

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Gabriela Nobre Pedreira da Costa

Comparação entre os métodos de escoamento não permanente e permanente uniforme para o dimensionamento de galerias de drenagem

Trabalho de Graduação
2013

Civil

Gabriela Nobre Pedreira da Costa

Comparação dos métodos de escoamento não permanente e permanente uniforme para o dimensionamento de galerias de drenagem

Orientadora
Profa. Dra. Nadiane Smaha Kruk (ITA)

Engenharia Civil-Aeronáutica

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Costa, Gabriela N.P.

Comparação dos métodos de escoamento não permanente e permanente uniforme para o dimensionamento de galerias de drenagem / Gabriela Nobre Pedreira da Costa.

São José dos Campos, 2013.

66f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2013.
Orientadora: Profa. Dra. Nadiane Smaha Kruk

1 Dimensionamento de galerias pluviais 2. Escoamento não permanente 3. UFC 8 4 Drenagem Urbana
I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COSTA, Gabriela N.P. **Comparação dos métodos de escoamento não permanente e permanente uniforme para o dimensionamento de galerias de drenagem.** 2013. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

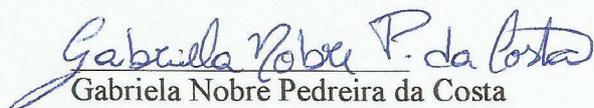
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabriela Nobre Pedreira da Costa

TÍTULO DO TRABALHO: Comparação dos métodos de escoamento não permanente e permanente uniforme para o dimensionamento de galerias de drenagem

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2013

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



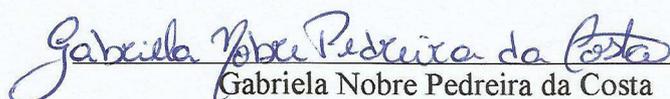
Gabriela Nobre Pedreira da Costa

Rua Santo Oswaldo, 45 – Praça Seca.

CEP 21321-280 – Rio de Janeiro – RJ

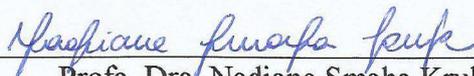
Comparação dos métodos de escoamento não permanente e permanente uniforme para o dimensionamento de galerias de drenagem

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



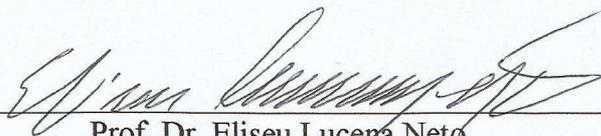
Gabriela Nobre Pedreira da Costa

Autor



Profa. Dra. Nadiane Smaha Kruk (ITA)

Orientador



Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 14 de novembro de 2013

Dedico esse trabalho às três mulheres da minha vida: Minha mãe Teresa, minha irmã Isabella e a minha avó Conceição(In memoriam). Sem elas nada seria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Nadiane Smaha Kruk por me dar rumo ao estudo, pela paciência durante esse trabalho e amizade nesses anos de aconselhamento.

Agradeço ao Prof. Ph.D. Marco Aurélio Holanda de Castro por ser um dos incentivadores desse trabalho, e de ter cedido o software UFC-8 além de treinamento sobre o programa.

Agradeço a Profa. Dra. Íria Fernandes Vendrame, cuja experiência e dicas foram bastante importantes para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Agradeço a minha família e amigos pela paciência e apoio às decisões que fiz em todos esses anos de ITA.

E por último, mas mais importante, a Deus por estar comigo em todos os meus passos e decisões que tomei na minha vida.

“Uma vida sem desafios não vale a pena ser vivida ”

Sócrates

RESUMO

O sistema de drenagem urbana é importante para o desenvolvimento urbano. Ele é necessário para garantir a segurança e bem estar à população em dias de chuvas, porém ainda não existe uma norma Brasileira que determine metodologias de cálculos, cabendo assim se basear em planos diretores locais de drenagem. Nesses planos e na maioria dos softwares de dimensionamento encontrados no mercado, utiliza-se o método racional e a equação de Manning, que pressupõe um escoamento permanente e uniforme. Porém, com a intensificação da ocorrência de inundações em áreas urbanas, surge a necessidade de avaliar a utilização de modelos hidrodinâmicos para o dimensionamento das redes de drenagem.

Para auxiliar nos projetos e planejamento dos sistemas de drenagem urbana, o UFC-8, desenvolvido dentro do Sistema UFC, constitui uma interface do AUTOCAD com o software Storm Water Management Model (SWMM) que utiliza as equações de Saint-Venant completas para propagação de cheia dentro da rede drenagem. Essas equações consideram o escoamento livre como não permanente.

O objetivo deste trabalho foi comparar as metodologias de dimensionamento de galerias, o método do escoamento não permanente e o método do escoamento permanente e uniforme, realizando um estudo em região próxima ao córrego Senhorinha afluente do córrego Vidoca, localizado na região sul da cidade de São José dos Campos. Os resultados apresentaram que a diferença entre as vazões de uma mesma galeria dimensionada pelos dois métodos varia entre 10 % e 27 %, além de ocorrer diferenças no diâmetro obtido em certos trechos.

ABSTRACT

The urban drainage system is important for urban development. It is necessary to ensure the safety and welfare of the population in rainy days, but there is not a Brazilian standard that determines design methodologies, so the project is based on local drainage master plans. In these plans and in the most of drainage softwares- they use the rational method and the Manning equation, which implies a steady and uniform open-channel flow. However, with the increasing of flood occurrence in urban areas, it arises the need to evaluate the use of hydrodynamic models to design drainage systems.

Aiming at assisting the design and planning of urban drainage systems, UFC - 8, developed within the UFC system, constitutes interface AUTOCAD software with the Storm Water Management Model (SWMM) that uses the Saint-Venant equations for the flood propagation into the drainage network. These equations consider the unsteady open-channels flow.

The objective of this study was to compare the methodologies of design drainage systems, the method considering unsteady open-channel flow and the steady and uniform open-channel flow, conducting a study in the basin of “Senhorinha” stream, “Vidoca” stream tributary, in the south of the city of São José dos Campos. The results showed that the difference between the flow rates on a same pipe varies between 10 % and 27 %, depending on the methodology applied, and there are diameter differences in some sections.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elementos geométricos de uma seção. Fonte: Porto, 2006, p.222	15
Figura 2: Volume de controle elementar. Fonte: PORTO, 2006, p.469.	17
Figura 3: Volume de Controle. Fonte: PORTO, 2006, p.472.	18
Figura 4: Forças que atuam sobre a massa fluida. Fonte: PORTO, 2006, p.238.....	20
Figura 5: Alinhamento dos condutos. Fonte: SMDU,2012 v.3, p.36	24
Figura 6: Região próxima a nascente do Córrego Senhorinha. FONTE: adaptado Google, 2011.....	32
Figura 7: Galeria Existente Diâmetro: 600 mm.....	33
Figura 8: Região de finalização de galerias pluviais	33
Figura 9: Padrão da Boca-de-Lobo utilizada.....	35
Figura 10: Padrão da Sarjeta utilizada	35
Figura 11: Elementos Geométricos dentro da galeria circular	41
Figura 12: Trecho (1-1) a (3-2).....	44
Figura 13: Trecho (2-1) a (3-2).....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de escoamento. Fonte: TUCCI, 1995, p.87.....	34
Tabela 2: Dados das Bocas de Lobo e bacias de Contribuição	37
Tabela 3: Cálculo das Sarjetas.....	39
Tabela 4: Parâmetros para a modelagem	40
Tabela 5: Vazões absorvidas pelas Bocas de Lobo e suas áreas de influência	40
Tabela 6: Dimensionamento das galerias e dos tubos de ligação utilizando o escoamento não permanente	43
Tabela 7: Dimensionamento das galerias utilizando o escoamento permanente e uniforme ...	46
Tabela 8: Comparação entre as vazões e diâmetros	48

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Símbolos

- A - Área molhada (m^2)
- P - Perímetro molhado (m)
- R_h - Raio Hidráulico (m)
- D - diâmetro da seção circular (m ou mm)
- y - Altura d' água (m)
- h - Altura do escoamento da seção (m)
- B - Largura do topo (m)
- H_m - Altura hidráulica ou média (m)
- $I_0 = \text{tg } \theta$ - Declividade de fundo
- I_a - Declividade piezométrica ou da linha d' água
- I_f - Declividade da linha de energia
- v - velocidade média da seção (m/s)
- Vol. - Volume da seção de controle (m^3)
- ρ - massa específica (kg/m^3)
- Q - vazão (m^3/s ou L/s)
- t- tempo (h, min ou s)
- γ - peso específico (N/m^3)
- τ_0 - tensão de cisalhamento (N/m^2)
- g - aceleração da gravidade (m/s^2)
- f - fator de atrito
- n - número de Manning ($s/m^{1/3}$)
- W - peso da massa fluída (N)
- i - intensidade da chuva (mm/min)
- t_e - tempo de entrada (min)
- t_p - tempo de percurso (min)
- T - tempo de retorno (anos)
- t_c - tempo de concentração (min)
- D- diâmetro da tubulação (m ou mm)
- θ - ângulo geométrico (rd)
- C - Coeficiente de escoamento

Abreviaturas e Siglas

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Básico (SP).

CTJ – Cota do Terreno a Jusante.

CTM – Cota do Terreno a Montante.

EPA - Environmental Protection Agency.

FAA - Federal Aviation Administration.

HEC – Hydraulic Engineering Circular.

PDDI – Plano de Desenvolvimento Integrado.

PDDrU - Planos Diretores de Drenagem Urbana.

SMDU – Secretária Municipal de Desenvolvimento Urbano (SP).

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas.

SWMM- Storm Water Management Model.

VB - Visual Basic.

VBA – Visual Basic Applications

SUMÁRIO

1	Introdução	13
2	Revisão Bibliográfica	14
2.1	Escoamento Livre	14
2.1.1	Escoamento Não Permanente.....	19
2.1.2	Escoamento Permanente e Uniforme	20
2.2	Diretrizes de microdrenagem	22
2.2.1	Elementos da drenagem urbana	23
2.2.2	Planejamento da drenagem	24
3	SWMM e o UFC-8.....	28
3.1	UFC-8.....	28
3.2	SWMM.....	29
4	Estudo de caso: Córrego Senhorinha.....	31
4.1	Córrego Senhorinha	31
4.2	Parâmetros de projeto.....	34
4.3	Modelagem Hidráulica.....	39
5	Resultados.....	42
6	Conclusão.....	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
	APÊNDICE A: Planta Baixa da Região.....	53
	APÊNDICE B: Planta Das Bocas De Lobo E Bacias De Contribuição	55
	APÊNDICE C: Código do cálculo do Raio Hidráulico	57
	APÊNDICE D: Planta da Rede Projetada Córrego Senhorinha	61

1 Introdução

O sistema de drenagem urbana é importante para o desenvolvimento urbano. Ele é necessário para garantir a segurança e bem estar à população em dias de chuvas. Um mau projeto ou o seu não desenvolvimento pode trazer problemas críticos como as enchentes que são vistas, por exemplo, nos grandes centros urbanos em períodos de precipitações intensas.

O dimensionamento do sistema de drenagem não possui uma norma Brasileira que determine metodologias de cálculos, cabendo assim se basear em planos diretores locais de drenagem. Nesses planos, como será detalhadamente apresentado, e na maioria dos softwares de dimensionamento encontrados no mercado, utiliza-se o método racional e a equação de Manning, que pressupõe um escoamento permanente e uniforme. Porém, com a intensificação da ocorrência de inundações em áreas urbanas, devido à ineficiência da política de desenvolvimento urbano, e/ou à intensificação dos eventos extremos por consequência das mudanças climáticas, e/ou a falta de conscientização da população local, entre outros fatores, surge a necessidade de avaliar a utilização de modelos hidrodinâmicos para o dimensionamento das redes de drenagem.

Para auxiliar nos projetos e planejamento dos sistemas de drenagem urbana, o UFC-8 foi desenvolvido dentro do Sistema UFC, que é um conjunto de sistemas computacionais destinados a sistemas hidráulicos. O software UFC-8 constitui uma interface do AUTOCAD com o software Storm Water Management Model (SWMM) que utiliza as equações de Saint-Venant completas para propagação de cheia dentro da rede drenagem (ROSSMAN, 2010). Essas equações consideram o escoamento livre como não permanentes.

A resolução das equações de Saint-Venant, que são equações parciais hiperbólicas e não lineares, é complexa, tendo raramente soluções analíticas. Trabalhos discutindo métodos numéricos para obter soluções mais didáticas para estudantes e profissionais de engenharia (SIMÕES, 2011) são desenvolvidos atualmente. Estudos com casos utilizando modelos hidrodinâmicos também já foram realizados. Simulações de inundações em uma bacia do Rio Grande Sul, utilizando outros softwares de modelagem hidráulica (MELLER, 2007) e estudos de comparação do método de escoamento não permanente e permanente uniforme em regiões do nordeste brasileiro (GUIMARÃES, 2009), por exemplo, serviram de referência para esse trabalho.

O objetivo deste trabalho é comparar resultados de dimensionamento de galerias realizados pelo método das equações de Saint-Venant com os resultados obtidos pela equação de Manning para o dimensionamento de galerias pluviais. Para atingir esse objetivo, foi realizado um estudo em região próxima ao córrego Senhorinha afluente do córrego Vidoca utilizando o software estudado UFC-8 e os métodos de dimensionamento usuais.

No capítulo 2 são apresentados os principais conceitos do escoamento em canais livres e dos principais elementos estruturais de drenagem. Também são expostos alguns planos diretores utilizados no Brasil e nos Estados Unidos, citando também o dimensionamento das galerias em aeroporto (FAA, 2010) foco dessa instituição.

No capítulo 3 é mostrada a metodologia que embasa o software UFC-8, apresentando o modelo dinâmico SWMM (ROSSMAN, 2010) e alguns outros softwares que se baseiam nele.

O capítulo 4 apresenta o estudo de caso para dimensionamento de uma rede de galerias que desemboca em um trecho do córrego Senhorinha afluente do córrego Vidoca sendo aplicados os métodos anteriormente discutidos.

No capítulo 5, são discutidos os resultados obtidos através das metodologias discutidas no capítulo anterior e haverá uma análise entre os métodos estudados. O capítulo 6 traz as conclusões obtidas.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Escoamento Livre

As galerias pluviais, item utilizado para estudo nesse trabalho, comportam-se como conduto livre. A principal característica dos condutos livres é a presença de pressão atmosférica atuando sobre a superfície do líquido, sendo assim, o escoamento se processa por gravidade. Os condutos livres podem possuir seções abertas como canais de irrigação ou drenagem ou seções fechadas como galerias pluviais. Os canais apresentam variadas formas geométricas, sendo que seus parâmetros podem variar com o tempo. Na Figura 1 são mostrados os elementos geométricos de um canal com seção qualquer.

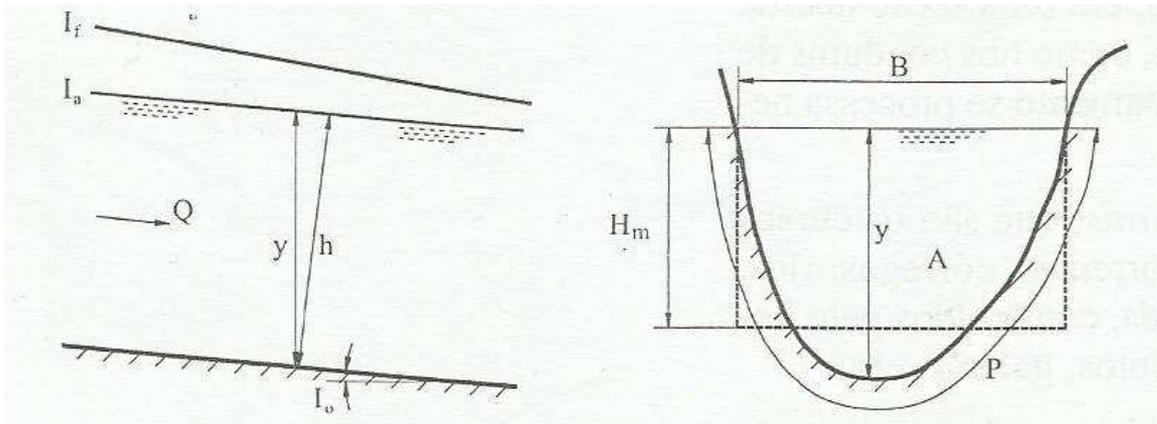


Figura 1: Elementos geométricos de uma seção. Fonte: Porto, 2006, p.222

Os principais elementos geométricos da seção (Porto, 2006, p.222) são:

- Área molhada (A) em m^2 ;
- Perímetro molhado (P) em m;
- Raio Hidráulico ($R_h = \frac{A}{P}$) em m,
- Altura d' água (y) em m,
- Altura do escoamento da seção (h) em m;
- Largura do topo (B) em m;
- Altura hidráulica ou média ($H_m = \frac{A}{B}$) em m;
- Declividade de fundo ($I_0 = \text{tg } \theta$)
- Declividade piezométrica ou da linha d' água (I_a)
- Declividade da linha de energia (I_f)

Características hidráulicas como altura d' água, área molhada, raio hidráulico podem variar no espaço e no tempo. Assim, o escoamento pode ter por parâmetros de variabilidade o espaço e tempo, sendo dividido em permanente e não permanente (ou variável) como critério comparativo tempo e uniforme e variado no critério espaço.

O escoamento é permanente se a velocidade do local em um ponto qualquer da corrente permanecer invariável no tempo em módulo e direção, deste modo os demais parâmetros hidráulicos como profundidade, vazão, área molhada têm valores constantes em uma mesma seção transversal.

O escoamento é não permanente se a velocidade variar com o tempo em certo ponto. Assim, não há uma continuidade de vazão e as características do escoamento dependem das

coordenadas do ponto considerado e do tempo. O escoamento não permanente ocorre, por exemplo, quando ocorre a passagem de uma onda de cheia através de um canal.

Como comparação no espaço, o escoamento pode ser uniforme quando as velocidades locais são paralelas entre si e constantes ao longo da mesma trajetória, sendo a linha d'água paralela a do fundo. O regime não uniforme (ou variado) ocorre quando essas trajetórias não são paralelas e os elementos característicos do escoamento variam de uma seção para outra.

Os estudos relativos aos transitórios hidráulicos em escoamentos livres se baseiam na equação da continuidade (conservação da massa) e a equação dinâmica (quantidade de movimento) que são consideradas Leis Básicas da Mecânica. As relações podem ser obtidas a partir de um conjunto de hipóteses descritas a seguir:

- Escoamento unidimensional ($v_{\text{seção}}=v$);
- Distribuição de pressão hidrostática;
- Canal de baixa declividade;
- Variação gradual das seções transversais e ausência de singularidade como contrações, pilares de ponte, etc.;
- Fluido incompressível e homogêneo (massa específica- ρ - constante);
- Perda de carga no regime variado computada por uma equação do regime permanente e uniforme (PORTO, 2006, p.469).

A equação da continuidade pode ser escrita na forma:

$$\int_{S.C} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} = - \frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C} \rho dVol \quad (1)$$

onde v é a velocidade em m/s, A é a área da seção de controle em m^2 , Vol é o volume em m^3 e ρ é a massa específica em kg/m^3 .

A vazão em massa através da superfície de controle (S.C) é igual à diminuição por unidade de tempo de massa ($\rho \cdot dV$) no interior do volume de controle (V.C). O volume de controle elementar de comprimento dx , no qual o escoamento se processa da seção 1 para a seção 2 está mostrado na Figura 2.

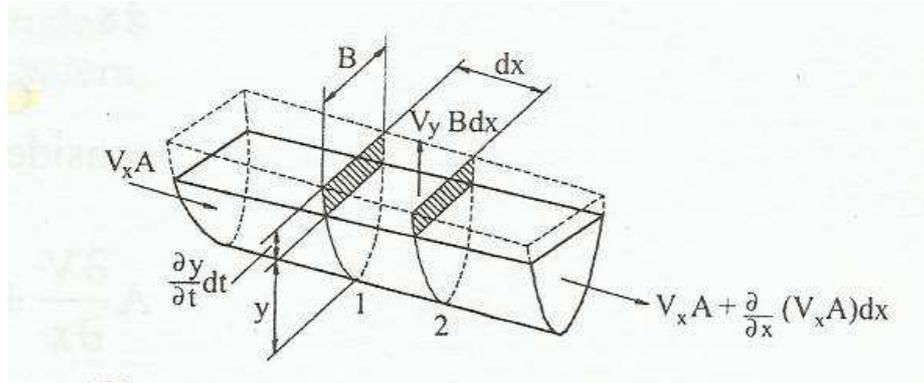


Figura 2: Volume de controle elementar. Fonte: PORTO, 2006, p.469.

Com a hipótese de fluido incompressível, a equação da conservação se reduz à conservação de volume mostrado na Equação 2. Para um canal com área A , altura d'água y , largura B em m, massa específica ρ em kg/m^3 , velocidade média v em m/s, com abscissa x ao longo do canal, tem - se a Equações 3 e 4.

$$\int_{S.C} \vec{v} \cdot d\vec{A} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C} d\text{Vol} \quad (2)$$

$$-v_x A + [v_x A + \frac{\partial}{\partial x}(v_x A) dx] = -\frac{\partial \text{Vol}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(v_x \cdot A) dx = -\frac{\partial v}{\partial t} \quad (4)$$

Não tendo aporte lateral de vazão e para declividades fracas, a equação da continuidade pode ser reduzida à equação 5.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

Onde, Q está em m^3/s e A em m^2 .

A equação dinâmica pode ser deduzida pela aplicação do Teorema da Quantidade de Movimento ao fluido que no instante t ocupa um volume de controle genérico, como é visto na equação 6.

$$\sum \mathbf{F} = \int_{S.C} \vec{v} (\rho \vec{v} \cdot d\vec{A}) + \frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C} \mathbf{v} (\rho d\text{Vol}) \quad (6)$$

onde F está em N.

Ou seja, o somatório de todas as forças que atuam sobre o fluido contido no volume de controle V.C. é igual ao fluxo por unidade de tempo da quantidade de movimento através da

superfície de controle S.C. mais a variação por unidade de tempo da quantidade de movimento da massa no interior do volume de controle.

As forças aplicadas ao volume controle estão mostradas na Figura 3.

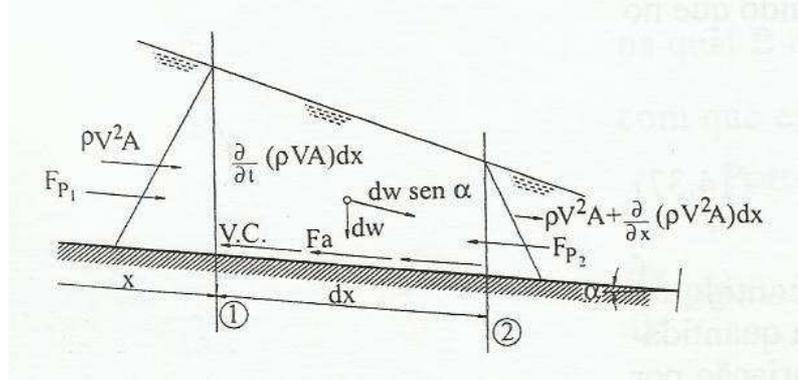


Figura 3: Volume de Controle. Fonte: PORTO, 2006, p.472.

As três forças que atuam no volume de controle podem ser descritas como:

- Pressão: $d\mathbf{F} = -\gamma\mathbf{A} \frac{\partial y}{\partial x} d\mathbf{x}$ (7),

onde γ é o peso específico do fluido em N/m^3 .

- Gravidade: $\mathbf{W}_x = -\gamma\mathbf{A} \frac{\partial z}{\partial x} d\mathbf{x} = \gamma\mathbf{A} I_0 d\mathbf{x}$ (8)

- Atrito: $\mathbf{F}_a = -\tau_0 P d\mathbf{x} = -\gamma I_f A d\mathbf{x}$ (9),

onde τ_0 é a tensão média de cisalhamento sobre P (perímetro molhado) em N/m^2 .

Assim, a força resultante sobre o volume de controle está representada na equação 10:

$$\sum \mathbf{F} = \gamma\mathbf{A} I_0 d\mathbf{x} - \gamma\mathbf{A} I_f d\mathbf{x} - \gamma\mathbf{A} \frac{\partial y}{\partial x} d\mathbf{x} = \gamma\mathbf{A} \left[I_0 - I_f - \frac{\partial y}{\partial x} \right] d\mathbf{x} \quad (10)$$

Voltando às integrais da equação dinâmica e utilizando a equação da continuidade tem-se:

$$\int_{S.C} \vec{v} (\rho \vec{v} \cdot d\vec{A}) + \frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C} \mathbf{v} (\rho d\text{Vol}) = \rho \mathbf{v} \left[v \frac{\partial A}{\partial x} + 2A \frac{\partial v}{\partial x} \right] d\mathbf{x} + \rho \left[A \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial A}{\partial t} \right] d\mathbf{x} = \rho \mathbf{A} \left[v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} \right] d\mathbf{x} \quad (11)$$

Igualando as equações 10 e 11, tem-se:

$$\gamma\mathbf{A} \left[I_0 - I_f - \frac{\partial y}{\partial x} \right] d\mathbf{x} = \rho \mathbf{A} \left[v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} \right] d\mathbf{x} \quad (12)$$

E dividindo a equação 12 por $\rho A dx$:

$$v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g (I_0 - I_f) \quad (13)$$

As equações 13 e 5 são o sistema de equações conhecidos com Equações de Saint-Venant, que descrevem o escoamento não permanente dos canais.

A equação 13 pode ser rearranjada da seguinte maneira:

$$I_f = I_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (14)$$

Cada termo da equação 14 significa um particular tipo de escoamento, que será visto nas próximas seções juntamente com as resoluções das equações de Saint-Venant.

2.1.1 Escoamento Não Permanente

A equação 14, completa, representa o escoamento não permanente. A utilização dela juntamente com a equação 5 constitui o modelo de propagação de cheia denominado modelo hidrodinâmico, proporcionando uma maior precisão na descrição do escoamento, porém com uma maior dificuldade numérica de resolução.

As equações de Saint-Venant formam um conjunto de equações diferenciais parciais do tipo hiperbólico, admitindo soluções analíticas somente em problemas simplificados. Porém, há situações físicas que não são admissíveis essas simplificações como ondas de cheia em canais, rios ou sistemas de drenagem, alterações de nível e vazão produzidas pela partida ou parada de bombas ou turbinas hidráulicas, ondas originadas por manobras de comportas em canais de irrigação, rompimentos de diques ou barragens, entre outros.

Por isso, necessita-se utilizar métodos numéricos de diferentes tipos para resolver as equações. As técnicas numéricas de discretização do domínio mais utilizadas são o método das características, método das diferenças finitas e método dos elementos finitos.

O método numérico utilizado na resolução das equações de Saint-Venant dentro do software SWMM é o método das diferenças finitas. O método das diferenças finitas, segundo (PORTO, 2006), processo numérico de resolução de equações diferenciais, ordinárias ou parciais, consiste em substituir os termos que contenham derivadas por aproximações de diferenças finitas e resolver as equações algébricas resultantes. Em algumas referências como o PORTO (2006) ou WROBEL (1989), entre outras, podem ser encontrados maiores detalhes sobre esse método.

2.1.2 escoamento Permanente e Uniforme

Como visto anteriormente, o escoamento uniforme é aquele no qual a velocidade média é constante. Isso ocorre em condições de equilíbrio dinâmico, quando há um balanceamento entre a força aceleradora (gravidade) e a força de resistência (tensão de cisalhamento). A tensão de cisalhamento depende que a velocidade média do escoamento atinja certo valor, para que haja um equilíbrio de forças, necessitando de um canal prismático de comprimento razoável e declividade e rugosidade constantes.

As equações de resistência ligam a perda de carga em um trecho à velocidade média, ou vazão, através de parâmetros geométricos e da rugosidade do perímetro molhado. Para o caso do escoamento permanente e uniforme em canais prismáticos com declividade de fundo baixa, isto pode ser feito a partir da condição de equilíbrio dinâmico entre as forças que atuam sobre a massa d'água.

Para um trecho de canal com declividade de fundo I_0 , tal que se possa tomar a altura d'água medida na vertical, as forças que atuam sobre o volume de controle ABCD, como mostrado na Figura 4 são a componente da força de gravidade $W \text{ sen } \alpha$ (sendo W o peso da massa fluída no Volume de controle), as forças de pressão hidrostática (F_1 e F_2) e a força de cisalhamento nas paredes e fundo.

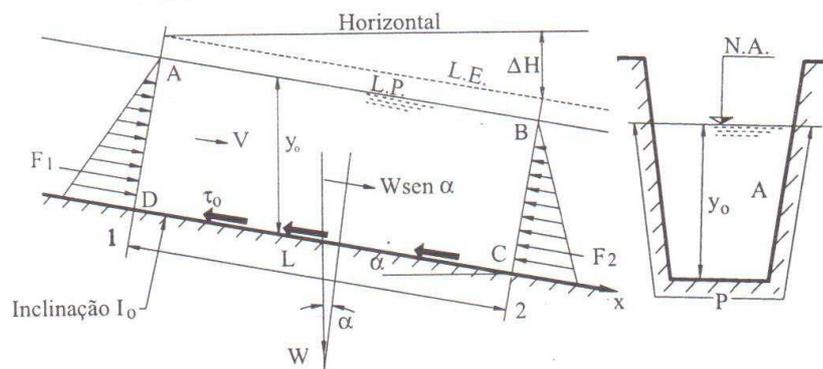


Figura 4: Forças que atuam sobre a massa fluída. Fonte: PORTO, 2006, p.238.

Aplicando a 2ª lei de Newton ao volume de controle, tem-se:

$$\sum F_x = F_1 + W \text{ sen } \alpha - F_2 - \tau_0 PL = 0 \quad (15)$$

Já que, por hipótese, o escoamento é uniforme, $y_1=y_2=y_0$, e, portanto, $F_1=F_2$, e como $W = \gamma AL$, em que L é o comprimento do trecho do canal, a equação 15 fica:

$$\gamma A L \text{sen} \alpha = \tau_0 P L \quad (16)$$

$$\tau_0 = \gamma \frac{A}{P} \text{sen} \alpha \rightarrow \tau_0 = \gamma R_h \text{sen} \alpha \quad (17)$$

Como, para ângulos pequenos ($\alpha < 6^\circ$), pode ser feita a aproximação: $\text{sen} \alpha = \text{tg} \alpha = \Delta z / L = I_0$. Assim,

$$\tau_0 = \gamma R_h I_0 \quad (18)$$

em que τ_0 é a tensão de cisalhamento sobre o perímetro molhado em N/m^2 .

A tensão de cisalhamento pode ser escrita como:

$$\tau_0 = \frac{\rho f v^2}{8}, \quad (19)$$

onde τ_0 está em N/m^2 .

Onde f é o fator de atrito, função do número de Reynolds e da rugosidade da parede.

Igualando a equação 18 e 19, tem-se:

$$\tau_0 = \gamma R_h I_0 = \frac{\rho f v^2}{8} \rightarrow v = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{R_h I_0} \quad (20)$$

Fazendo $C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$, tem-se:

$$v = C \sqrt{R_h I_0}, \quad (21)$$

onde v está em m/s .

A equação 18 é conhecida com a Fórmula de Chézy, em que C é o coeficiente de resistência ou coeficiente de rugosidade de Chézy. Utilizando a equação 1 com a equação 21 tem-se:

$$Q = C A \sqrt{R_h I_0} \quad (22)$$

onde Q é dado em m^3/s .

Diferentes fórmulas de origem empírica foram propostas para o cálculo do coeficiente C , ligando-o ao raio hidráulico da seção. A mais simples e empregada, foi proposta por Manning em 1889 através da análise de resultados experimentais obtidos por ele e outros pesquisadores (PORTO, 2006). A relação empírica de Manning é:

$$C = \frac{R_h^{1/6}}{n} \quad (23)$$

Sendo n o coeficiente de Manning, que é constante para uma rugosidade dada para escoamentos permanente, uniformes e turbulentos rugosos com grande número de Reynolds.

A fórmula de Manning é dada substituindo a equação 23 na equação 22:

$$Q = \frac{AR_h^{2/3}I_0^{1/2}}{n}, \quad (24)$$

onde Q é dado em m^3/s e n em $s/m^{1/3}$.

A equação 24 é a base de cálculo para o problemas de escoamentos livres permanentes e uniformes.

2.2 Diretrizes de microdrenagem

A drenagem urbana faz parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes, que devem ser planejados de forma integrada. A grande importância do sistema de drenagem se dá pelo fato de que sempre haverá escoamento de águas pluviais mesmo que não exista sistema adequado. Tendo um planejamento inicial há a diminuição do custo da obra e obtenção de melhores resultados. Porém, o crescimento desordenado das cidades brasileiras, ocorrência de eventos extremos e falta de conscientização da população causaram uma gestão inadequada dos planejamentos de drenagem, gerando aumento de inundações, da erosão e ocasionando vários problemas em relação ao saneamento e a qualidade da água.

Esse crescimento não foi acompanhado por regulação. Segundo (CRUZ; TUCCI, 2008), dos 5507 municípios do Brasil no ano 2000 apenas 841 possuíam Planos Diretores Urbanos e a sua maioria não aborda aspectos da infraestrutura de drenagem. Não existe tampouco uma Norma Técnica Brasileira que especifique metodologias de dimensionamento de sistemas de drenagem.

Poucas cidades possuem Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU) e regulamentação. Seu principal objetivo é criar mecanismos de gestão de infra-estrutura, relacionados com o escoamento das águas pluviais, dos rios e córregos em áreas urbanas (PORTO ALEGRE, 2005). Neste trabalho, são apresentadas as diretrizes de três manuais utilizados nos municípios brasileiros: Manual de Drenagem do Plano Diretor de Drenagem Urbana da Prefeitura Municipal de Porto Alegre de 2005; Manual de Projeto de Drenagem Urbana pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica- CETESB /1980 (referência em livros e manuais de drenagem) e o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais do Plano Municipal de Gestão do Sistema de Águas Pluviais de São Paulo de 2012. Além desses,

são mostrados o manual de projeto de drenagem urbana (HEC-22, 2009) e o manual de drenagem superficial da Administração Federal de Aviação (FAA) ambos desenvolvidos pelo departamento de Transportes dos Estados Unidos.

No município de São José dos Campos, não há um PDDrU, mas segundo MARTINS(2009) em seu Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado- PDDI (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2006) existem diretrizes de Macrodrenagem para a cidade, não tendo teor técnico mas, definindo áreas de preservação e alagamento, execução, fiscalização e manutenção de obras de microdrenagem e incentivo a programas de conscientização de uso e ocupação do solo.

Para fornecer um embasamento teórico para os estudos a seguir, serão apresentados primeiramente os principais elementos de drenagem.

2.2.1 Elementos da drenagem urbana

Segundo TUCCI (1995), os principais termos utilizados no dimensionamento de um sistema pluvial são:

- **Galeria:** Canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas-de-lobo e das ligações privadas;
- **Poços de Visita:** Dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem mudança de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro e inspeção e limpeza das canalizações;
- **Trecho:** Porção de galeria situada entre dois poços de visita;
- **Bocas de Lobo:** Dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação de águas pluviais;
- **Tubos de Ligações:** São canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para as galerias ou para poços de visita;
- **Meios-Fios:** Elementos de pedra ou concreto, colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio;
- **Sarjetas:** Faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam;

- **Sarjetões:** Calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas, formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas.

As galerias circulares, elemento cujo dimensionamento é o alvo desse estudo, tem-se algumas definições como diâmetro mínimo de 300 mm. Os diâmetros comerciais existentes são: 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500 e 2000 mm. Os critérios básicos de projeto são os seguintes:

- As galerias pluviais raramente são projetadas para o funcionamento à seção plena com a vazão de projeto. A velocidade máxima admissível determina-se em função do material a ser empregado na rede. Para tubo de concreto, a velocidade máxima admissível é de 5,0 m/s e 0,60 m/s a velocidade mínima.
- O recobrimento mínimo da rede deve ser de 1,00 m. Se for necessário recobrimentos menores, as canalizações deverão ser projetadas do ponto de vista estrutural.
- Nas mudanças de diâmetro, os tubos deverão ser alinhados pela geratriz superior como mostrado na Figura 5.

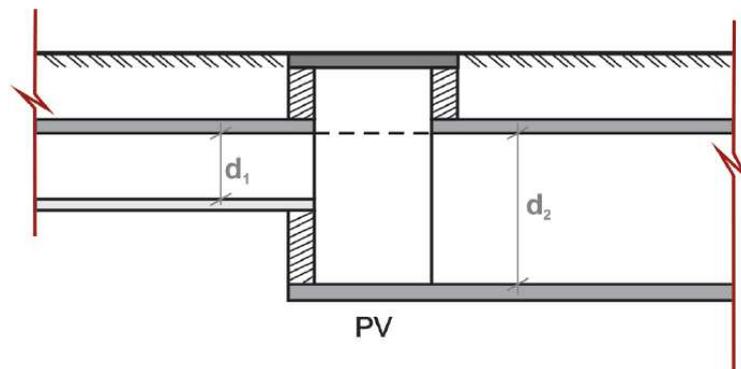


Figura 5: Alinhamento dos condutos. Fonte: SMDU,2012 v.3, p.36

2.2.2 Planejamento da drenagem

2.2.2.1 Manual de Drenagem CETESB-SP

O objetivo do manual organizado pela CETESB (CETESB, 1980) é a abordagem prática de drenagem uniformizando os critérios e procedimentos a serem utilizados no projeto.

Ele é baseado no “Urban Storm Drainage Criteria Manual” do Denver Regional Council of Governments (Denver-Colorado-USA). O manual ressalta a grande necessidade brasileira de pesquisas no campo da drenagem urbana.

Para projetos baseados nesse manual o período de retorno para galerias é de 2 a 10 anos (2 anos para áreas residenciais de baixa densidade demográfica e 10 anos para áreas comerciais densamente construídas). O traçado preliminar das redes de drenagem deve considerar dados topográficos existentes e pré-dimensionamento hidráulico e hidrológico. O ideal é que a concepção inicial seja desenvolvida junto com o plano urbanístico da região, caso contrário os custos do sistema de drenagem serão muito maiores. Os cálculos de vazão para áreas menores de 1 km são feitas através do método racional e outros processos como hidrograma unitário sintético, são utilizados para áreas maiores. O manual também recomenda a utilização da fórmula de Manning para o dimensionamento dos condutores.

Esse manual foi construído na década de 80, sendo assim, o seu tempo de escoamento superficial da bacia é obtido através de ábaco que tem a extensão da bacia, coeficiente de escoamento e a declividade do local como entradas.

O manual da CETESB é referência para outros manuais brasileiros que foram desenvolvidos posteriormente e também base para diversos livros didáticos sobre o tema, como o “Drenagem Urbana” (TUCCI, 1995) uma das referências nesse trabalho.

2.2.2.2 Manual de Drenagem do município de Porto Alegre

O manual de Drenagem Urbana (PORTO ALEGRE, 2005) foi desenvolvido para direcionar os profissionais que atuam em drenagem e no planejamento de obras. Ele tem como objetivo definir os seguintes critérios:

- Variáveis hidrológicas dos projetos de drenagem urbana na cidade de Porto Alegre;
- Alguns elementos hidráulicos;
- Aspectos de ocupação urbana relacionadas com a Drenagem Urbana;
- Legislação e regulamentação associada;
- Critérios de avaliação e controle do impacto da qualidade da água.

Os sistemas de drenagem são definidos como na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. Para esse estudo, somente serão analisados os critérios utilizados para o dimensionamento das galerias pluviais.

Para a estimativa de suas vazões utiliza-se o método racional. Os dados necessários para o projeto da rede pluvial são: os mapas (da situação da localização, da bacia contribuinte e plani-altimétrica da área), levantamento topográfico, cadastros (de redes já existentes), urbanização (tipo de ocupação e área impermeável) e dados relativos ao curso de água receptor.

As galerias pluviais devem ser dimensionadas para o funcionamento a seção plena para a vazão de projeto. Diferentemente dos manuais de São Paulo a velocidade mínima é de 0,80 m/s e a máxima admissível é 4,0 m/s para tubulações de concreto. O dimensionamento é baseado nas equações hidráulicas do escoamento uniforme, como a de Manning, Chezy vistas na seção 2.1.2 deste relatório, dependendo assim do coeficiente de rugosidade e do tipo de galeria a ser adotado.

2.2.2.3 Manual de Drenagem Urbano e manejo de Águas Pluviais SMDU-SP

O Manual de Drenagem Urbano e Manejo de águas pluviais (SMDU, 2012) desenvolvido pela prefeitura de São Paulo é composto por três volumes. O primeiro volume discute sobre o gerenciamento de drenagem urbana, as legislações aplicáveis ao projeto, o gerenciamento de contingências, a captação do pessoal e o mapa hidrográfico da cidade de São Paulo. O segundo volume explica os aspectos tecnológicos e seus fundamentos como hidrologia, hidráulica, qualidade da água, transporte de sedimentos e controle do escoamento superficial. O terceiro volume discorre sobre as diretrizes do projeto de obras de drenagem, incluindo obras de microdrenagem, macrodrenagem e controle na fonte. Para base desse estudo serão discutidos somente o volume 2 e 3 do manual.

O volume 2 destaca toda a teoria já vista na seção 2.1, além da citação ao método racional e do hidrograma unitário para vazão de projeto. O volume 3 disserta sobre os procedimentos para o projeto de microdrenagem. Os dados necessários para o dimensionamento são: plantas (situação e localização dentro do município, da Bacia Contribuinte, planialtimétrica da área); levantamento topográfico; cadastro de redes existentes; urbanização; dados relativos ao curso de água receptor.

O dimensionamento de galerias deve ser feito através das equações de regime permanente uniforme. Porém, esse manual cita o modelo hidrodinâmico quando é necessário a otimização de um projeto de porte que justifique sua utilização ou que apresente de antemão limitações externas como canalizações que cruzem regiões baixas, já bastante ocupadas, com

marcas de inundações para elevados períodos de retorno. Outro caso é quando se deseja verificar o efeito do amortecimento na propagação de cheias.

2.2.2.4 Urban Drainage Design Manual, U.S Department of Transportation

O manual de projeto de drenagem urbana (HEC-22, 2009) é apresentado em uma circular da Administração de Estradas Federais dos Estados Unidos. Os métodos de projeto são apresentados para avaliar a magnitude das chuvas e seu escoamento sobre o pavimento e as estruturas de drenagem. Também são discutidos processos para bacias de detenção e melhorias da qualidade da água e explicitadas leis federais, estaduais e locais que podem afetar o projeto.

Para encontrar a vazão de projeto, o manual sugere o método racional para áreas pequenas. O tempo de concentração é estimado através de um processo iterativo computacional sendo uma estimativa inicial utilizada para encontrar a intensidade da chuva na equação idf da localidade. Para a iteração utiliza-se a fórmula de velocidade derivada da fórmula de Manning e o comprimento do trecho a ser medido.

O manual afirma que o escoamento dentro da tubulação é permanente e uniforme, o que para ele é uma hipótese conservativa devido à utilização da vazão de pico para o início de cada trecho. No texto também há uma discussão de qual o melhor método para o dimensionamento, utilizando escoamento livre ou forçado, pois os diâmetros das redes através do primeiro são maiores do que a dos condutos forçados. Porém, ele afirma que o escoamento livre possui uma margem de segurança maior, se houver falha na vazão de projeto devido a um erro nos parâmetros de cálculo anteriores. Ele recomenda o dimensionamento da galeria com a utilização de 93% de sua capacidade.

2.2.2.5 Surface Drainage Design, Federal Aviation Administration

O manual (FAA, 2006) foi elaborado pela Federal Aviation Administration (FAA) dos Estados Unidos. Direcionado para engenheiros, administradores de aeroportos, tem a finalidade de estabelecer diretrizes de projetos e manutenção de sistemas de drenagem de aeroportos. O objetivo do sistema de drenagem, no caso de aeroportos, é coletar o escoamento das chuvas do pavimento durante o fenômeno e transferi-lo para áreas adjacentes descartando-o em um corpo da água, levando segurança à locomoção de veículos na pista.

O dimensionamento das galerias é realizado de forma semelhante como visto no manual HEC na seção 2.2.2.4, através da fórmula Manning. No entanto, o manual demonstra bastante preocupação no escoamento superficial rápido da chuva.

3 SWMM e o UFC-8

A ineficiência da política de desenvolvimento urbano das cidades, no planejamento da ocupação do solo, entre outros fatores, intensificou a ocorrência de inundações nas áreas urbanas. Diversos softwares que constroem modelos hidrodinâmicos foram produzidos para simular soluções para problemas locais de inundações. Segundo MELLER (2007), são utilizados aplicativos como o MOUSE, SOBEK-Urban, Infoworks CS e o Storm Water Management Model (SWMM). Este trabalho utiliza o software UFC-8, que dimensiona as galerias de drenagem através do aplicativo SWMM, que também será explicitado nessa seção. O principal interesse nesse software é a sua interface com o AUTOCAD, programa muito utilizado na construção civil, para o traçado das redes e dimensionamento de alguns elementos de drenagem como bocas-de-lobo, sarjetas, sajetões e bacias de contribuição.

3.1 UFC-8

O Sistema UFC é um conjunto de softwares escritos em diversas linguagens de programação que realizam todas as tarefas referentes ao traçado e dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento de água, adutoras e redes de esgoto sanitário, desenvolvidos no Laboratório de Estudos em Hidráulica Computacional da Universidade Federal do Ceará.

O UFC 8 é o módulo de dimensionamento de redes de drenagem urbana, que com a interface de AUTOCAD utilizado como plataforma para a construção do traçado das redes realiza o cálculo dos seguintes elementos de drenagem: bocas de lobo, sarjetas e sajetões e bacias de contribuição. Para o dimensionamento de galerias, o UFC 8 faz uma interface com o modelo hidrodinâmico SWMM. Segundo GUIMARÃES (2009), foram utilizadas as seguintes linguagens computacionais para o desenvolvimento do programa: AutoLISP, Visual Basic for Applications (VBA) e Visual Basic (VB). As duas primeiras foram utilizadas no módulo gráfico como o traçado da rede e uma interface gráfica das rotinas programadas com o

usuário, respectivamente. A terceira foi usada para os cálculos referentes ao dimensionamento da rede.

Para o traçado da rede no AUTO CAD são necessários como arquivos de entrada a topografia do local e o plano de fundo como arruamento, locais de construção das edificações, lotes, áreas de passeio, estacionamentos, identificação de rios e córregos, entre outros.

O sistema UFC-8 permite o cálculo das precipitações de projeto através dos seguintes métodos:

- Método Pfastetter
- Equações da chuva
- Taborga–Torrico

A próxima etapa do traçado é a delimitação das bacias de contribuição e inserção dos elementos de drenagem como bocas-de-lobo, sarjetas, sarjetões, tubos de ligação e galerias pluviais. Todos esses elementos podem ter suas características modificadas, como seção, diâmetro e tipo de acordo com a necessidade do usuário. As contribuições das bacias são calculadas através do método racional, e os outros elementos de drenagem, excetos as galerias pluviais e os tubos de ligação, são calculados pela teoria do escoamento permanente e uniforme. As galerias pluviais são obtidas através do modelo hidrodinâmico executado pelo SWMM, utilizando as equações do escoamento não permanente.

Uma das grandes vantagens do sistema UFC-8 é que para obter o dimensionamento das galerias através da modelagem feita pelo SWMM, não há necessidade da ativação do software, sendo os resultados transmitidos pelo próprio UFC 8. Porém, há a possibilidade da exportação dos dados para o SWMM, executando-o diretamente, utilizando seus atributos, como a visualização de gráficos de escoamento e simulações da onda de cheia.

3.2 SWMM

O SWMM (Storm Water Management Model) é um modelo dinâmico de chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas; podendo ser em um único evento chuvoso, bem como uma simulação contínua de longo prazo. O modelo de transporte hidráulico do SWMM apresenta o percurso destas águas através de um sistema compostos por tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento e bombas.

Segundo ROSSMAN (2010), o SWMM foi desenvolvido em 1971 pela EPA (Environmental Protection Agency), empresa de proteção ambiental americana e já sofreu

diversas atualizações desde então. A versão utilizada nesse projeto será a quinta SWMM 5, que proporciona um ambiente integrado, que permite a entrada de dados para a área de estudo, simular o comportamento hidrológico e hidráulico, estimar a qualidade da água e visualizar os resultados da modelagem em uma grande variedade de formatos.

Os seguintes processos hidrológicos que produzem escoamentos são considerados no SWMM:

- Precipitações variáveis no tempo;
- Evaporação de águas empoçadas;
- Acumulação e degelo de neve;
- Interceptação de precipitações em camadas do solo não saturadas;
- Percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos;
- Troca de fluxo entre os aquíferos e o sistema de drenagem;
- Modelagem do fluxo superficial por meio de reservatórios não-lineares;
- Captação e retenção das precipitações e dos escoamentos em diversos dispositivos de baixo impacto.

Segundo ROSSMAN (2010), o SWMM tem sido utilizado em várias aplicações como:

- Concepção e dimensionamento de componentes de drenagem para controle de inundações;
- Dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios para o controle de inundações e a proteção da qualidade das águas;
- Delimitação de zonas de inundação em leitos naturais;
- Concepção de estratégias de controle para minimizar o transbordamento de sistemas de drenagem de águas residuais;
- Avaliação do impacto de contribuições e infiltrações sobre o transbordamento de sistemas de drenagem de águas residuais.
- Geração de poluição difusa para estudos de lançamentos de efluentes.
- Avaliação da eficácia das BMPs (Boas Práticas de Manejo) para reduzir o carreamento de poluentes durante a chuva.

O SWMM emprega diferentes métodos para modelar a quantidade e qualidade do escoamento derivado da chuva. Nesse trabalho será especificado o Modelo de Transporte Hidráulico.

O transporte de água em um conduto está regido pelas equações de conservação de massa e da quantidade de movimento, para fluxo gradualmente variado não permanente que com algumas hipóteses simplificadoras, são descritas pelas equações de Saint-Venant, deduzidas na seção 2.1. O SWMM permite selecionar o nível de sofisticação para a resolução dessas equações, através de três modelos hidráulicos: O Fluxo em Regime Uniforme, o Modelo da Onda Cinemática e o Modelo da Onda Dinâmica.

O Fluxo em Regime Uniforme e o Modelo da Onda Cinemática resolvem as equações de Saint-Venant de maneira simplificada, utilizando apenas o termo $I_f = I_0$ da equação 11, empregando a equação de Manning para os cálculos de vazão (relacionando-a com a área e a profundidade) e da vazão máxima, respectivamente.

Já o Modelo da Onda Dinâmica resolve as equações completas, gerando resultados mais precisos. Esse modelo pode levar em conta o armazenamento nos condutos, o ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas dos condutos, o remanso e o fluxo pressurizado, que ocorre quando um conduto fechado se encontra completamente cheio, de forma que a vazão que circula por ele pode ultrapassar o valor da vazão do tubo cheio, obtido pela equação de Manning. O UFC-8 utiliza esse modelo como base para o cálculo de redes.

4 Estudo de caso: Córrego Senhorinha

4.1 Córrego Senhorinha

A região estudada se encontra no bairro do Campo dos Alemães na cidade de São José dos Campos, próxima à nascente do córrego Senhorinha. A Figura 6 mostra a imagem da região.

AUTOCAD. No APÊNDICE A é apresentada a planta da região analisada com a topografia e o arruamento obtida através do banco de dados.

Além dos dados obtidos, também houve visita a campo para maiores informações sobre galerias já existentes. Na região próxima à estudada, encontrou-se uma galeria com diâmetro de 600 mm, porém não há precisão de que seja o trecho final da rede existente na região estudada, devido a não obtenção de cadastros das galerias pluviais do local. Na Figura 7 e na Figura 8, são apresentadas a galeria final que atende a região estudada e o início do Córrego Senhora aonde ela termina.



Figura 7: Galeria Existente Diâmetro: 600 mm.



Figura 8: Região de finalização de galerias pluviais

Nota-se que essa região, mesmo com grande importância por ser final de várias redes de galerias pluviais não possui manutenção e fiscalização adequada contra lançamentos clandestinos.

4.2 Parâmetros de projeto

Para o traçado da rede de drenagem foram utilizados alguns parâmetros como equação das chuvas, tipos de sarjetas e bocas de lobo e coeficientes da bacia de contribuição.

Inicialmente, traçam-se as bacias de contribuição das sarjetas e bocas de lobo. Os coeficientes de escoamento utilizados para o cálculo da vazão através do método racional foram de 0,85 para as áreas com domicílios e 0,95 para áreas com tráfego de veículos (asfaltada), considerando uma região de edificação muito densa, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1: Coeficientes de escoamento. Fonte: TUCCI, 1995, p.87

Zonas	C
Edificação muito densa: Partes centrais, densamente contruidas, de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70-0,95
Edificação não muito densa: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60-0,70
Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,50-0,60
Edificações com muitas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25-0,50
Subúrbios com alguma edificação: Partes de arabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10-0,25
Matas, parques e campos de esporte: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05-0,20

Após o traçado das bacias deve-se calcular a intensidade da chuva que cai na região. Escolheu-se o método da equação de chuva (idf) da região estudada. O município de São José dos Campos possui 3 equações de chuva porém optou-se por utilizar a idf da cidade de Taubaté por melhor se aproximar hidrologicamente da necessária (MARTINS, 2009). Por isso, será utilizada a sua equação de chuvas intensas mostrada na equação 25.

$$i = 54,5294 * (te + 30)^{-0,9637} + 11,0319 * (te + 20)^{-0,9116} * (-0,4740 - 0,8838 * \ln \ln \frac{T}{T-1}), \quad (25)$$

onde i é dado em mm/min, T em anos e te em min.

O Tempo de Retorno (T) utilizado foi de 10 anos, por ser uma área residencial densamente construída. O tempo de entrada (te) mínimo, que compõe o tempo de concentração (tc), foi estipulado em 10 minutos.

Após, a esquematização das bacias de contribuição inserem-se as bocas-de-lobo e sarjetas necessários na bacia. Suas características são mostradas nas Figura 9 e Figura 10, escolhidas pelo default do UFC-8. A Boca-de-Lobo é colocada no ponto mais baixo da bacia de contribuição como mostrado no APÊNDICE B. O coeficiente de Manning e a declividade mínima da sarjeta utilizados são respectivamente $0,016 \text{ s/m}^{1/3}$ e $0,005 \text{ m/m}$.



Figura 9: Padrão da Boca-de-Lobo utilizada

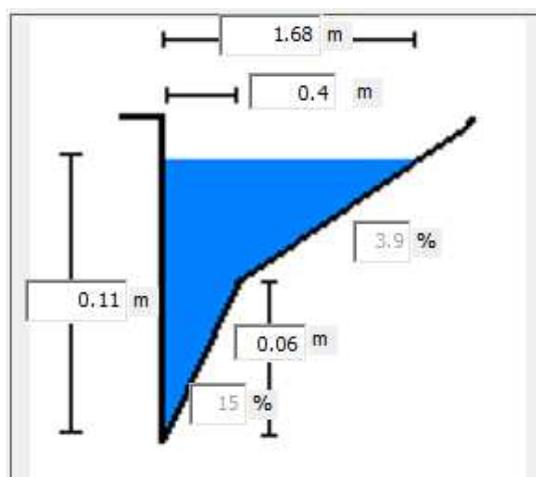


Figura 10: Padrão da Sarjeta utilizada

Os dados das Bocas de Lobo e Bacias de Contribuição estão apresentados na Tabela 2, com seu respectivo tempo de concentração (t_c -minutos) e tempo de entrada (t_e - minutos), intensidade máxima (i -mm/h), precipitação (P -mm) e vazão (Q - L/s). As vazões foram calculadas de acordo com o método racional, pois as áreas de contribuição são menores que 2 km^2 , e os valores de tempo de contribuição foram disponibilizados pelo próprio software UFC-8. A Tabela 3 mostra as cotas do terreno a montante e jusante (CTM e CTJ, respectivamente), a declividade de cada sarjeta, a capacidade de vazão que ela suporta, a vazão encaminhada e as bacias que contribuem para essa vazão. Esses resultados foram obtidos com a utilização do Software UFC-8.

Tabela 2: Dados das Bocas de Lobo e bacias de Contribuição

Bacia	Boca de Lobo	Área (m ²)	Comprimento (m)	Declividade (m/m)	Coefficiente de escoamento	tc calc (min)	tc adot(min)	i(mn)
1	BC1	666	75	0,0143	0,85	4,44	10	138
2	BC1	293	49	0,0218	0,95	3,03	10	138
3	BC1	538	65	0,0163	0,85	3,91	10	138
4	BC1	230	55	0,0167	0,95	3,51	10	138
5	BC2	672	68	0,029	0,85	3,38	10	138
6	BC2	338	63	0,0313	0,95	3,16	10	138
7	BC3	1878	138	0,0399	0,85	4,7	10	138
8	BC3	650	137	0,0384	0,95	4,73	10	138
9	BC3	599	71	0,0361	0,85	3,25	10	138
10	BC3	290	48	0,0485	0,95	2,35	10	138
11	BC4	486	58	0,044	0,85	2,71	10	138
12	BC4	363	64	0,0555	0,95	2,68	10	138
13	BC5	1415	108	0,0789	0,85	3,3	10	138
14	BC5	471	104	0,0819	0,95	3,19	10	138
15	BC6	457	62	0,0139	0,85	3,99	10	138
16	BC6	231	46	0,0033	0,95	5,14	10	138
17	BC7	245	47	0,0768	0,65	2,02	10	138
18	BC8	445	53	0,0592	0,65	2,35	10	138
19	BC7	201	43	0,1081	0,95	1,73	10	138
20	BC8	223	50	0,092	0,95	1,99	10	138
21	BC10	1044	91	0,0271	0,85	4,11	10	138
22	BC10	278	75	0,0329	0,95	3,45	10	138
23	BC9	1153	86	0,0165	0,85	4,61	10	138
24	BC9	295	70	0,0364	0,95	3,21	10	138
25	BC11	675	85	0,0241	0,85	4,08	10	138

Bacia	Boca de Lobo	Área (m ²)	Comprimento (m)	Declividade (m/m)	Coefficiente de escoamento	tc calc (min)	tc adot(min)	i(mn
26	BC12	786	92	0,0342	0,85	3,86	10	138
27	BC11	391	75	0,0273	0,95	3,65	10	138
28	BC12	371	79	0,0289	0,95	3,7	10	138
29	BC13	635	60	0,0145	0,85	3,87	10	138
30	BC13	386	69	0,0126	0,95	4,38	10	138
31	BC14	1219	106	0,0834	0,85	3,21	10	138
32	BC14	443	99	0,0882	0,95	3,03	10	138
33	BC15	1909	127	0,0796	0,85	3,63	10	138
34	BC15	565	121	0,0919	0,95	3,38	10	138
35	BC16	643	86	0,0192	0,95	4,41	10	138
36	BC6	89	30	0,0773	0,85	1,54	10	138

Tabela 3: Cálculo das Sarjetas

Trecho	CTM(m)	CTJ(m)	Comprimento (m)	Declividade (m/m)	Bacia 1	Bacia 2	Capac. (L/s)	Q trecho (L/s)
(16-1)	641,75	640,1	61,15	0,027	35		71,19	23,53
(15-1)	653,85	643,74	110,14	0,0918	34	33	131,27	83,2
(14-1)	654,13	645,3	92,01	0,096	32	31	134,24	56,14
(13-2)	654,77	654,13	7,87	0,0813	30	29	123,53	34,9
(13-1)	655	654,77	39,37	0,0058	30	29	32,99	29,09
(12-1)	657,95	655,47	70,5	0,0352	28	26	81,28	39,33
(11-1)	660	657,95	63,52	0,0323	27	25	77,86	36,4
(9-1)	657,53	655,2	64,71	0,036	24	23	82,2	48,54
(10-1)	660	657,53	63,9	0,0387	22	21	85,23	44,36
(8-2)	642,38	641,63	7,18	0,1045	20	18	140,05	38,15
(8-1)	645,35	642,38	33,26	0,0893	20	18	129,47	18,7
(7-2)	648,54	645,35	29,17	0,1094	19	17	143,3	15,41
(7-1)	648,96	648,54	5,69	0,0738	19	17	117,7	2,52
(6-2)	642,76	642,55	16,74	0,0125	16	15	48,44	23,43
(6-1)	643,41	642,76	19,15	0,0339	16	15	79,77	12,5
(5-2)	643,48	642,79	10,08	0,0685	14	13	113,39	92,76
(5-1)	651,31	643,48	82,55	0,0949	14	13	133,46	56,65
(4-2)	651,63	651,31	4,01	0,0798	12	11	122,39	29,19
(4-1)	653,85	651,63	36,84	0,0603	12	11	106,39	26,32
(3-2)	655,09	652,53	37,3	0,0686	10	9	113,47	30,24
(3-1)	658,03	652,53	128,55	0,0428	8	7	89,63	85,26
(2-3)	658,35	658,03	5,46	0,0586	6	5	104,88	34,34
(2-2)	658,55	658,35	3,15	0,0635	6	5	109,17	29,44
(2-1)	660	658,55	29,67	0,0489	6	5	95,8	26,62
(1-3)	660	658,93	42,98	0,0249	4	3	68,36	26,03
(1-2)	660	658,93	35,59	0,0301	2	1	75,16	32,54

Após, o cálculo das vazões de contribuição, traça-se a rede de galerias para a modelagem hidráulica.

4.3 Modelagem Hidráulica

Dois modelos foram utilizados nesse trabalho. O dimensionamento, construído a partir do escoamento não permanente, é realizado automaticamente através do SWMM. Já para o modelo baseado no escoamento permanente uniforme foi criado uma rotina através do

software EXCEL. Para os dois modelos, foram fixados parâmetros de dimensionamento das galerias, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros para a modelagem

Parâmetros	Valores
Declividade mínima (m/m)	0,005
Declividade máxima (m/m)	0,075
Velocidade máxima (m/s)	5,0
Velocidade mínima (m/s)	0,6
Lâmina d'água máxima (%)	85
Diâmetro mínimo (mm)	300
Número de Manning para concreto	0,013

O modelo construído no software EXCEL, utilizou as vazões absorvidas pelas bocas de lobo para o dimensionamento dos tubos de ligação e calculou as vazões nas galerias através das áreas de influência como mostrado na Tabela 5, obtidos dos resultados com o UFC-8. Com esses dados, propagam-se as vazões através dos coletores.

Tabela 5: Vazões absorvidas pelas Bocas de Lobo e suas áreas de influência

Bocas de Lobo	Q(L/s)	Área(m²)
BC1	58,57	1727
BC2	34,34	1010
BC3	115,5	3417
BC4	29,19	849
BC5	63,57	1886
BC6	26,36	777
BC7	13,52	446
BC8	19,31	668
BC9	48,54	1448
BC10	44,36	1322
BC11	36,4	1066
BC12	39,33	1157
BC13	34,9	1021
BC14	56,14	1662
BC15	83,2	2474
BC16	23,53	643

Para a determinação do Raio do Hidráulico, necessário para o cálculo da lâmina d'água e da velocidade da água dentro do tubo, criou-se uma macro no Visual Basic, baseado em um código criado pelos Engenheiros Paulo Sérgio Simões de Souza e Angélica Yumi Hirata, segundo TSUTIYA (1999). O código, que está apresentado no APÊNDICE C, calcula o ângulo, mostrado na Equação 26, utilizado para o cálculo da área e do perímetro molhado e consequentemente do Raio Hidráulico como mostrado nas Equações 27, 28 e 29, sendo θ dado em rd e D em m. A Figura 11 mostra os elementos geométricos da Equação 23 dentro da galeria circular.

$$\theta = 2 * \cos^{-1}\left(1 - 2 \frac{y_0}{D}\right) \quad (26)$$

$$A = D^2 * \frac{(\theta - \text{sen}\theta)}{8} \quad (27)$$

$$P = \frac{\theta * D}{2} \quad (28)$$

$$R_H = \frac{D * \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right)}{4} \quad (26)$$

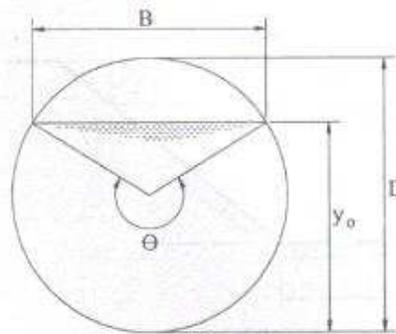


Figura 11: Elementos Geométricos dentro da galeria circular

A partir desses resultados, foram dimensionadas as redes de drenagem a partir do método racional, com o auxílio de uma planilha de dados, sempre respeitando os valores da Tabela 4. No próximo capítulo serão analisados os resultados obtidos pelos dois modelos em questão.

5 Resultados

A rede construída conta com 22 tubos de ligação e 10 galerias, todos circulares. Os resultados obtidos a partir do SWMM, que dimensiona a rede a partir das equações de Saint-Venant, foram obtidos respeitando as condições da Tabela 4 e utilizando somente diâmetros comerciais. Os resultados são apresentados na Tabela 6.

A Tabela 6 apresenta o comprimento de cada trecho, a profundidade do coletor a jusante e a montante, o diâmetro obtido, a declividade desse coletor, a vazão em cada trecho, sua velocidade e a percentagem da lâmina d'água. Esses resultados foram obtidos com a aplicação do SWMM em conjunto com o UFC-8.

Tabela 6: Dimensionamento das galerias e dos tubos de ligação utilizando o escoamento não

Trecho	Mont.	Jus.	Comprimento (m)	Prof. Mon. (m)	Prof. Jus. (m)	Diam. (mm)	Declividade	Q. trecho(L/s)
1	BC1	PV1	11.9	1	1	300	0.058	68.98
2	BC2	PV1	12.2	1	1.27	300	0.005	41.69
3	BC3	PV2	9.6	1.02	1	300	0.075	128
4	BC4	PV2	13.4	1	1.55	300	0.0052	35.86
9	BC11	PV4	6.5	1	1	300	0.0615	41.49
10	BC10	PV4	6.3	1	1.05	300	0.005	51.59
11	BC9	PV5	14.5	1	1	300	0.0228	55
12	BC12	PV5	11.2	1	1	300	0.0536	45.1
13	BC13	PV5	15.5	1	1.82	300	0.0052	40.14
14	BC14	PV6	25.9	1.75	1	300	0.075	66.7
15	BC15	PV6	14.5	1.04	1	300	0.075	97.09
17	BC7	PV10	6.3	1	1.2	300	0.0079	17.08
18	BC8	PV11	13.1	1	1	300	0.0282	24.24
20	BC6	PV11	14.7	1.19	1	300	0.075	29.94
21	BC5	PV11	14.7	1.43	1	300	0.075	75.63
22	BC16	PV12	14.1	1.15	1	300	0.075	26.3
(1-1)	PV1	PV8	78.08	1.27	1.2	300	0.038	110.31
(1-2)	PV8	PV2	66.89	1.2	1.2	300	0.051	109.17
(1-3)	PV2	PV10	70.25	2.32	1.3	400	0.075	271.61
(1-4)	PV10	PV11	47	2.01	1.3	400	0.075	287.51
(2-1)	PV4	PV5	74.2	1.2	1.2	300	0.0361	92.53
(2-2)	PV5	PV9	70.99	1.93	1.2	300	0.075	232.23
(2-3)	PV9	PV6	60.74	2.85	1.2	300	0.075	232.1
(2-4)	PV6	PV11	53.7	1.4	1.4	500	0.0251	392.79
(3-1)	PV11	PV12	23.8	2.54	1.4	500	0.0519	806.27
(3-2)	PV12	Fim	44.3	1.7	1.7	800	0.0129	833.02

Os resultados da Tabela 6 são apresentados na planta da rede de drenagem no APÊNDICE D. O próprio UFC-8 possui uma função que gera perfis das redes, porém houve um erro nesse aplicativo ao tentar gera-lo. Abriu-se então, o arquivo no SWMM e obtiveram-se os perfis dos trechos principais, como mostrados nas Figura 12 e Figura 13. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos utilizando a teoria do escoamento permanente e uniforme, com o dimensionamento feito através da Fórmula de Manning e auxílio de uma planilha de dados. O tempo de concentração (t_c) mostrado para os tubos de ligação só considerou o tempo de entrada (t_e), mas para o dimensionamento de galerias utilizou o tempo de entrada (t_e) mais o tempo de percurso dentro da galeria (t_p).

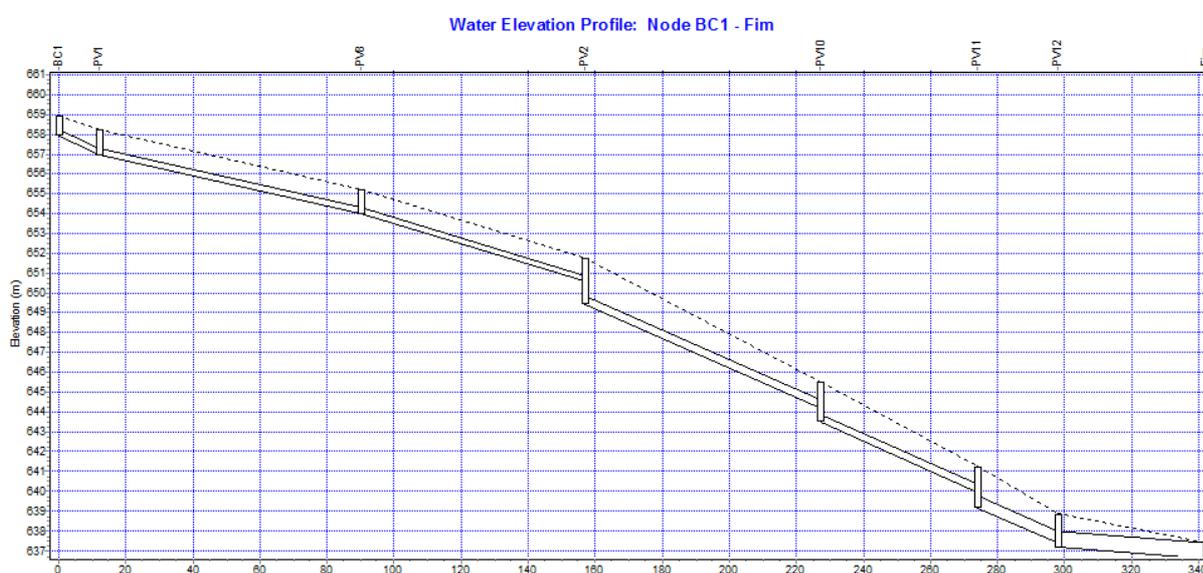


Figura 12: Trecho (1-1) a (3-2)

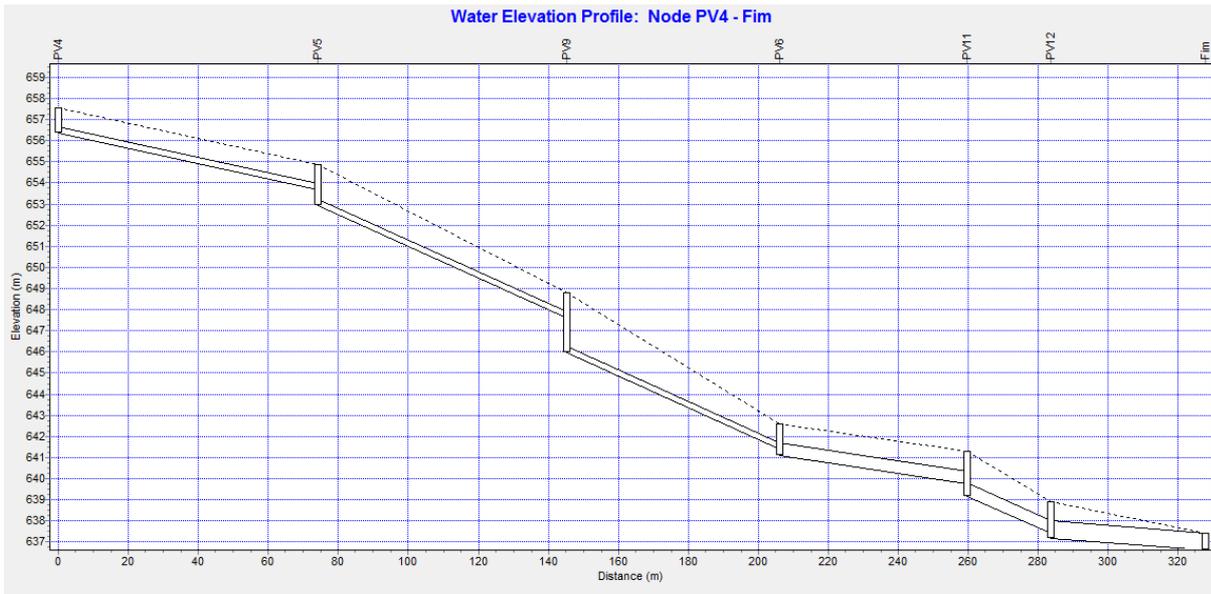


Figura 13: Trecho (2-1) a (3-2).

Tabela 7: Dimensionamento das galerias utilizando o escoamento permanente e unif

Trecho	Montante	Jusante	Comprimento (m)	Prof. Mon. (m)	Prof. Jus. (m)	Diâmetro (mm)	Declividade	Velocidade (m/s)	Lâmina D'Água (%)	tc (min)
1	BC1	PV1	11.90	1.00	1.00	300	0.058	2.74	34.19	10.00
2	BC2	PV1	12.20	1.00	1.27	300	0.005	0.97	50.13	10.00
3	BC3	PV2	9.60	1.03	1.01	300	0.075	3.62	46.19	10.00
4	BC4	PV2	13.40	1.00	1.55	300	0.005	0.93	45.63	10.00
9	BC11	PV4	6.50	1.00	1.00	300	0.062	2.45	26.33	10.00
10	BC10	PV4	6.30	1.00	1.05	300	0.005	1.03	58.66	10.00
11	BC9	PV5	14.50	1.00	1.00	300	0.023	1.85	39.72	10.00
12	BC12	PV5	11.20	1.00	1.00	300	0.054	2.38	28.37	10.00
13	BC13	PV5	15.50	1.00	1.82	300	0.005	0.97	50.61	10.00
14	BC14	PV6	25.90	1.80	1.05	300	0.075	2.97	31.26	10.00
15	BC15	PV6	14.50	1.04	1.00	300	0.075	3.32	38.50	10.00
17	BC7	PV10	6.30	2.85	3.03	300	0.005	0.75	30.15	10.00
18	BC8	PV11	13.10	1.00	1.00	300	0.028	1.55	23.28	10.00
20	BC6	PV11	14.70	1.20	1.01	300	0.075	2.39	21.31	10.00
21	BC5	PV11	14.70	1.49	1.06	300	0.075	3.08	33.36	10.00
22	BC16	PV12	14.10	1.20	1.05	300	0.075	2.31	20.14	10.00
(1-1)	PV1	PV8	78.08	1.27	1.27	300	0.039	2.68	49.23	10.00
(1-2)	PV8	PV2	66.89	1.27	1.27	300	0.051	2.95	45.23	10.49

Trecho	Montante	Jusante	Comprimento (m)	Prof. Mon. (m)	Prof. Jus. (m)	Diâmetro (mm)	Declividade	Velocidade (m/s)	Lâmina D'Água (%)	tc (min)
(1-3)	PV2	PV10	70.25	2.04	1.02	300	0.075	4.22	72.63	10.87
(1-4)	PV10	PV11	47.00	3.03	2.32	300	0.075	4.25	75.63	11.14
(2-1)	PV4	PV5	74.20	1.05	1.05	300	0.036	2.52	46.39	10.00
(2-2)	PV5	PV9	70.99	1.82	1.09	300	0.075	4.12	65.14	10.49
(2-3)	PV9	PV6	60.74	2.67	1.02	300	0.075	4.11	64.81	10.78
(2-4)	PV6	PV11	53.70	1.05	1.05	500	0.025	3.13	53.37	11.03
(3-1)	PV11	PV12	23.80	2.32	1.02	500	0.045	4.58	70.72	11.33
(3-2)	PV12	Fim	44.30	1.05	1.05	800	0.013	2.93	48.06	11.41

Ao analisar os resultados obtidos pelos dois dimensionamentos, são verificadas diferenças nas vazões dos trechos entre 10,8% até 26,3% em relação ao método de menor vazão (método racional). Isso ocorre, pois o método racional não faz a distribuição temporal das chuvas, fornecendo um ponto apenas do hidrograma de escoamento superficial, ocasionando assim uma diferença de vazões, quando comparado ao modelo hidrodinâmico.

Para os diâmetros calculados encontram-se diferenças apenas em dois trechos: (1-4) e (1-5), sendo observado o aumento em um diâmetro comercial. As comparações entre as vazões e os diâmetros calculados pelos dois métodos estão na Tabela 8

Tabela 8: Comparação entre as vazões e diâmetros

Trecho	Permanente Uniforme		Não permanente		Diferença entre as vazões (%)
	Q(L/s)	Diâmetro (mm)	Q. trecho(L/s)	Diâmetro (mm)	
1	58.57	300	68.98	300	17.8
2	34.34	300	41.69	300	21.4
3	115.50	300	128	300	10.8
4	29.19	300	35.86	300	22.9
9	36.40	300	41.49	300	14.0
10	44.36	300	51.59	300	16.3
11	48.54	300	55	300	13.3
12	39.33	300	45.1	300	14.7
13	34.90	300	40.14	300	15.0
14	56.14	300	66.7	300	18.8
15	83.20	300	97.09	300	16.7
17	13.52	300	17.07	300	26.3
18	19.31	300	24.24	300	25.5
20	26.36	300	29.94	300	13.6
21	63.57	300	75.63	300	19.0
22	23.53	300	26.3	300	11.8
(1-1)	92.92	300	110.31	300	18.7
(1-2)	91.76	300	109.17	300	19.0
(1-3)	232.37	300	271.61	400	16.9
(1-4)	243.84	300	287.54	400	17.9
(2-1)	80.76	300	92.53	300	14.6

Trecho	Permanente Uniforme		Não permanente		Diferença entre as vazões (%)
	Q(L/s)	Diâmetro (mm)	Q. trecho(L/s)	Diâmetro (mm)	
(2-2)	200.94	300	232.23	300	15.6
(2-3)	199.47	300	232.1	300	16.4
(2-4)	333.88	500	392.79	500	17.6
(3-1)	679.61	500	806.25	500	18.6
(3-2)	700.83	800	833.03	800	18.9

6 Conclusão

Esse estudo se focou na comparação do dimensionamento de rede de galerias através de duas metodologias, o escoamento não-permanente e o escoamento permanente e uniforme. O modelo utilizando as equações de Saint-Venant foi analisado através do software UFC-8. O software, integrante do sistema UFC, foi bastante vantajoso em relação à construção das redes por causa da sua interface com o AUTOCAD. Porém, também existiram dificuldades comuns a programas de dimensionamento como caixas de erros não explicativas.

Em relação às metodologias, verificou-se uma diferença média de 17,4% entre as vazões calculadas pelas diferentes teorias. Apenas em dois trechos houve mudanças no diâmetro da rede, sendo em ambos o aumento foi para o diâmetro comercial imediatamente superior (de 300 mm para 400 mm) no método das equações de Saint-Venant. Esse resultado está de acordo com o encontrado em Guimarães (2009), que encontrou em regiões do Nordeste Brasileiro, diferenças entre as vazões obtidas pelos dois métodos, sendo a menor calculada pelo método racional.

Outro ponto a ser abordado é que o trecho final da rede de galeria possui diâmetro de 800 mm, diâmetro maior que o encontrado em campo (600 mm). Isso pode ter ocorrido devido a não precisão de que a galeria existente absorva totalmente a drenagem da região estudada, ou a um dimensionamento errado do trecho existente acarretando em seu esgotamento.

Os dois métodos comportam-se bem para o dimensionamento de redes de drenagem, sendo o modelo utilizando as equações de Saint-Venant, mais seguro para regiões com alta probabilidade de enchentes por utilizar o modelo hidrodinâmico de propagação de cheias, podendo ser simulado através do SWMM, programa englobado dentro do UFC8.

Para estudos posteriores, recomenda-se a aplicação dos métodos em um região de maior extensão. Segundo Guimarães (2009), para um trecho longo e contínuo (extensão de 2 km), a maior vazão encontrada foi obtida pelo método racional, diferentemente do que é encontrado em áreas de menor extensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO DE DADOS CIDADE VIDA; Prefeitura de São José dos Campos. **Geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.sjc.sp.gov.br/secretarias/planejamento_urbano/geoprocessamento.aspx>. Acesso em: 1/11/2013.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico. **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. São Paulo, DAEE/CETESB, 1980.

CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Edurado Morelli. **Avaliação dos Cenários de Planejamento da Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, p. 59-71, 2008.

FAA. Federal Aviation Administration AC 150 5320-5C. **Surface Drainage Design**. US. Department of Transportation, 2006.

GUIMARÃES, R.C. **Comparação entre duas metodologias de cálculo e propagação de vazões em coletores de redes de drenagem urbana: O método Racional e Equações de Saint-Venant**. Fortaleza, 2009

HEC-22. Hydraulic Engineering Circular Nº 22, Third Edition. **Urban Drainage Design Manual**. US. Department of Transportation, 2009.

MARTINS, D. **Aplicação de Técnicas Alternativas na Mitigação de Inundações na Bacia de Ribeirão dos Putins**. 184f. Tese de mestrado. ITA, São José dos Campos, 2009.

MELLER, A., PAIVA, E.M.C.D. **Modelagem de sistema de microdrenagem utilizando o software MOUSE**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

MELLER, A., PAIVA, E.M.C.D. **Simulação Hidrodinâmica 1D de inundações em Sistemas de Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, p. 81-92, 2007.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. Ed. EESC USP. São Carlos, 2006.

PORTO ALEGRE. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Porto Alegre, RS, 2005.

ROSSMAN, L. A., **Storm Water Management Model: User's guide V.5.**, NEW York, US EPA, 2010. 295p.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Prefeitura Municipal. Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado: diagnóstico. São José dos Campos, 2006. 104p

SIMÕES, A.L.A.; BRITO, R. J. R.; SCHULZ, H. E.; PORTO, R. M.; LOBOSCO, R.J. . **Aspectos Numéricos e Físicos de Soluções das Equações de Saint-Venant**. In: 6o Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia/3o Congresso de Engenharia de Moçambique. CLME'2011/IIICEM., 2011, Porto: Edições INEGI, 2011. v. 1. p. 101-102.

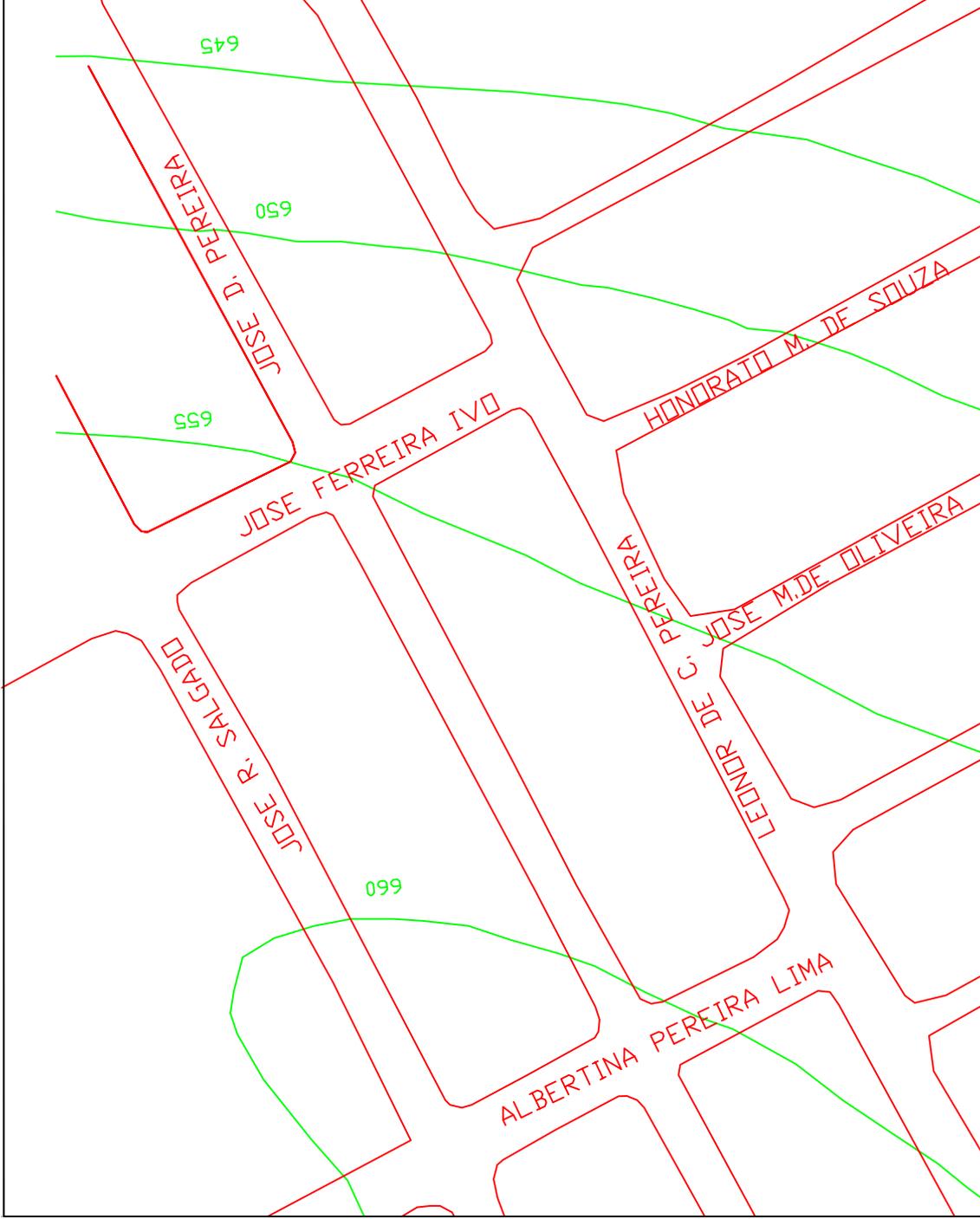
SMDU. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais**. São Paulo, 2012

TUCCI, C.E.M; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, 1995; 428p.

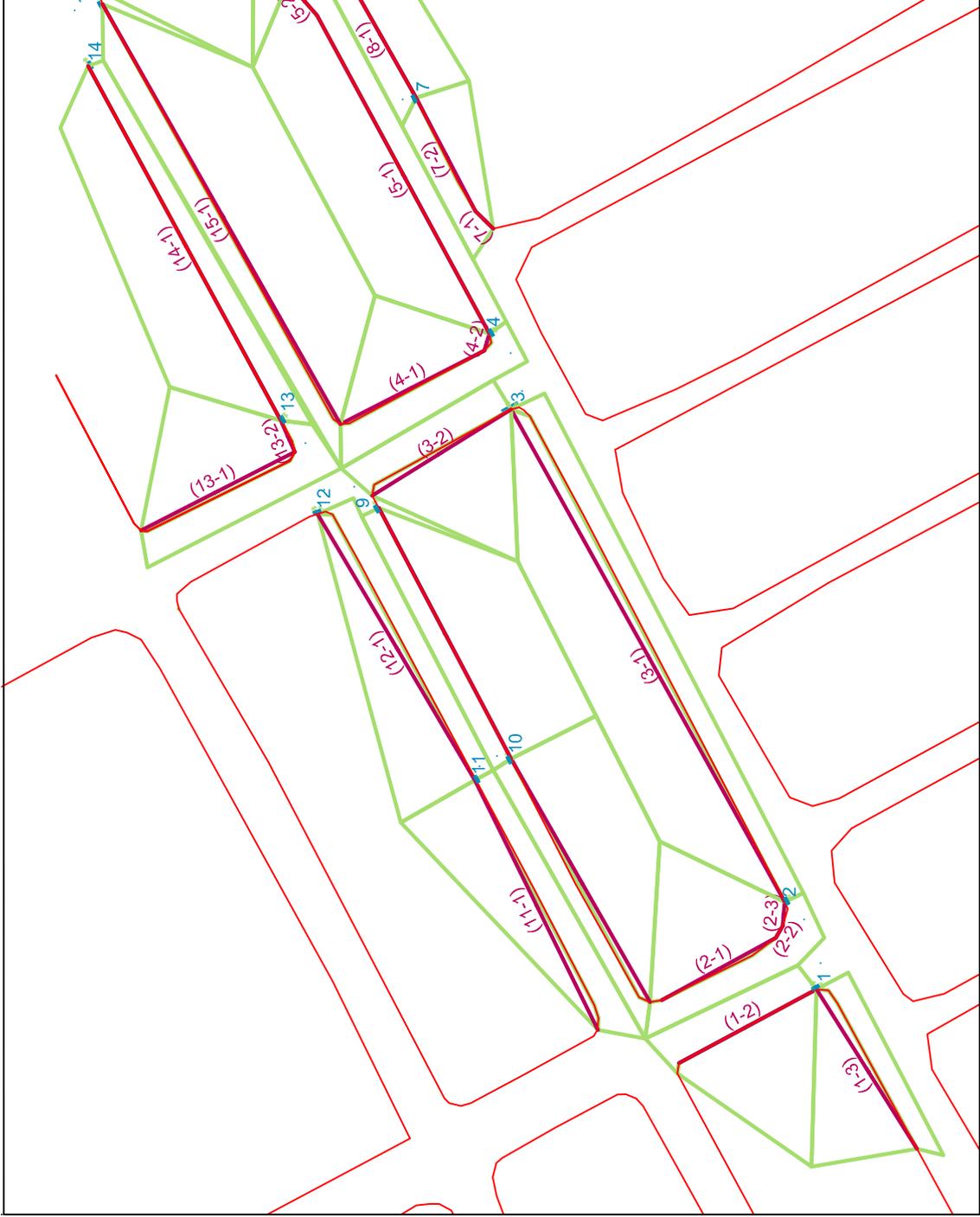
TSUTIYA, M.T., ALEM SOBRINHO, P.. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. São Paulo. Winner Graph, 1999. V.1. 547p

WROBEL, L.C. **Métodos Numéricos em Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1989.

APÊNDICE A: Planta Baixa da Região



APÊNDICE B: Planta Das Bocas De Lobo E Bacias De Contribuição



APÊNDICE C: Código do cálculo do Raio Hidráulico

O código abaixo calcula o ângulo hidráulico com base na vazão, diâmetro e declividade do coletor. Sua necessidade é justificada no cálculo do Raio Hidráulico para o dimensionamento através da Fórmula de Manning. Esse código é baseado no de dimensionamento de coletores de esgoto, apresentado em TSUTIYA (1999).

Const lammax = 0.85

Const epron = 0.0001 'precisão

Const n = 0.013 'coef.de manning

Const pi = 3.141592 'pi

Dim q As Single 'vazão

Dim i As Single 'declividade

Dim d As Single 'diâmetro

Dim a As Single

Dim a1 As Single

Dim a2 As Single

Dim ac As Single

Dim amax As Single 'ângulo máximo

Dim xaux As Single

Dim acos1 As Single 'ângulo auxiliar

Dim area1 As Single

Dim rh1 As Single

Dim area2 As Single

Dim rh2 As Single

Dim fmax As Single

Dim fmin As Single

Dim epi As Single

Dim sinal As Integer

Dim fa As Single

Dim fab As Single

Dim lamina As Single

Function calculohidraulico(dp As Single, ip As Single, qp As Single) As Variant

i = ip

q = qp

d = dp

q = q / 1000

'cálculo de amax

xaux = 1 - (2 * lammax)

acos1 = -Atn(xaux / Sqr(-xaux * xaux + 1)) + pi / 2

amax = 2 * acos1

a = amax

a1 = 0.0001

a2 = amax

If a1 < (pi) Then

area1 = (a1 - Sin(a1)) * d ^ 2 / 8

rh1 = area1 / (a1 * d / 2)

Else

a1 = 2 * pi - a1

area1 = (pi * d ^ 2) / 4 - ((a1 - Sin(a1)) * d ^ 2 / 8)

rh1 = area1 / ((pi * d) - a1 * d / 2)

End If

If a2 < (pi) Then

area2 = (a2 - Sin(a2)) * d ^ 2 / 8

rh2 = area2 / (a2 * d / 2)

Else

a2 = 2 * pi - a2

area2 = (pi * d ^ 2) / 4 - ((a2 - Sin(a2)) * d ^ 2 / 8)

rh2 = area2 / ((pi * d) - a2 * d / 2)

End If

fmax = q - 1 / n * area1 * rh1 ^ (2 / 3) * Sqr(i)

fmin = q - 1 / n * area2 * rh2 ^ (2 / 3) * Sqr(i)

sinal = Sgn(fmax)

a1 = 0.0001

a2 = 2 * pi

epi = a1 - a2

Do While Abs(epi) > epsilon

ab = (a1 + a2) / 2

ac = ab

If a1 < (pi) Then

area1 = (a1 - Sin(a1)) * d ^ 2 / 8

rh1 = area1 / (a1 * d / 2)

Else

a1 = 2 * pi - a1

area1 = (pi * d ^ 2) / 4 - ((a1 - Sin(a1)) * d ^ 2 / 8)

rh1 = area1 / ((pi * d) - a1 * d / 2)

End If

If ab < (pi) Then

area2 = (ab - Sin(ab)) * d ^ 2 / 8

rh2 = area2 / (ab * d / 2)

Else

ab = 2 * pi - ab

area2 = (pi * d ^ 2) / 4 - ((ab - Sin(ab)) * d ^ 2 / 8)

rh2 = area2 / ((pi * d) - ab * d / 2)

End If

fa = q - 1 / n * area1 * rh1 ^ (2 / 3) * Sqr(i)

fab = q - 1 / n * area2 * rh2 ^ (2 / 3) * Sqr(i)

If Sgn(fab) = sinal Then

a1 = ac

Else

a2 = ac

End If

```
epi =(a1 - a2)
```

```
Loop
```

```
lamina = (1 - Cos(ac / 2)) / 2
```

```
lamina = Int(-lamina * 100) / 100
```

```
aux_texto = Str$(-lamina)
```

```
If -lamina < 0.85 Then
```

```
    calculohidraulico = ac
```

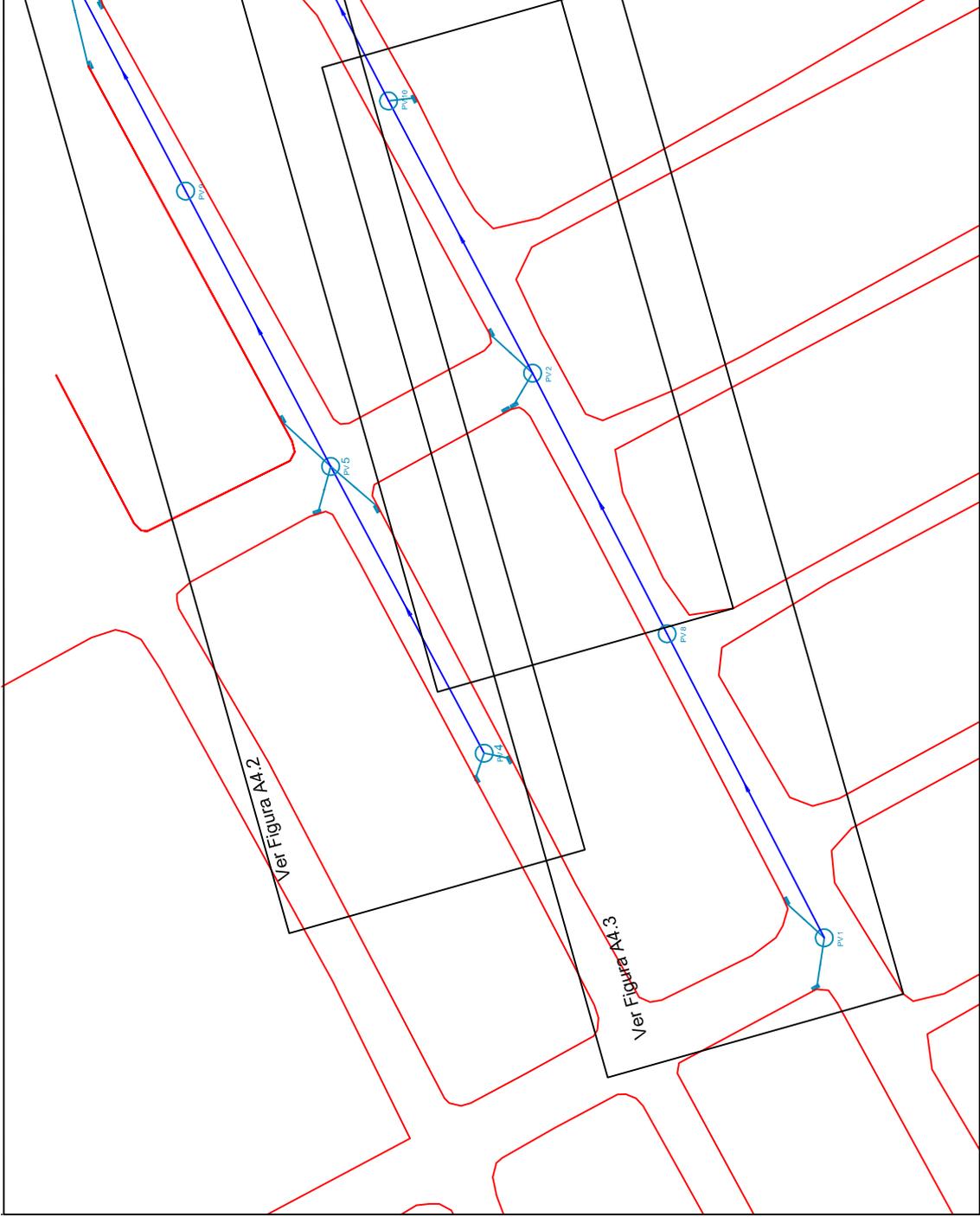
```
Else
```

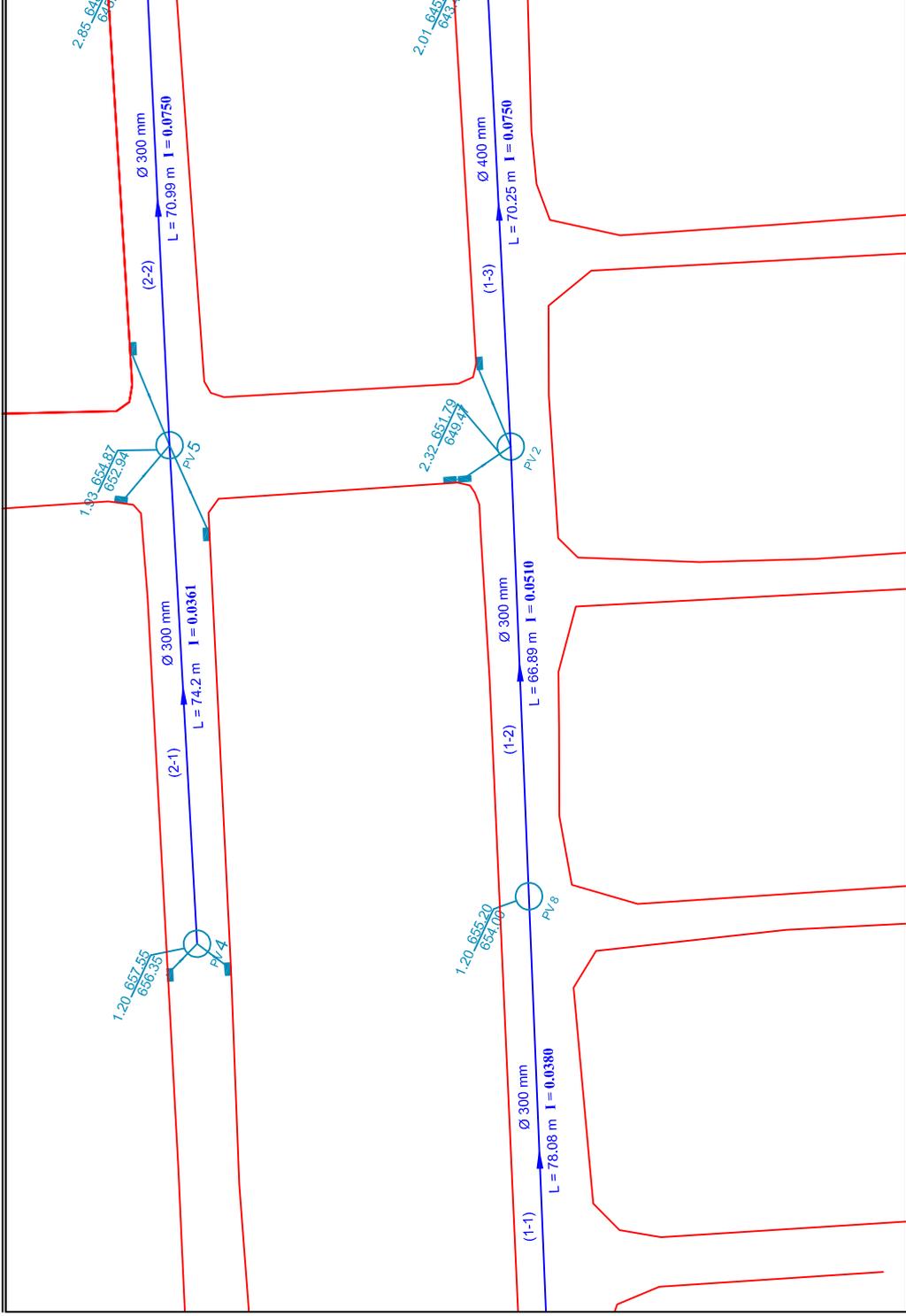
```
    calculohidraulico = "conduto forçado"
```

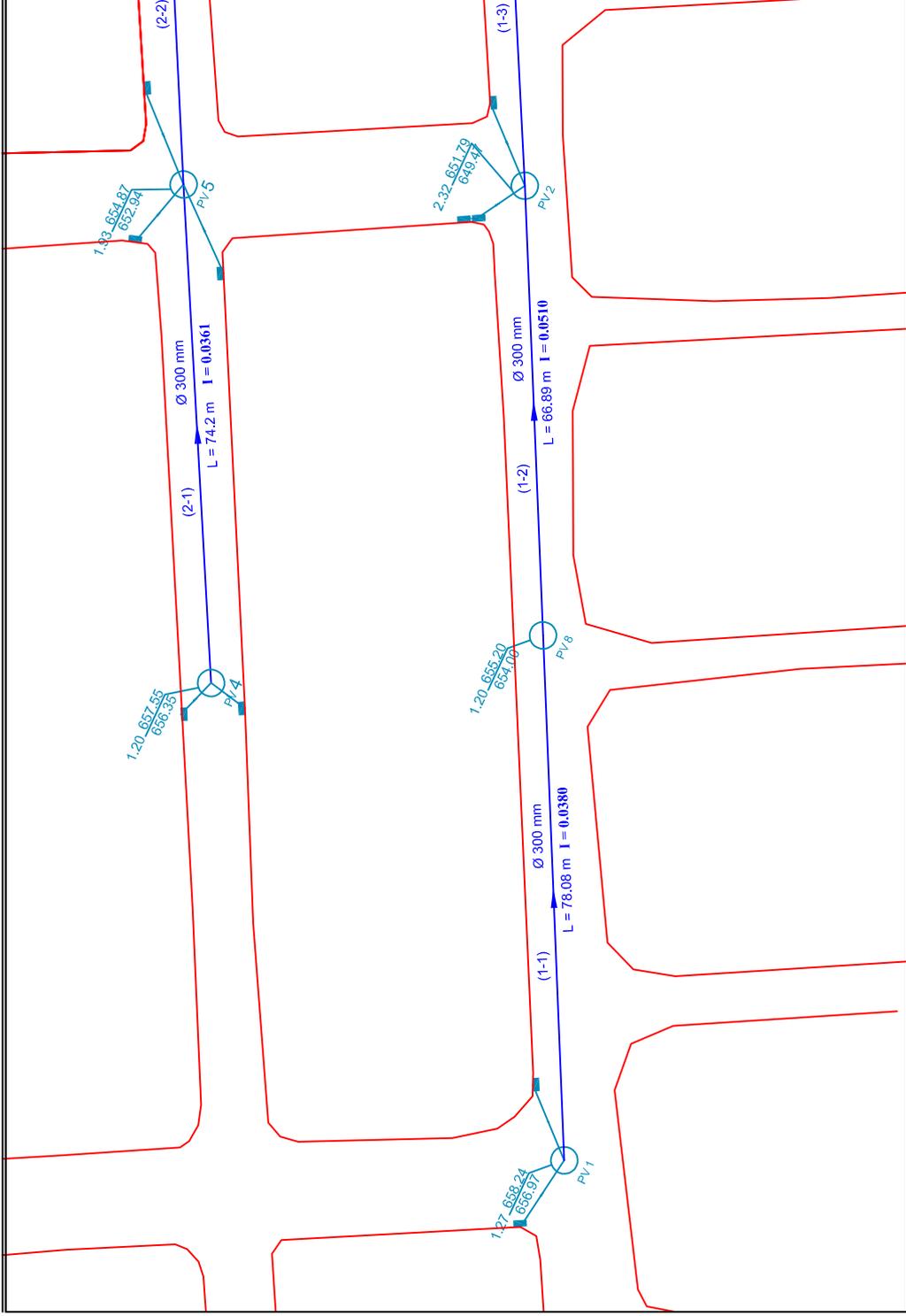
```
End If
```

```
End Function
```

APÊNDICE D: Planta da Rede Projetada Córrego Senhorinha







FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 11 de novembro de 2013	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-022/2013	4. N° DE PÁGINAS 65
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Comparação dos métodos de escoamento não permanente e permanente uniforme para o dimensionamento de galerias de drenagem.			
6. AUTOR(ES): Gabriela Nobre Pedreira da Costa			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1 Dimensionamento de galerias pluviais 2. Escoamento não permanente 3. UFC 8 4 Drenagem Urbana			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Escoamento de água; Drenagem; Planejamento urbano; Engenharia civil; Engenharia sanitária.			
10. APRESENTAÇÃO:		X Nacional Internacional	
ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientadora: Nadiane Smaha Kruk. Publicado em 2013.			
11. RESUMO: <p>O sistema de drenagem urbana é importante para o desenvolvimento urbano. Ele é necessário para garantir a segurança e bem estar à população em dias de chuvas, porém ainda não existe uma norma Brasileira que determine metodologias de cálculos, cabendo assim se basear em planos diretores locais de drenagem. Nesses planos e na maioria dos softwares de dimensionamento encontrados no mercado utiliza-se o método racional e a equação de Manning, que pressupõe um escoamento permanente e uniforme. Porém, com a intensificação da ocorrência de inundações em áreas urbanas, surge a necessidade de avaliar a utilização de modelos hidrodinâmicos para o dimensionamento das redes de drenagem. Para auxiliar nos projetos e planejamento dos sistemas de drenagem urbana, o UFC-8, desenvolvido dentro do Sistema UFC, constitui uma interface do AUTOCAD com o software Storm Water Management Model (SWMM) que utiliza as equações de Saint-Venant completas para propagação de cheia dentro da rede drenagem. Essas equações consideram o escoamento livre como não permanente. O objetivo deste trabalho foi comparar as metodologias de dimensionamento de galerias, o método do escoamento não permanente e o método do escoamento permanente e uniforme, realizando um estudo em região próxima ao córrego Senhorinha afluente do córrego Vidoca. Os resultados apresentaram que a diferença entre as vazões de um mesmo coletor dimensionado pelos dois métodos varia entre 10 % e 27 %, além de ocorrer diferenças no diâmetro obtido em certos trechos.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			