitos higiênicos e fisiológicos). Sendo a soma destes a composição de esgoto sanitário (TSUTIYA e SOBRINHO, 2000).

Assim, a vazão de jusante de esgoto sanitário para a rede coletora no conduto é constituída pela soma algébrica da vazão de montante do coletor, vazão de contribuição linear ou do trecho do coletor e vazão singular (vazões como shopping, estádios e indústrias), (equação 4). Podendo a vazão de montante ser zero, no caso de ponta seca (quando não há coletor afluente), ou não, quando a vazão provém de outros coletores. A vazão de esgoto sanitário é calculada como:

$$Q_j = Q_m + Q_t + Q_s \quad (4)$$

Onde:

Q_j = Vazão de jusante do coletor, L/s;

Q_m = Vazão de montante do coletor, L/s;

Q_t = Vazão de trecho do coletor, L/s;

Q_s = Vazão singular, L/s.

Sendo a vazão de contribuição linear composta pela multiplicação da taxa de contribuição linear vezes o comprimento do conduto referido, ou seja:

$$Q_t = T_{xi} * L \quad (5)$$

Assim, a vazão de montante do coletor a ser dimensionado é igual ao somatório das vazões dos possíveis coletores afluentes. É importante ressaltar que a vazão é calculada para início de fim de plano.

Também é importante observar que os coletores são conectados por órgãos acessórios como poços de visitas – PV – que consiste em uma câmara visitável através de abertura superior para manutenção da rede, localizada na cabeceira do coletor, sendo usado na reunião de coletores, mudança de trajetória e mudança de diâmetro (Figura 1), podendo ter mais de uma entradas e uma só saída de vazão (NINA, 1975).

Figura 1 - Exemplo de poço de visita



Fonte: Soares (2017)

O cálculo da vazão de jusante para um coletor tronco é realizado conforme a equação 6 mostrada a seguir e consiste na soma algébrica entre a vazão afluente ao poço de visita a montante, acrescida da vazão de trecho do mesmo. No entanto, essa vazão de trecho não contém as vazões domiciliares (SOARES, 2017).

$$Q_j = Q_m + Q_t \quad (6)$$

Onde:

Q_j = Vazão de jusante do coletor tronco, L/s;

Q_m = Vazão de montante do coletor tronco, L/s;

Q_t = Vazão de trecho do coletor, L/s.

A vazão de trecho é calculada segundo a equação (7):

$$Q_t = T_{inf} * L \quad (7)$$

Onde:

Q_j = Vazão de trecho do coletor tronco, L/s;

Q_m = Taxa de infiltração do coletor tronco, L/s*m;

L = Comprimento do coletor, L.

Segundo a NBR – 9649 da ABNT (1986), recomenda-se o uso como vazão mínima do trecho de 1,5 L/s, para qualquer coletor.

2.5 Hidráulica de coletores

Em geral, o dimensionamento de rede coletora de esgoto é feito segundo algumas considerações para, efeito de cálculo, como escoamento livre (escoamento em seções parciais de condutos fechados), regime permanente (quando a vazão é constante ao longo do tempo) e uniforme (quando a velocidade e a declividade não varia no conduto), como também os coletores são geralmente de seção circular (NUVOLARI, 2003).

Segundo a NBR – 9649 da ABNT (1986), o dimensionamento hidráulico deve ser feito considerando Manning = 0,013. Onde cada trecho deve ter uma tensão trativa de 1,0 Pa.

2.5.1 Declividades

Para o dimensionamento da rede coletora de esgoto são consideradas as declividades de terreno, mínima e máxima, gerando a declividade de projeto, onde, segundo a NBR – 9649 da ABNT (1986), não deve ser inferior a mínima nem superior a máxima.

A determinação da declividade de projeto deve estar relacionada aos conceitos de autolimpeza e economia do projeto, sendo eles:

- Autolimpeza dos condutos: Segundo Nuvolari (2003), diz respeito ao arraste de sedimentos, como areia no conduto, dependendo da velocidade mínima e altura da lâmina de líquido no mesmo. A velocidade a velocidade de autolimpeza aumenta com o diâmetro do conduto e altura da lâmina de líquido.
- Declividade econômica: É a declividade de projeto que visa a economia da obra, ou seja, deve-se evitar o aprofundamento desnecessário dos trechos a jusante, logo adotando uma profundidade mínima para o projeto (NUVOLARI, 2003).

Declividade do terreno

A declividade do terreno é calculada segundo a equação 8

$$I_t = \frac{C_{tm} - C_{tj}}{L} \quad (8)$$

Onde:

I_t = Declividade do terreno, m/m;

C_{tm} = Cota do terreno de montante, m;

C_{tj} = Vazão de trecho do coletor, m;

L = Comprimento do trecho, m.

Declividade mínima

Conforme mencionado, a rede coletora de esgoto é projetada segundo o critério da autolimpeza, onde a mesma deve acontecer uma vez ao dia, desde o início de

plano, onde a declividade mínima adotada satisfaz a tensão de 1 Pa, em todos os coletores, vide equação 9, (TSUTIYA e SOBRINHO, 2000).

$$I_{\min} = 0,0055 * Q_i^{-0,47} \quad (9)$$

Onde:

I_{\min} = Declividade mínima, m/m;

Q_i = Vazão a jusante ou de projeto do trecho para início de plano, L/s.

Declividade máxima

A máxima declividade é aquela cujo velocidade máxima para fim de plano é igual a 5 m/s, segundo a equação 10, (NBR 9649 da ABNT,1986)

$$I_{\max} = 4,65 * Q_f^{-0,67} \quad (10)$$

Onde:

I_{\max} = Declividade máxima, m/m;

Q_f = Vazão a jusante ou de projeto do trecho para fim de plano, L/s.

Declividade de projeto

A declividade de projeto (I_p) é feita segundo quatro considerações. Segundo Soares (2017), são feitas comparações entre declividade do terreno e mínima, profundidade de jusante do coletor anterior e a profundidade mínima determinada. Por fim, comparação entre declividade mínima e máxima, para as comparações considere P_{jCA} = profundidade a jusante do coletor anterior.

- Consideração 1 ($I_t \leq I_{\min}$ e $P_{jCA} \geq P_{\min}$)

Resposta. $I_p = I_{\min}$

- Consideração 2 ($I_t > I_{\min}$ e $P_{jCA} = P_{\min}$)

Resposta. $I_p = I_t$

- Consideração 3 ($I_t > I_{\min}$ e $P_{jCA} > P_{\min}$)

Nessa comparação, deve-se inicialmente notar que $I_{\min} < I_p < I_t$, obedecendo os critérios de autolimpeza e economia. Logo, inicialmente se iguala a profundidade de jusante do coletor com a profundidade mínima e, posteriormente, é calculado a cota do coletor de jusante (CC_j) pela equação 11 e, por fim, calcula-se a declividade de projeto através da equação 12.

$$CC_j = Ct_j - P_j \quad (11)$$

Onde:

Ct_j = Cota do terreno de jusante, m;

P_j = Profundidade de jusante, m.

Considerando também a igualdade entre cota do coletor de montante (CC_m) e cota do coletor anterior de jusante temos (CCA_j), temos equação 12.

$$I_p = \frac{CC_m - CC_j}{L} \quad (12)$$

Onde:

I_p = Declividade de projeto, m/m;

CC_m = Cota do coletor de montante, m;

CC_j = Cota do coletor de jusante, m;

L = Comprimento do conduto, m.

No entanto, caso a cota do coletor de jusante seja maior que a cota do coletor de montante, fazer-se a declividade de projeto igual a declividade mínima.

- Consideração 4 ($I_t > I_{\max}$ e $P_{jCA} = P_{\min}$)

Nesse caso, temos como resposta $I_p = I_{\max}$. No entanto, será necessário por um degrau a montante do trecho calculado, fazendo-se uso da equação 13.

$$D_g = I_t - (I_{\max} * L) \quad (13)$$

Onde:

D_g = Altura do degrau, m;

I_t = Declividade do terreno, m/m;

I_{max} = Declividade máxima, m/m;

L = Comprimento do conduto, m.

Além das comparações, é importante observar que, se a declividade do terreno for igual ou menor que zero, deve-se fazer a declividade do projeto igual a mínima, seguindo o conceito de declividade econômica.

2.5.2 Cálculo do diâmetro

O cálculo do diâmetro é feito segundo as condições hidráulicas exigidas, sendo elas: o transporte de vazões esperadas, vazões instantâneas devido a descargas de bacia sanitária e principalmente a manutenção da altura de lâmina máxima de líquido – 75% do diâmetro – afim de garantir o escoamento livre (NUVOLARI, 2003).

A equação 14, com Manning = 0,013, calcula o diâmetro para as condições acima.

$$D = \left(0,0463 * \frac{Q_f}{\sqrt{I_p}} \right)^{0,375} \quad (14)$$

Onde:

D = Diâmetro, m;

Q_f = Vazão de fim de plano;

I_p = Declividade de projeto, m/m.

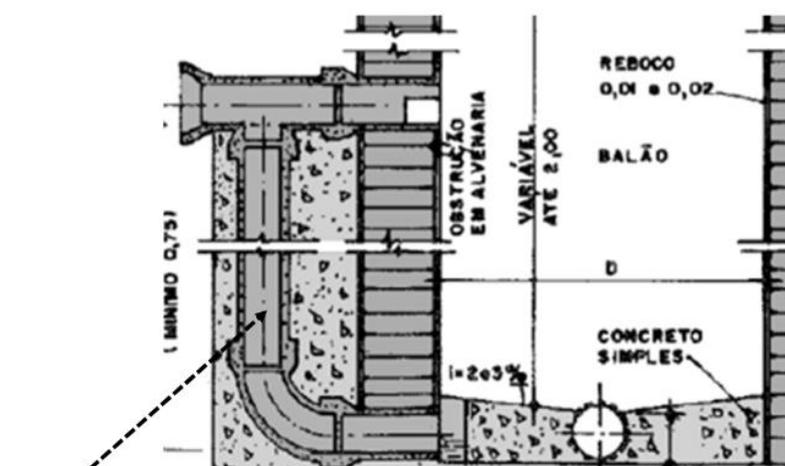
O resultado, como esperado, será dado em metro, mas este deve ser ajustado para diâmetro comercial (DN) imediatamente superior (NUVOLARI, 2003).

Segundo a norma NBR 9649 de 1986 da ABNT(1986), o diâmetro mínimo para rede é 100 mm, ou seja, (DN = 100). No entanto é recomendado, segundo Tsutiya e

Sobrinho (2000), verificar as condições do local na qual a rede será implantada. Segundo a NTS 025 da SABESP (2006), o diâmetro nominal (DN) é um número que serve para classificar e dimensionar tubulações, ou seja, um número correspondente ao diâmetro interno em milímetros.

É importante verificar também a ocorrência de degrau e tubo de queda nos poços de visitas. Segundo Soares (2017), há formação de degrau quando ao longo da rede coletora de esgoto há acréscimo de diâmetro na tubulação, pois tubos consecutivos necessitam ter a mesma cota de geratriz superior, como também segundo Tsutiya e Sobrinho (2000), quando o coletor afluyente chega ao PV com desnível de 0,6 m, se faz necessário o degrau, no entanto se essa diferença for de 0,2 m, o coletor deve ser aprofundado. O tubo de queda é um acessório que liga o tubo afluyente, com uma cota mais alta, ao fundo do poço de visita, conforme ilustra a figura 2.

Figura 2 - Tubo de queda em poço de visita



Tubo de queda
Fonte: Soares (2017)

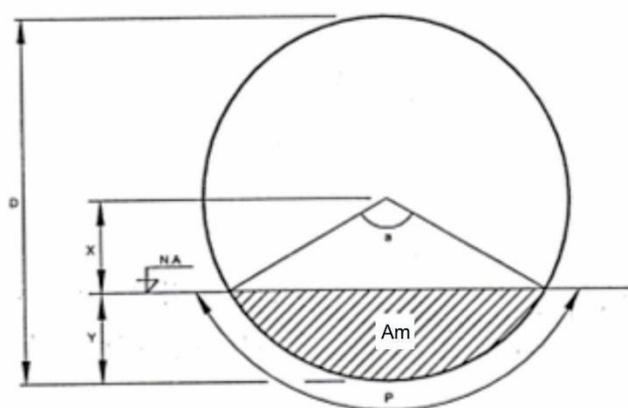
2.5.3 Verificação da lâmina líquida de esgoto (Y/D)

A lâmina de água deve ser calculada segundo condições hidráulicas mencionadas anteriormente, afim de verificar flutuações de nível de esgoto, como também garantir a ventilação do sistema (Soares 2017). Segundo a NTS 025 da SABESP (2006), conforme já mencionado, a lâmina máxima permitida é de 75% do

diâmetro da tubulação, onde o mesmo é dimensionado segundo a relação de (Y/D) em que D é o diâmetro do coletor e Y a altura da lâmina de esgoto.

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (2000), o cálculo da lâmina máxima de esgoto é feito através da resolução de uma função do ângulo central (a), figura 3, por processo iterativo, de acordo com a equação 15, a seguir:

Figura 3 - Secção de um conduto



Na figura tem-se:

D = diâmetro do conduto, m;

Y = altura da lâmina d'água, m;

A_m = área molhada, m^2 ;

P = perímetro molhado, m;

R_m = raio hidráulico, m.

Fonte: Tsutiya (2000)

$$f_{(a)} = \frac{(a - \text{sen}(a)) * D^2 * (a - \text{sen}(a))^{\frac{2}{3}} * D^{\frac{2}{3}} * \sqrt[2]{I_p}}{2^{13/3} * a^{2/3}} - Q * n \quad (15)$$

Onde:

a = ângulo central, $^\circ$;

D = Diâmetro do conduto, m;

I_p = Declividade de projeto, m/m.

Para a determinação do ângulo a foi utilizado o chamado método da Bisseção, também conhecido como truncamento binário. Segundo Chapra e Canale (2008), o método busca o intervalo em que a resposta, ou seja, a raiz da equação, é aproximada ou exata. Esse método segue 3 passos, sendo eles:

Passo 1

Escolhe-se uma aproximação inferior (x_i) e superior (x_s) para a raiz de modo que a função mude de sinal, fazendo $f(x_i) * f(x_s) < 0$.

Passo 2

Faz-se uma estimativa da raiz usando $\frac{x_i + x_s}{2} = x_r$.

Passo 3

Calcula-se e compara-se $f(x_i)$ e $f(x_s)$, se o resultado for igual a zero, a raiz é igual a x_r . Se o resultado for maior que zero então a raiz se encontra no subnível superior. Logo, faz-se $x_s = x_r$ e volta-se ao passo 2. Se $f(x_i) * f(x_s) < 0$, então a raiz se encontra no subintervalo inferior e faz-se $x_i = x_r$ e volta-se ao passo 2.

Por fim segundo a equação 16, é encontrado a razão Y/D

$$\frac{Y}{D} = \frac{1 - \cos(a/2)}{2} \quad (16)$$

Onde:

a = ângulo central, °;

Y = Altura da lâmina, m;

D = Diâmetro do conduto, m.

2.5.4 Verificação da velocidade

A verificação da velocidade é feita para início e fim de plano, segundo NBR – 9649 da ABNT (1986), considerando a equação da continuidade, onde vazão é igual a área de uma seção transversal vezes a velocidade. Para início e fim de plano tem-se as equações 17 e 18:

$$V_i = \frac{Q_i}{A_{mi}} \quad (17)$$

Onde:

V_i = Velocidade para início de plano, m/s;

Q_i = Vazão para fim de plano, m³/s;

A_{mi} = Área molhada inicial, m².

$$V_f = \frac{Q_f}{A_{mf}} \quad (18)$$

Onde:

V_f = Velocidade para início de plano, m/s;

Q_f = Vazão para fim de plano, m³/s;

A_{mf} = Área molhada final, m².

É importante pontuar que, para esse cálculo, a área da seção transversal do tubo é substituída pela área molhada retirada da equação 19, visto que a velocidade em questão é a do líquido variando de início a fim de plano, acarretando na variação do ângulo central do tubo em relação à altura da lâmina de líquido.

$$A_m = (a - \text{sen}(a)) * \frac{D^2}{8} \quad (19)$$

Onde:

A_m = Área molhada, m²;

a = Ângulo central, °;

D = Diâmetro do conduto, m

2.5.5 Verificação da tensão trativa

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000), a tensão trativa é definida como uma tensão tangencial a parede do tubo devido ao escoamento de esgoto provocando o arraste dos sedimentos, tem-se a equação 20:

$$\sigma = \lambda * R_{hi} * I_p \quad (20)$$

Onde:

σ = Tensão trativa, Pa;

R_{hi} = Raio hidráulico para início de plano, m;

λ = Peso específico da água, 10^4 N/m³;

I_p = Declividade de projeto, m/m.

Também de acordo com a NBR 9649 da ABNT (1986), cada conduto deve ter uma tensão trativa, para vazão de início de plano, de 1 Pa, com Manning de 0,013, conforme já mencionado anteriormente.

O raio hidráulico foi retirado da equação 21, segundo a obtenção anterior da área molhada podemos obter o raio hidráulico para início e fim de plano.

$$R_h = \frac{A_m}{(a * D)/2} \quad (21)$$

Onde:

R_h = Raio hidráulico, m;

A_m = Área molhada, m²;

a = Ângulo central, °;

D = Diâmetro do conduto, m;

2.5.6 Verificação da velocidade crítica e arraste de ar

Segundo Nuvolari (2003), a incorporação de ar ao escoamento tem como consequência o aumento da área molhada no conduto, podendo acarretar a passagem do escoamento livre a escoamento forçado, comprometendo as hipóteses de dimensionamento e a integridade do tubo como a erosão do mesmo. Para evitar isso, a NBR 9649 da ABNT (1986) afirma que, quando a velocidade final do escoamento for maior que a velocidade crítica – 5 m/s – a lâmina líquida admissível é de 50% ao diâmetro do tubo, assegurando assim a condição de escoamento livre. A velocidade crítica é definida segundo a equação 22, sendo a raio hidráulico final obtido a partir da equação 22.

$$v_c = 6 * \sqrt{g * R_{hf}} \quad (22)$$

Onde:

v_c = Velocidade crítica, m/s;

g = Aceleração da gravidade, m/s²;

R_{hf} = Raio hidráulico para fim de plano, m.

No entanto, em casos que, mesmo com a redução da lâmina líquida a velocidade para fim de plano permanece acima da velocidade crítica, logo deve-se aumentar o diâmetro para o DN mais próximo (Soares 2017).

2.6 Cálculo das cotas do conduto

Nos coletores são necessários os cálculos de cota de montante e cota de jusante, ambos feitos para coletor do tipo ponta seca (aquele que não recebe vazão de outro poço de visita), e coletor comum (aquele que pode recebe vazão de poço, vazão de trecho e singular). Tem-se as equações 23 e 24 para coletor do tipo ponta seca e 25 e 26 para coletor comum. (SOARES, 2017).

$$C_{mc} = C_{mt} - P_{min} \quad (23)$$

Onde:

C_{mc} = Cota de montante do coletor, m;

C_{mt} = Cota de montante do terreno, m;

P_{min} = Profundidade mínima, m.

A profundidade mínima (P_{min}) é o recobrimento mínimo acrescida do diâmetro da tubulação onde, segundo NBR 1448 da ABNT (2000), o recobrimento mínimo pode ser de 0,90m para coletor assentado em via de tráfego e 0,65m para coletor assentado no passeio (SOARES, 2017).

$$C_{jc} = C_{mc} - (I_p * L) \quad (24)$$

Onde:

C_{jc} = Cota de jusante do coletor, m;

C_{mc} = Cota de montante do coletor, m;

I_p = Declividade de projeto, m/m;

L = Comprimento do trecho, m.

$$C_{mc} = C_{jca} - D_g \quad (25)$$

Onde:

C_{mc} = Cota de montante do coletor, m;

C_{jca} = Cota de jusante do coletor anterior, m;

D_g = Degrau, m.

$$C_{jc} = C_{mc} - (I_p * L) \quad (26)$$

Onde:

C_{jc} = Cota de jusante do coletor, m;

C_{mc} = Cota de montante do coletor, m;

I_p = Declividade de projeto, m/m;

L = Comprimento do conduto, m.

2.7 Profundidades do conduto

Nos coletores, também se faz necessário os cálculos das profundidades de montante e jusante, segundo a NBR 9649 da ABNT (1986), a profundidade é calculada como sendo a diferença entre a geratriz inferior interna do tubo e a superfície do terreno. Também como nos cálculos das cotas, segundo Soares (2017), existem diferenças entre os cálculos segundo o tipo de trecho. Para coletor do tipo ponta seca, a profundidade de montante do coletor é igual a profundidade mínima da vala ($P_m = P_{min}$), adotada por norma ou condições locais específicas, e a profundidade de jusante do coletor é obtida segundo a equação 27, a seguir:

$$P_j = C_{jt} - C_{jc} \quad (27)$$

Onde:

P_j = Profundidade de jusante, m;

C_{jt} = Cota de jusante do terreno, m;

C_{jc} = Cota de jusante do coletor, m.

Para trecho do tipo não ponta seca as profundidades são calculadas segundo a equação 28 e 29

$$P_m = C_{mt} - C_{mc} \quad (28)$$

Onde:

P_m = Profundidade de montante, m;

C_{mt} = Cota de montante do terreno, m;

C_{mc} = Cota de montante do coletor, m.

$$P_j = C_{jt} - C_{jc} \quad (29)$$

Onde:

P_j = Profundidade de jusante, m;

C_{jt} = Cota de jusante do terreno, m;

C_{jc} = Cota de jusante do coletor, m.

Também é importante pontuar que, segundo NBR 1448 da ABNT (2000), a tubulação deve ter uma profundidade que possibilite protegê-la contra cargas externas, como também, em princípio, a rede não deve ter profundidade para atender ligação predial mais baixa que o nível da rua. Sendo a profundidade calculada a partir das condições hidráulicas e recobrimento mínimo da rede.

3 METODOLOGIA

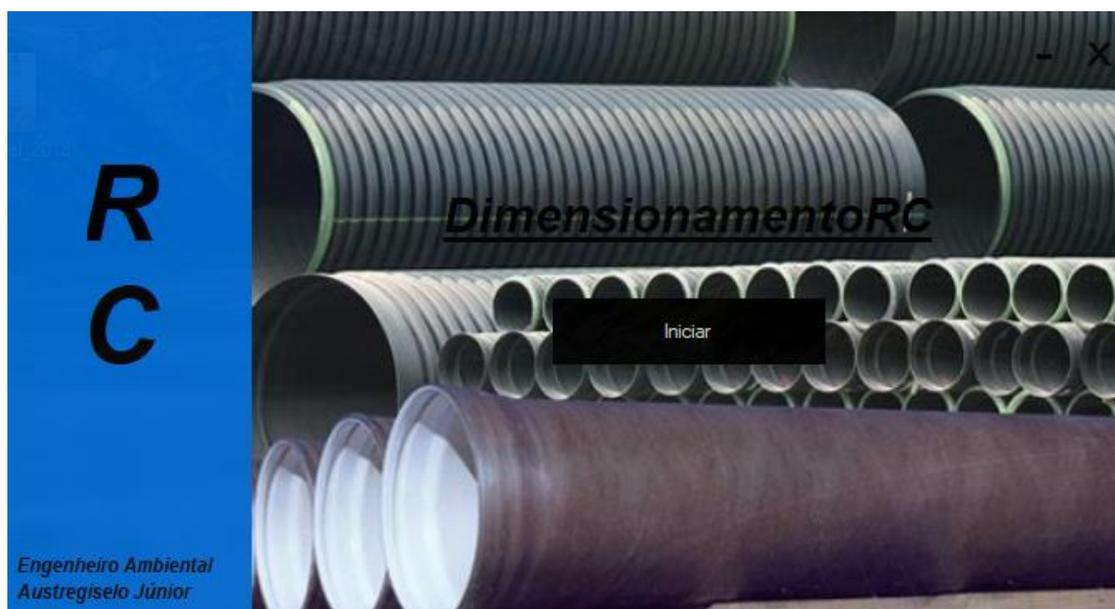
Com o propósito de automatizar os cálculos para otimizar a composição de rede coletora de esgoto, optou-se pela elaboração de uma rotina computacional consolidada como o aplicativo denominado DimensionamentoRC, voltado ao dimensionamento de rede coletora de esgoto em geral.

3.1 Software

O aplicativo DimensionamentoRC, cuja tela inicial é mostrada na figura 4, é um software elaborado para dimensionamento de rede coletora de esgoto. O programa trabalha de forma semiautomática, dimensionando conduto por conduto, oferecendo ao usuário a oportunidade de acompanhar o dimensionamento, auxiliando assim, indiretamente no traçado da própria rede coletora. Faz-se importante pontuar que o programa não substitui o engenheiro, pois o mesmo é necessário principalmente para a concepção inicial do traçado da rede.

O programa foi desenvolvido utilizando-se a linguagem Visual Basic.net, trazendo uma interface simples, onde devem ser inseridos os dados de entrada e tendo como saída o dimensionamento do coletor.

Figura 4 - Início do programa



Fonte: autor

3.2 Dados de entrada

Ao iniciar a execução do programa, o usuário deve inserir os dados necessários para o dimensionamento, sendo eles:

- População para início de plano, (hab.);
- População para fim de plano, (hab.);
- Coeficiente de retorno;
- Consumo efetivo de água, (L/hab.*dia);
- Taxa de infiltração, (L/s*m);
- Cota de montante do terreno, (m);
- Cota de jusante do terreno, (m);
- Recobrimento mínimo, (m);
- Comprimento total da rede, (m);
- Comprimento do conduto, (m);
- Vazão singular inicial, (L/s);
- Vazão singular final, (L/s);
- Coeficiente de máxima vazão diária;
- Coeficiente de máxima vazão horária.

Em seguida, é necessário a verificação do tipo de conduto, podendo ser trecho ou tronco. Caso seja tipo trecho é necessário verificar também a possibilidade de ponta seca ou não, figura 5:

Figura 5 - Dados de entrada

Rede coletora

Tipo

Ponta seca, ($P_m = P_{min}$)

Dados

População para início de plano =

População da fim de plano =

Coeficiente de retorno =

Consumo de água ef. (L/hab*dia) =

Taxa de infiltração (L/s*m) =

Cota do terreno de montante (m) =

Cota do terreno de jusante (m) =

Recobrimento mínimo (m) =

Comprimento total da rede (m) =

Comprimento do conduto (m) =

Vazão singular inicial (L/s) =

Vazão singular final (L/s) =

Coef. de máx vazão diária (K1) =

Coef. de máx vazão hoária (K2) =

Fonte: autor

Caso o coletor não seja de ponta seca, para o dimensionamento adequado se faz necessária a introdução dos dados dos coletores afluentes, como cotas e profundidades de jusante e possível somatório de vazões de jusante, como também o diâmetro do coletor afluente de maior diâmetro. Já no caso de ponta seca, apenas

é necessário introduzir os dados de diâmetro mínimo por norma, conforme mostra a figura 6.

É importante mencionar que geralmente poços de visitas têm no mínimo três entradas e uma saída. Contudo, nada garante a possibilidade de haver mudanças como a existência de uma ou mais de três entradas. Assim para não ser condição limitante do programa, o mesmo é capaz de fazer o dimensionamento com até quatro condutos afluentes.

Figura 6 - Dados de possíveis condutos afluentes

Vazão de lançada no poço de visita afluente (L/s)				Cota de jusante do conduto anterior (m)		
<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>
<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>
Diâmetro mínimo ou superior (mm)			Relação de diâmetro		Profundidade de jusante do conduto (m)	
<input type="text"/>			<input type="text"/>		<input type="text"/>	

Fonte: autor

3.3 Dados de saída

Como dados de saída tem-se o dimensionamento do conduto, sendo inicialmente exibido em cada aba, figura 7. O mesmo pode ser exportado para Excel, figura 8, para todos os casos proposto pelo software.

Figura 7 - Dados de saída

Coletor/Trecho	Comprimento do conduto (m)	Poços de visita	Vazão doméstica (L/s)	Taxa de contribuição linear (L/s·m)	Vazão de montante (L/s)	Vazão de trecho (L/s)	Vazão singular (L/s)
1-14	92	14	2.5	0.0020841269€	3.57	0.1917396825€	2.75
		15	5	0.0048619047€	8.31	0.4472952380€	6.5
Vazão a jusante (L/s)	Vazão de projeto (L/s)	Cotas Terreno (m)	Declividade do terreno (m/m)	Diâmetro	Declividade de projeto (m/m)	Cotas do condutor (m)	Profundidade mínima (m)
6.5117396825€	6.5117396825€	9	0.0065217391€	0.2059614778€	0.0022799487€	6.387	1.1
15.257295238€	15.257295238€	8.4		250		6.17724471484	
Profundidade do coletor (m)	Declividade mínima e máxima (m/m)	Y/D	Velocidades (m/s)	Tensão trativa	Velocidade crítica (m/s)		
2.613	0.0022799487€	0.3256477	0.46942544561	1.0415483990€	4.7612869686€		
2.2227552851€	0.74907101797	0.5218681	0.5888569484€				

Fonte: autor

Figura 8 - Dados de saída em Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
1	Coletor/T	Comprime	Poços de	Vazão do	Taxa de c	Vazão de	Vazão de	Vazão sir	Vazão a j	Vazão de	Cotas Ter	Declivida	Diâmetro	Declivida	Cota do ci	Profundic	Profundic	Declivida	Y/D	Velocida	Tensão tr	Velocidade	crétoca	(m/s)	
2	1	92	14	2.5	0.002084	3.57	0.19174	2.75	6.51174	6.51174	9	0.006522	0.205961	0.00228	9	1.1	2.613	0.00228	0.325648	0.469425	1.041548	4.761287			
3			15	5	0.004862	15.2573	0.447295	6.5	15.2573	15.2573	8.4		250		8.4	2.222755	0.749071	0.521868	0.588857						
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									

Fonte: autor

3.4 Algoritmo

Segundo Sarmiento (2018), algoritmo é um conjunto de regras dispostas, passo à passo, sob uma lógica para determinar a solução de um dado problema. A programação se divide em três etapas, figura 9. São estas: dados de entrada, processamento e dados de saída (Tavares, 2009).

Figura 9 - Etapas da programação



Fonte: autor

As regras dispostas passo a passo se encontram na etapa de processamento de dados. Para este trabalho estão subdivididas em sub-rotinas sendo elas dependentes entre si.

O processamento do referido trabalho desenvolve-se pelo sequenciamento das seguintes sub-rotinas, seja em qualquer tipo de conduto proposto:

- Cálculo de taxa;
- Cálculo de vazão;
- Cálculo para declividade do terreno;
- Cálculo da declividade mínima e máxima;
- Cálculo da profundidade mínima;
- Cálculo da declividade de projeto;
- Cálculo do diâmetro;
- Verificação de degrau;
- Cálculo das cotas do conduto;
- Cálculo das profundidades do conduto;
- Verificação de lâmina líquida;
- Verificação das velocidades;
- Verificação da tensão trativa;
- Verificação da velocidade crítica.

4 EXEMPLO PRÁTICO

Como exemplo manual será usado o exercício proposto na disciplina de Sistema de Esgoto e Drenagem ministrada pelo professor Leonardo Vieira Soares, onde se pede para dimensionar trechos de uma rede coletora de esgoto, figura 10 e 11.

Figura 10 - Dados de exemplo manual

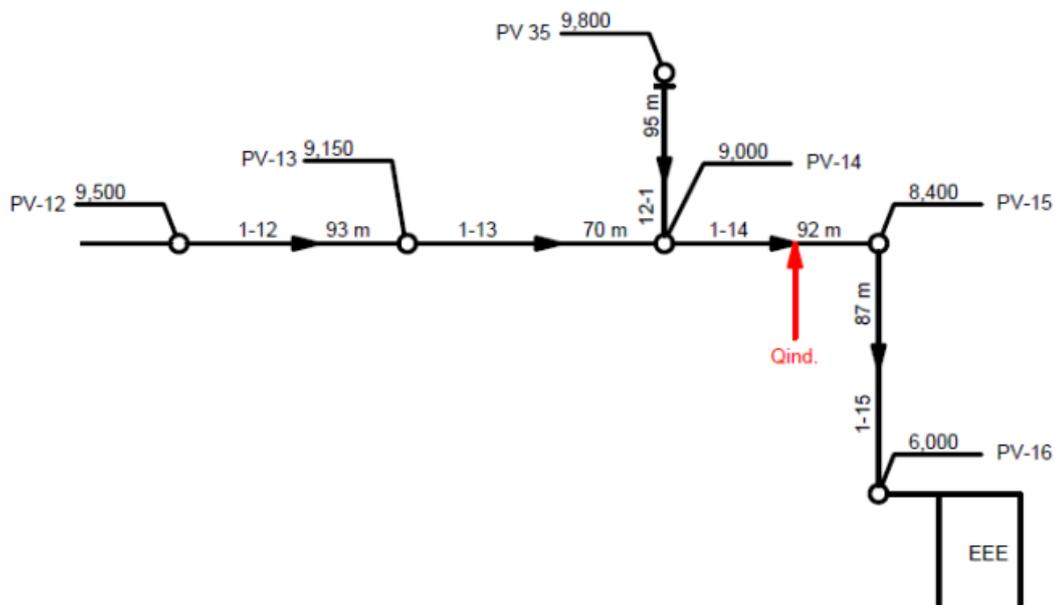
SISTEMAS DE ESGOTO E DRENAGEM
ANO 2017.2
DIMENSIONAMENTO DE REDE COLETORA DE ESGOTOS

1. Projetar a rede coletora de esgotos ilustrada na figura abaixo, utilizando os seguintes dados:

- População Inicial (P_i): 1500 hab;
- População Final (P_f): 3000 hab;
- Consumo de água efetivo per capta (q_e): 180 l/hab.dia;
- Coeficiente de retorno (C): 0,8
- Coeficiente da máxima vazão diária (K_1): 1,2;
- Coeficiente da máxima vazão horária (K_2): 1,5;
- Taxa de Infiltração (T_i): 0,1 l/s.m;
- Recobrimento mínimo de 0,90 m;
- Diâmetro mínimo de 150 mm;
- Vazão da Indústria Inicial ($Q_{i,i}$) = 2,75 l/s;
- Vazão da Indústria Final ($Q_{i,f}$): 6,50 l/s;
- $L = 1.890$ m.

Fonte: Soares 2017

Figura 11 - Traçado da rede do exemplo manual



Fonte: Soares 2017

Para este exemplo foi utilizado o trecho 1-14, pois há a contribuição singular mostrado como, Q_{ind} , assim temos:

Vazão doméstica

Para a avaliação da vazão doméstica é necessário inicialmente verificar os critérios e os parâmetros de projeto como o coeficiente de retorno e consumo efetivo a serem devidamente justificados. Os cálculos são feitos segundo equação 1.

$$\bar{Q}_{di} = \frac{P_i * C * q_e}{86400} = \bar{Q}_{di} = \frac{1500 * 0,8 * 180}{86400} = 2,5 \text{ L/s}$$

$$\bar{Q}_{df} = \frac{P_f * C * q_e}{86400} = \bar{Q}_{df} = \frac{3000 * 0,8 * 180}{86400} = 5 \text{ L/s}$$

Taxa de contribuição linear para redes simples

Como no caso anterior é necessário verificar critérios e parâmetros de projeto, como os coeficientes de variação de vazão e taxa de infiltração, aplicando as equações 2 e 3 temos:

$$T_{xi} = \frac{K_2 * \bar{Q}_{di}}{L_{ti}} + T_{inf} = T_{xi} = \frac{1,5 * 2,5}{1890} + 0,0001 = 0,0021 \text{ L/s*m}$$

$$T_{xf} = \frac{K_1 * K_2 * \bar{Q}_{df}}{L_{tf}} + T_{inf} = T_{xf} = \frac{1,2 * 1,5 * 5}{1890} + 0,0001 = 0,0049 \text{ L/s*m}$$

Vazões

Com as vazões e os demais cálculos faz-se o pré-dimensionamento das unidades do sistema. Utilizando a equação 5 e 4, respectivamente temos:

$$Q_{ti} = T_{xi} * L = Q_{ti} = 0,0021 * 92 = 0,1932 \text{ L/s}$$

$$Q_{tf} = T_{xf} * L = Q_{tf} = 0,0049 * 92 = 0,4508 \text{ L/s}$$

Segundo as condições dos trechos anteriores, temos que a vazão de montante do trecho 1-14 é igual ao somatório da vazão de jusante dos trechos 12-1 e 1-13, para início e fim de plano. Assim:

$$Q_{ji} = Q_m + Q_{ti} + Q_s = Q_{ji} = 3,57 + 0,1932 + 2,75 = 6,5132 \text{ L/s}$$

$$Q_{jf} = Q_m + Q_{tf} + Q_s = Q_{jf} = 8,32 + 0,4508 + 6,50 = 15,2708 \text{ L/s}$$

Declividade do terreno

Aplicando a equação 8:

$$I_t = \frac{C_{tm} - C_{tj}}{L} = I_t = \frac{9 - 8,4}{92} = 0,0065 \text{ m/m}$$

Declividade mínima

Aplicando a equação 9:

$$I_{\min} = 0,0055 * Q_i^{-0,47} = I_{\min} = 0,0055 * 6,5132^{-0,47} = 0,0023 \text{ m/m}$$

Declividade máxima

Aplicando a equação 10:

$$I_{\max} = 4,65 * 15,2708^{-0,67} = 0,74 \text{ m/m}$$

Profundidade mínima

Aplicando a equação 11:

$$P_{\min} = R_{\min} + D_{\min} = P_{\min} = 0,9 + 0,2 = 1,10 \text{ m}$$

Declividade de projeto

Fazendo a comparação com os trechos anteriores é notado que a profundidade de jusante do coletor 1-13 (2,563), é maior que do coletor 12-1 (2,445), assim adotando como referência anterior o coletor 1-13. Assim caímos na consideração 3.

$$\text{Consideração 3 } (I_t > I_{\min} \text{ e } P_{jCA} > P_{\min})$$

$$P_{\min} = P_j, P_j = 1,05 \text{ m}$$

$$CC_j = C_{tj} - P_j = CC_j = 8,4 - 1,10 = 7,30 \text{ m}$$

Considerando também a igualdade entre cota do coletor de montante (CC_m) e cota do coletor anterior de jusante temos (CCA_j). Aplicando a equação 12 temos:

$$I_p = \frac{CC_m - CC_j}{L} = I_p = \frac{6,437 - 7,3}{92} = -0,0094 \text{ m/m}$$

No entanto, para este caso verificamos que a cota de jusante é maior que a cota de montante do coletor. Assim fazer-se:

$$I_p = I_{\min} = 0,00228 \text{ m/m}$$

Diâmetro

Aplicando a equação 14:

$$D = \left(0,0463 * \frac{Q_f}{\sqrt{I_p}}\right)^{0,375} = D = \left(0,0463 * \frac{15,2708}{\sqrt{0,00228}}\right)^{0,375} = 0,205 \text{ m}$$

$$DN = 250 \text{ mm}$$

Verificação de degrau

A verificação de degrau segundo a variação de diâmetro na rede é feita pela relação entre o DN do trecho atual e o DN do trecho anterior de maior diâmetro.

$$Dg = \frac{DN - D}{1000} = \frac{250 - 200}{1000} = 0,05 \text{ m}$$

Cálculo das cotas do conduto

Aplicando a equação 24 e 25:

$$C_{mc} = C_{jca} - D_g = C_{mc} = 6,437 - 0,05 = 6,3870 \text{ m}$$

$$C_{jc} = C_{mc} - (I_p * L) = C_{jc} = 6,3870 - (0,00228 * 92) = 6,1772 \text{ m}$$

Profundidades do conduto

Aplicando as equações 27 e 28:

$$P_m = C_{mt} - C_{mc} = P_m = 9 - 6,3870 = 2,6130 \text{ m}$$

$$P_j = C_{jt} - C_{jc} = P_j = 8,4 - 6,1772 = 2,2228 \text{ m}$$

Verificação da lâmina líquida de esgoto (Y/D)

Para verificar a lâmina de líquido no conduto foi aplicado uma rotina computacional, em que se calcula o valor do ângulo central referente a área molhada através da equação 15, $f(a)$.

$$f_{(a)} = \frac{(a - \text{sen}(a)) * D^2 * (a - \text{sen}(a))^{\frac{2}{3}} * D^{\frac{2}{3}} * \sqrt[2]{I_p}}{2^{13/3} * a^{2/3}} - Q * n$$

Aplicando o método iterativo da bisseção, foi obtido o valor para (a) . Onde, de acordo com equação de (Y/D) , sendo $(a) = 2,42$ e $(a) = 3,22$, para início e fim de plano respectivamente, aplica-se a equação 16:

$$\frac{Y}{D} = \frac{1 - \cos(a/2)}{2} = \frac{Y}{D} = \frac{1 - \cos(2,42/2)}{2} = 0,32 \text{ (para início de plano)}$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{1 - \cos(a/2)}{2} = \frac{Y}{D} = \frac{1 - \cos(3,22/2)}{2} = 0,52 \text{ (para fim de plano)}$$

Verificação das velocidades

Para verificação das velocidades, foi utilizada a equação da continuidade, sendo de início o cálculo da área molhada através da equação 19, sendo $A_m = 0,0038$ e $A_m = 0,026$, para início e fim de plano respectivamente. Aplicando as equações 17 e 18:

$$A_m = (a - \text{sen}(a)) * \frac{D^2}{8}$$

$$V_i = \frac{Q_i}{A_m} = V = \frac{6,51}{0,0038} = 0,469 \text{ m/s (para início de plano)}$$

$$V_i = \frac{Q_f}{A_m} = V = \frac{15,27}{0,026} = 0,58 \text{ m/s (para fim de plano)}$$

Verificação da tensão trativa

A partir da equação 21, obtém-se o raio hidráulico para início de plano e, aplicando-se a equação 20 temos:

$$R_h = \frac{A_m}{(a * D)/2}$$

$$\sigma = \lambda * R_{hi} * I_p = \sigma = 1000 * 0,045 * 0,00227 = 1,04 \text{ Pa}$$

Verificação da velocidade crítica

Obtido o raio hidráulico final de plano com a equação 21, se aplica a equação 22:

$$v_c = 6 * \sqrt[2]{g * R_{hf}} = v_c = 6 * \sqrt[2]{9,81 * 0,064} = 4,76 \text{ m/s}$$

É importante observar que, pela semelhança do pré-dimensionamento entre trecho da rede coletora e coletor tronco, não se faz necessário o cálculo manual de coletor tronco.

5 APLICAÇÃO PRÁTICA DO PROGRAMA

Usando as mesmas condições da seção exemplo prático, para esta etapa, inicialmente foram introduzidos os dados necessários para o processamento, figura 13. Após “clickar” no botão dimensionar o processamento é efetuado e os dados de saída são inicialmente expostos nas suas respectivas abas, figura 12.

Figura 12 - Introdução de dados

Rede de esgoto

Arquivo Preview

Rede coletora

Tipo

Trecho ▾

Ponta seca, (Pm = Pmin)

Dados

População para início de plano = 1500

População da fim de plano = 3000

Coefficiente de retorno = 0.8

Consumo de água ef. (L/hab*dia) = 180

Taxa de infiltração (L/s*m) = 1.0001

Cota do terreno de montante (m) = 9

Cota do terreno de jusante (m) = 8.4

Recobrimento mínimo (m) = 0.9

Comprimento total da rede (m) = 1890

Comprimento do conduto (m) = 92

Vazão singular inicial (L/s) = 2.75

Vazão singular final (L/s) = 6.5

Coef. de máx vazão diária (K1) = 1.2

Coef. de máx vazão hoária (K2) = 1.5

Coletor/Trecho	Comprimento do coletor (m)	Poço de visita	Vazão doméstica (L/s)	Taxa de contribuição linear (L/s*m)	Vazão de montante (L/s)	Vazão de trecho (L/s)	Vazão singular (L/s)
1-14		14					
		15					

Vazão a jusante (L/s)	Vazão de projeto (L/s)	Cotas Terreno (m)	Declividade do terreno (m/m)	Diâmetro	Declividade de projeto (m/m)	Cotas do coletor (m)	Profundidade mínima (m)

Profundidade do coletor (m)	Declividade mínima e máxima (m/m)	Y/D	Velocidade (m/s)	Tensão trativa	Velocidade crítica (m/s)

Vazão de lançada no poço de visita afluente (L/s)				Cota de jusante do conduto anterior (m)
3.37	+ 0.2	+ 0	+ 0	
7.86	+ 0.46	+ 0	+ 0	6.437

Diâmetro mínimo ou superior (mm)	Relação de diâmetro	Profundidade de jusante do conduto (m)
200		2.563

Dimensionar Exportar Excel

DimensionamentoRC
Engenheiro Ambiental
Austregiseio Júnior

Fonte: Autor

Figura 13 - Exposição de dados em suas respectivas abas

Rede de esgoto

Arquivo Preview

Rede coletora

Tipo

Trecho ▾

Ponta seca, (Pm = Pmin)

Dados

População para início de plano = 1500

População da fim de plano = 3000

Coefficiente de retorno = 0.8

Consumo de água ef. (L/hab*dia) = 180

Taxa de infiltração (L/s*m) = 1.0001

Cota do terreno de montante (m) = 9

Cota do terreno de jusante (m) = 8.4

Recobrimento mínimo (m) = 0.9

Comprimento total da rede (m) = 1890

Comprimento do conduto (m) = 92

Vazão singular inicial (L/s) = 2.75

Vazão singular final (L/s) = 6.5

Coef. de máx vazão diária (K1) = 1.2

Coef. de máx vazão horária (K2) = 1.5

Coletor/Trecho	Comprimento do conduto (m)	Poços de visita	Vazão doméstica (L/s)	Taxa de contribuição linear (L/s*m)	Vazão de montante (L/s)	Vazão de trecho (L/s)	Vazão singular (L/s)
1-14	92	14	2.5	0.0020841269€	3.57	0.1917396825€	2.75
		15	5	0.0048619047€	8.31	0.4472952380€	6.5

Vazão a jusante (L/s)	Vazão de projeto (L/s)	Cotas Terreno (m)	Declividade do terreno (m/m)	Diâmetro	Declividade de projeto (m/m)	Cotas do condutor (m)	Profundidade mínima (m)
6.5117396825€	6.5117396825€	9	0.0065217391€	0.2059614778€	0.0022799487€	6.387	1.1
15.257295238€	15.257295238€	8.4		250		6.17724471484	

Profundidade do coletor (m)	Declividade mínima e máxima (m/m)	Y/D	Velocidades (m/s)	Tensão trativa	Velocidade crítica (m/s)
2.613	0.0022799487€	0.3256477	0.46942544561	1.0415483990€	4.7612869686€
2.2227552851€	0.74907101797	0.5218681	0.5888569484€		

Vazão de lançada no poço de visita afluente (L/s)	Cota de jusante do conduto anterior (m)
3.37 + 0.2 + 0 + 0	6.437
7.86 + 0.45 + 0 + 0	

Diâmetro mínimo ou superior (mm)	Relação de diâmetro	Profundidade de jusante do conduto (m)
200	0.05	2.563

Dimensionar Exportar Excel

DimensionamentoRC
Engenheiro Ambiental
Austregiselo Júnior

Fonte: Autor

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão comparados e discutidos os resultados do exemplo manual e aplicação prática do programa. Sabe-se que o mesmo processo lógico utilizado no exemplo manual foi utilizado no processamento de dados do software afim de dimensionar o conduto.

De uma forma geral comparando os resultados é verificado uma maior precisão quando utilizado o programa DimensionamentoRC, como o mesmo foi programado com esse objetivo, atribuindo as suas variáveis a precisão do tipo *Double*, caracterizado por necessitar de 64 bytes de memória com precisão de 15 a 16 dígitos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação desenvolvida neste trabalho mostra-se eficaz como ferramenta de auxílio ao desenvolvimento de estudo de concepção de sistema de esgoto sanitário,

revelando a possibilidade da automatização do pré-dimensionamento através de rotinas computacionais.

No entanto, como qualquer outro programa que processa dados, não exclui a necessidade do engenheiro, visto que, o mesmo deve atribuir os dados corretamente e verificar o pré-dimensionamento segundo traçado da rede, pois o software só processa os cálculos.

Diante do exposto tem-se como sugestão de trabalhos futuros o desenvolvimento de atualizações do software, que possibilite a leitura do traçado da rede coletora de esgoto, oferecendo ao engenheiro uma maior agilidade no processo de pré-dimensionamento da rede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TEIXEIRA, J. C; OLIVEIRA. G. S; VIALI. A. M; MUNIZ. S. S. **Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009**. Juiz de Fora (MG). 2014

GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA. **Saneamento básico**. Agosto de 2007

TSUTIYA, T. M; SOBRINHO. A. P. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 2. ed. UFCE. 2000.

ALESSANDRO, A. B. **Dimensionamento Hidráulico de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário Usando o Critério de Atendimento Crítico**. Fortaleza (CE).2011

RIO DE JANEIRO. Associação Brasileira de normas Técnicas. NBR 9649. **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. 1986.

SOARES V. L. **Notas de aula da disciplina de Esgoto e Drenagem**, ministrada pelo professor engenheiro civil Leonardo Vieira Soares. UFPB. 2018

ARIOVALDO; NUVOLARI. **Esgoto sanitário, coleta, transporte tratamento e reuso agrícola**. São Paulo, Ed Blucher. 2003

ADHEMAR D. N. **Construção de redes de esgoto sanitário**. São Paulo. 1975

SÃO PAULO. Norma Técnica SABESP. NTS 025. **Projeto de Redes Coletoras de Esgotos**. 2006.

STEVEN C. CHAPRA; RAYMOND P. C. **Métodos Numéricos para engenharia**. São Paulo. 2008

RIO DE JANEIRO. Associação Brasileira de normas Técnicas. NBR 14486. **Sistema enterrados para condução de esgoto sanitário – Projeto de redes coletoras com tubos de PVC**. 2000

SARMENTO J. F. **Notas de aula da disciplina Programação aplicada à engenharia**. ministrada pelo professor e engenheiro civil Francisco Jácome Sarmiento. UFPB. 2018.