

# VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DAS GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS EM UMA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO NA CIDADE DE GOIÂNIA-GO

## EVALUATION OF THE STORM SEWER DESIGN IN A SUB-BASIN OF THE BOTAFOGO STREAM, CITY OF GOIÂNIA - GOIÁS - BRAZIL

Frederico Carlos Martins de Menezes Filho<sup>1</sup>, Alfredo Ribeiro da Costa<sup>2</sup>,

Recebido em 20 de abril de 2012; recebido para revisão em 04 de junho de 2012; aceito em 21 de junho de 2012; disponível on-line em 23 de julho de 2012.

### PALAVRAS CHAVES:

Drenagem Urbana;  
Galerias de Águas Pluviais;  
Metodologias de dimensionamento de sistemas de drenagem.

**RESUMO:** A urbanização desenfreada que se deu nas grandes cidades brasileiras ocasionada pela ausência de planejamento quanto à ocupação e uso do solo acarretou uma intensa impermeabilização e consequente aumento do escoamento superficial. Paralelamente, a não elaboração de projetos de drenagem urbana e mesmo a execução de sistemas de drenagem subdimensionados agravaram os problemas de saneamento ambiental gerando insegurança à população nos períodos chuvosos. O objetivo deste trabalho foi verificar o dimensionamento das galerias de águas pluviais em uma área de intensa antropização na cidade de Goiânia-GO. Para tal, inicialmente buscou-se informações da rede existente. Posteriormente, implementou-se uma sistemática de cálculo para o dimensionamento das galerias de águas pluviais que pudesse aliar ferramentas práticas como planilhas eletrônicas e o uso de equações em contraposição ao uso de tabelas presentes na utilização do Método Racional. As equações utilizadas basearam-se no trabalho de Saatçi (1990) para o dimensionamento em regime permanente. Juntamente às equações, traçou-se um fluxograma das etapas necessárias para o dimensionamento. Através das informações das galerias de águas pluviais fez-se uma comparação com o dimensionamento realizado levando-se considerações conservadoras como coeficiente de *runoff* igual a 0,50 adotados pela PMG - Prefeitura Municipal de Goiânia bem como tempo de concentração inicial igual a 10 minutos. Os resultados mostraram diâmetros aquém dos necessários para a área de estudo demonstrando problemas recorrentes nos períodos chuvosos. Faz-se necessário além de um correto dimensionamento das galerias de águas pluviais, a utilização de técnicas compensatórias na área de estudo para mitigação dos problemas existentes.

### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup>e-mail : [menezesfilho.frederico@gmail.com](mailto:menezesfilho.frederico@gmail.com) (F. C. M. MENEZES FILHO)

Eng. Civil Mestre em Engenharia do Meio Ambiente, (UFG - GO)

Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, (IPH-UFRGS - RS)

<sup>2</sup>e-mail : [alfredoribeirocosta@gmail.com](mailto:alfredoribeirocosta@gmail.com) (A. R. COSTA)

Eng. Civil Dr. em Engenharia Hidráulica e Saneamento, (UFG - GO).

**KEYWORDS:**

Urban Drainage;  
Storm sewer systems;  
Design methodologies of  
drainage systems.

**ABSTRACT:** The uncontrolled urbanization occurring in large Brazilian cities caused by the lack of planning regarding the land occupation and use has led to an intense surface sealing and consequent increase in runoff. In addition, the non-development of urban drainage designs and the conduction of undersized drainage systems have enhanced the environmental sanitation problems, generating insecurity to the population in rainy periods. The goal of the present study was to evaluate the storm sewer design in a highly anthropized area in the city of Goiânia, Goiás State. To this end, it was first sought information on existing network. Afterwards, it was implemented a systematic calculation to design the storm sewer that could combine practical tools, such as spreadsheets and application of equations instead of using tables present in the use of the Rational Method. The equations were based on Saatçi (1990) for the steady flow. Along with the equations, a flowchart was developed showing the steps needed for the design. The information of storm sewer were compared with the performed design, taking into account some conservative considerations like the runoff coefficient of 0.50 adopted by the PMG – Municipal City Hall of Goiânia, as well as the time of entry of 10 minutes. The results pointed out diameters below the required for the study area, indicating recurrent problems whenever necessary. Besides a proper design of the storm sewer it was also emphasized the need for using compensatory techniques in the study, in order to mitigate the existing problems.

## 1. INTRODUÇÃO

A partir da segunda metade do século XX, a intensa concentração da população em áreas urbanas manifestou-se como um fenômeno mundial, inclusive no Brasil. Constatou-se um aumento considerável no fluxo do campo em direção às cidades, agravando os problemas de infraestrutura urbana, com forte impacto no saneamento básico, aí incluída a drenagem urbana.

Consoante o IBGE (2010) tem-se atualmente no Brasil, como apontam os dados, que 84% da população estão concentrados em áreas urbanas. O Estado de Goiás, em particular, apresenta uma população urbana de 4.396.645 habitantes, representando cerca de 88 % de sua população total.

De maneira geral os impactos da urbanização mais perceptíveis na drenagem urbana são os relacionados às alterações no escoamento superficial gerados pela intensa impermeabilização. Em áreas que sofreram intensa urbanização, após curtos e intensos períodos de chuva, observam-se alagamentos, o que infelizmente é um fato comum em cidades sem um plano diretor eficaz e infraestrutura adequada, em função de uma compreensão precária do que significa a Hidrologia Urbana.

Apesar de possuir certa quantidade de áreas verdes e ser exemplo na qualidade de vida, Goiânia, com pouco mais de setenta anos, sofre da mesma maneira que cidades centenárias (LONGO, M. 2006) no que se refere às enchentes e inundações.

A redução dos processos de infiltração, aumento dos volumes escoados superficialmente, aceleração do escoamento e acentuação dos picos dos hidrogramas, consequências da urbanização, são grandes problemas a serem enfrentados pelas cidades.

Como agravante desta situação tem-se ainda o subdimensionamento de obras hidráulicas, seja pela utilização inadequada de dados de chuva ou pela ausência de uma sistematização para elaboração do projeto de drenagem urbana referente às galerias de águas pluviais. Deste modo, não só o adequado dimensionamento das galerias deve ser realizado. É preciso também propor soluções e alternativas para áreas com infraestrutura implantadas, como é o caso das regiões centrais das grandes metrópoles, e também para áreas de expansão urbana.

A ausência de uma sistematização para elaboração de projetos de dimensionamento de galerias de águas pluviais que leve em conta características regionais, não perdendo de vista a abrangência universal para aplicação, caracteriza a necessidade e importância do presente trabalho.

A proposição de critérios a serem assumidos no dimensionamento das galerias de águas pluviais, o uso de equacionamento, sem qualquer emprego de ábaco, são partes integrantes de uma sistemática de cálculo que permite fixar diâmetro, declividade, recobrimento da galeria, bem como vazão e velocidade de escoamento, além de cotas do terreno, da galeria e de poços de visita que nortearão a construção da rede.

## 2. OBJETIVOS

Os objetivos deste artigo são:

- Propor uma sistematização para o projeto de galerias de águas pluviais, utilizando o equacionamento proposto, e que esteja em sintonia com as diversas referências da literatura;
- Realizar uma composição esquemática do dimensionamento realizado, demonstrando os pontos de sobrecarga da rede, trechos que necessitam de adaptações e as diferenças contrastantes entre os diâmetros existentes e os diâmetros calculados.

## 3. ESTIMATIVA DE VAZÃO DE PROJETO

Desde a primeira exposição da famosa Teoria Racional por Emil Kuichling (1880) apud Wilken (1978) que originou a Equação Racional (1) e assim o Método Racional muitos ainda a utilizam. Esta equação expressa o máximo caudal ou a maior vazão em uma seção da bacia contribuinte dada, em função das características da própria bacia e da quantidade de chuva precipitada.

$$Q_{loc} = C \cdot i \cdot A \quad [\text{Eq.1}]$$

Onde:

$Q_{loc}$  = vazão superficial local ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$C$  = coeficiente de escoamento superficial, intensidade da chuva ( $\text{m/s}$ );

$A$  = área da bacia contribuinte local ( $\text{m}^2$ ).

A aplicação do Método Racional é válida para bacias urbanas ou rurais pequenas com áreas de até 500 ha e pode ser aplicado com segurança até 50 ha ou 100 acres (WILKEN, 1978; DEBO, REESE, 2003). Entretanto há outros autores que consideram o limite de área para aplicação deste método de  $2,0\text{km}^2$  (Tucci, 2004) e até  $3\text{km}^2$  ou 300 ha como Festi (2005). Para áreas superiores a  $2,0\text{km}^2$  recomenda-se para estimativa de vazão, a utilização do Método do Hidrograma Unitário, proposto pelo NRCS (Natural Resources Conservation Service), antigo SCS (Soil Conservation Service).

## 3.1 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Originalmente chamada de racional por admitir-se necessário conhecer para aplicação do Método as características principais da bacia, há de se adotar um valor para um parâmetro que dependerá do conhecimento e experiência do projetista.

Este parâmetro conhecido como coeficiente de escoamento superficial, deflúvio ou coeficiente de "runoff" ( $C$ ) depende basicamente das características do solo da bacia hidrográfica em estudo, bem como da existência ou não de armazenamento em depressões e da declividade. Ele depende, ainda, da intensidade da chuva, a qual na grande maioria das vezes não é levada em conta para sua estimativa. Este coeficiente é definido pela relação entre o volume escoado superficialmente e o volume precipitado. Assim, seu valor menor que a unidade decresce para áreas que não sofreram modificações pelo homem, como áreas verdes e que ainda guardam propriedades importantes como a interceptação e infiltração das águas de chuvas. Já para áreas modificadas pelo homem como áreas pavimentadas e asfaltadas este coeficiente aumenta pela ausência ou redução de áreas de infiltração naturais, gerando o aumento do volume escoado superficialmente.

Pode ser calculado por fórmulas práticas como a de Horner apud Azevedo Netto e Araújo (1998):

$$C = 0,364 \log t + 0,0042 r - 0,145 \quad [\text{Eq.2}]$$

Onde:

$t$  = duração da precipitação (min);

$r$  = porcentagem impermeabilizada de área (%).

Entretanto, existem tabelas adotadas por órgãos nacionais e internacionais que fornecem o valor deste coeficiente em função da descrição da área (Tabelas 1 e 2).

Estes valores também podem estar vinculados a determinados períodos de retorno de precipitações, como evidencia Writh-McLaughlin (1969) apud Debo e Reese (2003) relatando que para precipitações de alta intensidade deverá haver modificações neste coeficiente devido à infiltração e outras perdas terem um efeito proporcionalmente menor sobre o escoamento superficial.

**Tabela 1: Valores usuais de  $C$ , segundo Kuichling**

Natureza da bacia	$C$
Telhados	0,70-0,95
Superfícies asfaltadas	0,85-0,90
Superfícies pavimentadas e paralelepípedos	0,75-0,85
Estradas macadamizadas	0,25-0,60
Estradas não pavimentadas	0,15-0,30
Terrenos descampados	0,10-0,30
Parques, jardins, campinas	0,50-0,20

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto e Araújo (1998).

**Tabela 2:** Valores usuais de C segundo Colorado Highway Department.

Características da bacia	C
Superfícies impermeáveis	0,90-0,95
Terreno estéril montanhoso	0,80-0,90
Terreno estéril ondulado	0,60-0,80
Terreno estéril plano	0,50-0,70
Prados, campinas, terreno ondulado	0,40-0,65
Matas decíduas, folhagem caduca	0,35-0,60
Matas coníferas, folhagem permanente	0,25-0,50
Pomares	0,15-0,40
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15-0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10-0,30

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto e Araújo (1998).

Assim, deve-se ajustar o Método Racional através da multiplicação do lado direito da equação por um fator de frequência (Cf) dado pela Tabela 3, sendo o produto “C” por “Cf” menor que a unidade (DEBO; REESE, 2003).

$$Q = C_f \cdot C \cdot i \cdot A \quad [\text{Eq.3}]$$

Há também métodos para determinação do coeficiente de escoamento superficial baseados nos grupos de solos e declividade do terreno e no uso do solo e coeficientes compostos para bacias complexas.

### 3.2 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Segundo Villela e Mattos (1975): “tempo de concentração é definido como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo ou, em outras palavras, tempo que leva a água dos limites da bacia para chegar à saída da mesma”.

O tempo de concentração usado no projeto consiste da soma do tempo de entrada com o tempo de

percurso ou de trajeto dentro do conduto. O tempo de entrada pode ser determinado através de gráficos. Na Figura 1, tem-se um exemplo para a determinação do tempo de concentração em minutos (time in minutes) para condições que não envolvem complexa drenagem; em função da distância em pés (*distance in feet*), declividade em porcentagem (*slope, %*) e coeficiente de escoamento superficial (C).

Para cálculo do tempo de concentração total, basta adicionar o tempo de entrada com o tempo de trajeto dentro do conduto no trecho em estudo (Equação 4), sendo este obtido pela divisão do comprimento do trecho em análise pela velocidade média do fluxo do mesmo trecho.

$$t_c = t_e + t_p \quad [\text{Eq.4}]$$

Onde:

**t<sub>c</sub>** = tempo de concentração (min);

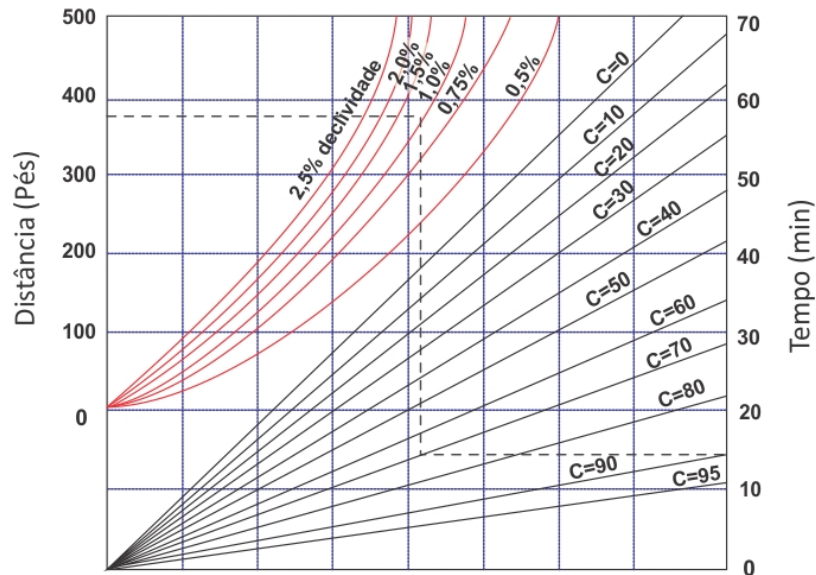
**t<sub>e</sub>** = tempo de entrada (min);

**t<sub>p</sub>** = tempo de percurso (min).

**Tabela 3:** Fator de frequência associado ao período de retorno ou recorrência.

Período de Retorno ou Recorrência (anos)	Cf
25	1,1
50	1,2
100	1,2

Fonte: Adaptado de Debo e Reese (2003).



**Figura 1.** Determinação do tempo de concentração em função da distância, coeficiente de escoamento superficial e declividade.

**Fonte:** Airport Drainage. Federal Aviation Administration, 1965 apud Debo e Reese (2003).

A vazão máxima calculada é obtida considerando toda a bacia contribuindo para a seção de estudo. Deste modo, a duração da precipitação calculada deverá ser igual ao tempo de concentração.

Faz-se necessária precaução quanto ao uso do Método Racional quando o tempo de concentração ultrapassar 30 minutos, o que significaria que a intensidade pluviométrica deixaria de ser constante sobre a área em estudo, descaracterizando uma das condições de aplicação do método (DEBO; REESE, 2003).

Wilken (1978) recomenda a adoção do tempo de concentração inicial entre 5 e 20 minutos para bacias rurais e para bacias urbanas entre 5 e 15.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO RACIONAL

Para o dimensionamento das galerias de águas pluviais pelo Método Racional, em síntese, utiliza-se a Tabela 4, baseada na equação de Manning que fornece o valor da velocidade e vazão para um certo diâmetro comercial arbitrado. Esta escolha obedece frequentemente a decisão mais econômica adotando-se inicialmente a declividade do terreno conduzindo a menores custos relacionados à escavação. Com o cálculo da vazão à seção plena e tendo a vazão a ser escoada pela tubulação determina-se a razão  $Q/Q_p$  e pela tabela determina-se por interpolação a velocidade do escoamento. Caso os valores ultrapassem os limites estabelecidos para a velocidade e também para a relação altura-diâmetro, galerias dimensionadas como condutos livres, deve-se decidir

pela troca de diâmetro ou proceder a alterações na declividade da galeria. Deve-se ressaltar que apesar do procedimento ser simples, o processo torna-se dispendioso visto a não observância dos limites estabelecidos em projetos quando do dimensionamento das galerias de águas pluviais e a necessidade de sucessivas interpolações para se chegar à solução.

### 3.4 MÉTODO DE SAATÇI

Como a rotina de cálculo pode consumir tempo e limitar possíveis alternativas quanto ao cálculo da velocidade e da profundidade do escoamento, Saatçi (1990) introduziu uma solução usando considerações geométricas (Figura 2) e a Equação de Manning. Sendo dados a vazão ( $Q$ ), a declividade ( $I$ ) e o diâmetro ( $D$ ), calculam-se a constante ( $k$ ), ângulo central ( $\theta$ ) e a área molhada ( $A_m$ ) pelas Equações 5, 6 e 7 respectivamente. O cálculo da velocidade e da profundidade se faz com as Equações 8 e 9.

$$k = Q n D^{-8/3} I^{-1/2} \quad [\text{Eq.5}]$$

Onde:

**K** = constante;

**Q** = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

**D** = diâmetro (m);

**I** = declividade (m/m).

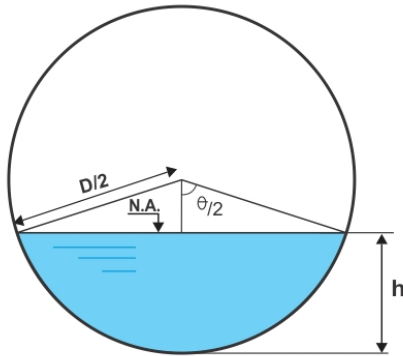
$$\theta = \frac{3\pi}{2} \sqrt{1 - \sqrt{1 - \sqrt{\pi K}}} \quad [\text{Eq.6}]$$

Onde:

**$\theta$**  = ângulo central (rad),

**K** = constante.

Tabela 4. Valores calculados para seção circular					
h/D	ângulo central (rad)	Rh/d	A/d <sup>2</sup>	V/Vp	Q/Qp
0,01	0,4006	0,0066	0,0013	0,089	0,00015
0,05	0,9020	0,0326	0,0147	0,257	0,00480
0,10	1,2870	0,0635	0,0409	0,401	0,02088
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
0,40	2,7388	0,2142	0,2934	0,902	0,33699
0,45	2,9412	0,2331	0,3428	0,954	0,41653
0,50	3,1415	0,2500	0,3927	1,000	0,50000
0,55	3,3419	0,2649	0,4426	1,039	0,58571



**Figura 2:** Características geométricas do conduto livre de seção circular

Por meio da Figura 2, tem-se que:

$$A_m = \frac{D^2(\theta - \text{sen}\theta)}{8} \quad [\text{Eq.7}]$$

Onde:

$A_m$  = área molhada (m<sup>2</sup>).

Deste modo, calcula-se a velocidade e a relação altura lâmina d'água-diâmetro:

$$V = Q/A_m \quad [\text{Eq.8}]$$

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right] \quad [\text{Eq.9}]$$

Onde:

$V$  = velocidade do escoamento (m/s);

$h/D$  = relação altura lâmina d'água-diâmetro;

$h$  = profundidade do escoamento (m);

$D$  = diâmetro (m).

Deve-se ressaltar que a aplicação deste método é válido para o ângulo central  $\theta$  variando de 0° até 265° (0 a 4,625 rad), equivalente a uma relação altura-diâmetro ( $h/D$ ) de 0,84.

### 3.5 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DAS GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS

Diversos são os critérios e parâmetros adotados para o dimensionamento de uma rede de águas pluviais, envolvendo grandezas como o tempo de concentração, velocidade mínima e máxima, tipo de escoamento considerado no cálculo, influência de remanso, dentre outros. Tendo em vista a diversidade observada, é preciso analisar os critérios e fixá-los dentro de certas restrições para se dimensionar as galerias de águas pluviais.

Há uma gama de parâmetros e critérios adotados por autores e instituições, notando-se a variação de valores quanto à velocidade máxima " $V_{m\acute{a}x}$ ", mínima " $V_{m\acute{i}n}$ ", recobrimento mínimo " $r_m$ ", tempo de concentração inicial " $t_{ci}$ ", relação máxima da lâmina de água-diâmetro adotada " $h/D$ " e o tipo de escoamento sendo uniforme "Unif." ou gradualmente variado "Grad. Variado".

Aqui, será fixada a velocidade mínima em 0,75 m/s, considerando que velocidades menores dificultariam a autolimpeza das tubulações e, por outro lado, a velocidade máxima será fixada em 5,0 m/s, já que velocidades superiores exporiam demais as tubulações ao processo de abrasão. Outro aspecto importante diz respeito à consideração do regime permanente com as tubulações funcionando como condutos livres.

Os sistemas de drenagem urbana devem ser projetados como condutos livres minimizando possíveis transtornos relacionados à sobrepressão nas tubulações.

Levando-se em conta que a praxe é de localizar as galerias de águas pluviais no eixo das vias, adota-se 1,0 m como recobrimento mínimo sobre as tubulações.

### 3.5.1 Critérios adotados pela Prefeitura Municipal de Goiânia

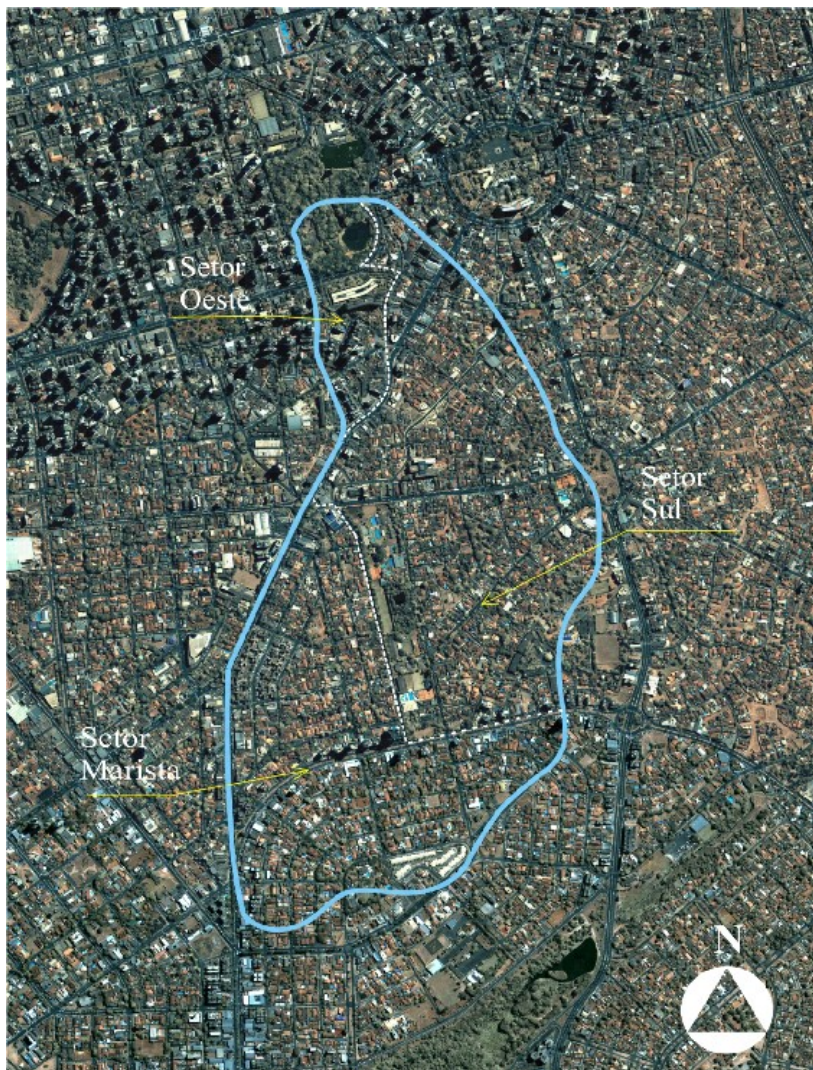
No memorial justificativo para o dimensionamento das galerias de águas pluviais da Prefeitura Municipal de Goiânia (PMG, 2005) são abordados os critérios para o dimensionamento das galerias de águas pluviais. Entre eles estão a adoção de uma única intensidade de precipitação para todo o perímetro urbano da cidade com período de retorno ou tempo de recorrência igual a 2 anos, intensidade esta baseada no trabalho Chuvas Intensas de Pfafstetter (1982). Adota-se também um único valor para o coeficiente de “runoff”, sendo este valor igual a 0,50. Por critérios econômicos e visando à qualidade técnica, a subdivisão da área é feita atribuindo-se a esta, vários emissários. Outro ponto abordado no memorial é o aspecto econômico em relação ao movimento de terra, buscando-se aproveitar o declive natural do terreno no lançamento das galerias e ainda a profundidade máxima das galerias fixada em duas

vezes e meia o diâmetro da tubulação. Por fim, o lançamento das águas pluviais é realizado em fundos de vale, córregos e seus afluentes.

## 4. METODOLOGIA

No desenvolvimento deste estudo, definiu-se inicialmente como área de estudo a bacia do Córrego do Botafogo em decorrência da alta densidade populacional e da grande ocupação dos seus lotes. Em virtude das grandes inundações sofridas nos períodos chuvosos, delimitou-se uma bacia compreendendo setores da cidade, a saber: Setor, Sul, Oeste e Marista, em uma área total de aproximadamente 188,00 ha (Figura 3).

Foram levantados, junto à Prefeitura Municipal de Goiânia (PMG), dados relativos ao sistema de drenagem pluvial da área de estudo como plantas do traçado da rede coletora de águas pluviais, o roteiro de dimensionamento empregado, bem como dados sobre a fabricação e execução das galerias de águas pluviais. Além dos diâmetros, o traçado da rede também foi fornecido.



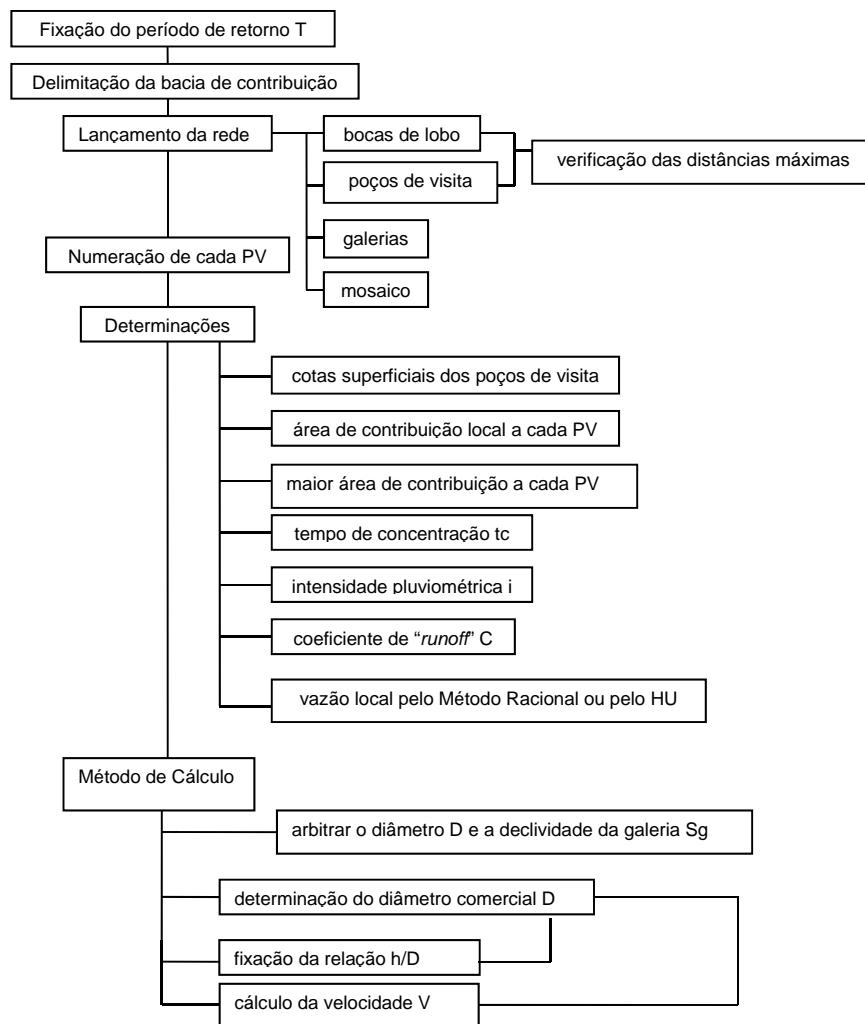
**Figura 3:** Delimitação da Sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia, objeto de estudo.

Fonte: COMDATA – QUICKBIRD UTM 22 SAD69 (sem escala).

#### 4.1 SISTEMATIZAÇÃO PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO DE DRENAGEM URBANA

A Figura 4 mostra o fluxograma com as principais etapas da sistematização para elaboração de projeto de drenagem urbana, consoante a proposta central do presente trabalho. A fixação do período de retorno  $T$  a ser adotado para a intensidade pluviométrica é um parâmetro básico que deve preceder as demais etapas. Parte-se então para a delimitação da bacia contribuinte, com as curvas de nível com equidistância de 1,0m. Ressalta-se a importância nesta etapa do levantamento topográfico *in loco*.

Marcam-se, então, os sentidos de escoamento nas vias e nos lotes para o lançamento da rede de drenagem, contendo bocas de lobo, poços de visita (PVs) e galerias. A numeração dos poços de visita segue um ordenamento lógico, sem necessidade de uma padronização, notando-se que as áreas de contribuição a cada "PV" compõem o chamado mosaico. Segue-se com as determinações de cotas superficiais dos "PVs", área de contribuição local a cada "PV" baseada no mosaico, tempo de concentração inicial ou tempo de entrada " $t_{ci}$ ", intensidade pluviométrica " $i$ ", estimativa de coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de *runoff* " $C$ ", até chegar a vazão local " $Q_{loc}$ " de contribuição superficial a cada PV.



**Figura 4:** Fluxograma que representa as principais etapas para dimensionamento de galerias de águas pluviais.

Na metodologia de cálculo, há necessidade de se arbitrar inicialmente um valor para o diâmetro " $D$ " do trecho a dimensionar. Outro valor arbitrado é o da declividade da galeria " $S_g$ ", admitida inicialmente equivalente à do terreno por critérios econômicos. A partir desses dois valores arbitrados, executa-se uma rotina para a confirmação ou nova determinação do diâmetro " $D$ ", da relação altura-lâmina d'água " $h/D$ " e

da velocidade do escoamento " $V$ ", sempre observando os limites superior e inferior recomendados para " $V$ " e " $h/D$ ".

Para o dimensionamento das galerias de águas pluviais utilizou-se o Método Racional que é o mais difundido. Por sua vez, o Método de Saatçi (1990), descrito anteriormente, visa a reduzir o tempo gasto no dimensionamento ao utilizar equações ao invés de



tabelas e nomogramas, tão presentes nos projetos de galerias de águas pluviais. Deste modo, procurou-se então obter um equacionamento que tivesse as mesmas características desse método e que se utilizasse dentro do Método Racional, tão difundido nos meios acadêmicos e órgãos públicos ligados a projetos de sistemas coletores de águas pluviais. Tal equacionamento foi empregado com o uso da planilha eletrônica EXCEL que tornou o dimensionamento mais prático pela rapidez dos cálculos e análises envolvidas.

Em síntese de posse da vazão total "Q", do coeficiente de manning "n", do diâmetro "D" e da declividade da galeria "Sg", calcula-se "k" pela Equação 10.

$$k = Q n . D^{-8/3} . Sg^{-1/2} \quad [Eq.10]$$

Onde:

Sg: declividade da galeria (m/m).

Obtém-se o ângulo central "θ" pela Equação 11 proposta por Menezes Filho.

$$\theta = 5915,8.k^5 - 5201,2.k^4 + 1786,6.k^3 - 298,89.k^2 + 32,113.k + 1,1487 \quad [Eq.11]$$

Determinam-se, então, a relação "h/D" por meio da Equação 9 que deverá estar entre 0,10 e 0,85, condições já comentadas anteriormente, a área molhada "Am" e por fim a velocidade "V". Caso "h/D" esteja fora dos limites fixa-se este no respectivo limite que não fora respeitado e determina-se a nova declividade "Sg" do trecho de galeria. Caso seja necessário corrigir a velocidade que se encontre fora dos limites de 0,75 m/s e 5,0 m/s, fixa-se esta no respectivo valor que não foi observado, calcula-se a área molhada e obtém-se a relação beta "β" (Am/At). Calcula-se o ângulo central (Equação 12) em função de "β" consoante Menezes Filho (2007).

$$\theta = 17,108\beta^5 - 43,248\beta^4 + 44,821\beta^3 - 23,679\beta^2 + 9,524\beta + 0,864 \quad [Eq.12]$$

Calcula-se k e a declividade da galeria, finalizando o processo. O fluxograma de cálculo está representado na Figura 5.

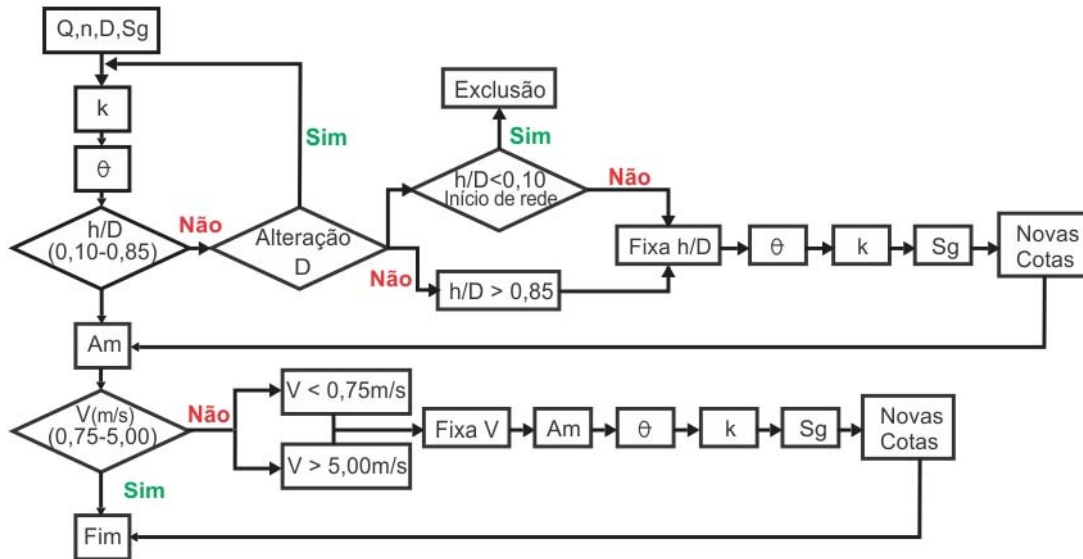


Figura 5: Fluxograma da rotina de cálculo para o dimensionamento das galerias de águas pluviais.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a sistematização proposta, realizou-se o dimensionamento das galerias de águas pluviais da área de estudo para, assim, permitir a análise da rede coletora de águas pluviais.

Após o dimensionamento tornou-se evidente que em diversos trechos a rede existente não comportava o volume de águas pluviais a ser transportado e também em muitos trechos a ausência das galerias sobrecarrega os trechos a jusante provocando os frequentes alagamentos. Ao comparar-se o tempo de concentração e a vazão para trechos característicos de alagamentos nos períodos chuvosos, percebe-se que em quão pouco tempo do início da chuva o valor da vazão a ser transportado é elevado (Tabela 5).

Além do mais, a adaptação da rede se faz necessária tendo em vista a disparidade dos valores para os diâmetros existentes e os calculados.

Executando-se outro dimensionamento alterando-se o coeficiente de escoamento superficial “C” de 0,65 para 0,50, valor este adotado pela PMG, e aumentando-se o tempo de concentração “tc” para 10 minutos, visto que “tc” igual a 5 minutos estaria superestimado gerando vazões elevadas e consequentemente maiores diâmetros para as galerias de águas pluviais, obtiveram-se valores mais representativos para as vazões referentes à magnitude da área de estudo, porém, diâmetros existentes ainda inferiores aos calculados (Tabela 6).

**Tabela 5:** Comparação entre diâmetros para trechos da área de estudo.

Local	tc (min)	Q (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>ex</sub> <sup>1</sup> (mm)	D <sub>calc</sub> <sup>2</sup> (mm)
Rua 148	10,03	4,944	600	1500
Rua 132	12,12	5,955	800	2000
Rua 87 / 132	14,71	12,012	1000	2500
Bosque dos Buritis	17,55	36,649	800	3500

1 - D<sub>ex</sub> - diâmetro existente;

2 - D<sub>calc</sub> - diâmetro calculado.

**Tabela 6:** Comparação entre diâmetros para trechos da área de estudo (C = 0,50 e tc = 5min).

Local	tc (min)	Q (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>ex</sub> <sup>1</sup> (mm)	D <sub>calc</sub> <sup>2</sup> (mm)
Rua 148	15,47	3,278	600	1500
Rua 132	17,90	3,950	800	1500
Rua 87 / 132	20,49	7,976	1000	2500
Bosque dos Buritis	23,28	24,358	800	3000

1 - D<sub>ex</sub> - diâmetro existente;

2 - D<sub>calc</sub> - diâmetro calculado.

## 6. CONCLUSÕES

Deve-se ressaltar que não somente adaptações são pertinentes à área de estudo, mas também a adoção de técnicas compensatórias como as bacias e reservatórios de retenção com a função de reduzir o pico da vazão e de certa forma aumentar a capacidade de transporte das galerias de águas pluviais ao reduzir em um período de tempo o volume a ser escoado.

Ao se estabelecer a seção circular como o tipo de seção padrão no dimensionamento das galerias de águas pluviais, teve-se como objetivo facilitar a comparação dos diâmetros existentes e dos calculados quanto à ordem de grandeza. Para trechos com diâmetros superiores a 2000mm, recomenda-se, então, a utilização de seções retangulares ou quadradas e também a possibilidade de galerias paralelas. Em trechos onde foram necessárias alterações da profundidade da geratriz inferior da galeria, notou-se a não observância do limite máximo estabelecido de 4,0m para a profundidade, ressaltando-se a adoção de outro tipo de seção como citado anteriormente.

Com o dimensionamento realizado, verificou-se a discrepância entre os diâmetros obtidos neste trabalho e os constantes das galerias de águas pluviais na região de estudo, evidenciando que os implantados encontram-se bem aquém dos necessários.

Recomenda-se para que sejam implantadas, o mais breve possível, técnicas para diminuição do pico de vazão, notadamente microrreservatórios para controle de cheia em nível de lote.

## 7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido como parte da dissertação de mestrado em Engenharia do Meio Ambiente na Universidade Federal de Goiás. Agradeço ao CNPq pela bolsa referente ao projeto CT-Hidro/Edital 14/2005 que subsidiou toda a pesquisa. Ficam registrados o apoio da Prefeitura Municipal de Goiânia (PMG) por meio do Departamento de Estradas de Rodagem e Companhia de Pavimentação (DERMU/COMPAV) que forneceu os dados possibilitando a realização deste trabalho.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO NETTO, J. M; VILLELA, S. M. **Manual de hidráulica**. 5. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1969.

CENSO DEMOGRÁFICO 2010. **Características da população e dos domicílios: Resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

COMDATA: imagem de satélite. QUICKBIRD UTM 22, SAD69 (sem escala). Goiânia. 2002.

DEBO, T. N; REESE, A. J. **Municipal stormwater management**. 2. ed. Boca Raton, Flórida: Lewis Publishers, 2003.

FESTI, A. V. **Equações de chuva brasileira**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais, João Pessoa, Paraíba, 20p, 2005.

LONGO, M. **O desafio dos alagamentos em Goiânia**. O Popular, Goiânia, 19 mar. 2006. Cidades, p. 3.

MENEZES FILHO, F. C. M. **Sistematização para projeto de galerias de águas pluviais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2007. 167p.

PMG – PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA. **Drenagem Pluvial Urbana: Memorial Justificativo**. Anexo IV. Goiânia, 2005. 11p.

SAATÇI, A. **Velocity and depth of flow calculations in partially filled pipes**. ASCE Journal of Environmental Engineering, vol. 116, n. 6, p.1202-1208, nov/dec. 1990.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia ciência e aplicação**. 3 ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS/ABRH, 2004. 943p.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Ed. McGraw Hill do Brasil, 1975.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 477p.