UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

KELVYN SILVA DE FARIAS

ANÁLISE QUANTITATIVA DE MACRODRENAGEM URBANA: AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ESCOAMENTO DE UM CANAL NO MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA-AL.

Delmiro Gouveia
2017

KELVYN SILVA DE FARIAS

ANÁLISE QUANTITATIVA DE MACRODRENAGEM URBANA: AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ESCOAMENTO DE UM CANAL NO MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA-AL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Alberto da Silva Pereira

Delmiro Gouveia

2017

Catalogação na fonte

Universidade Federal de Alagoas

Biblioteca do Campus Sertão

Unidade Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Larissa Carla dos Prazeres Leobino

F224a Farias, Kelvyn Silva de

Análise quantitativa de macrodrenagem urbana : avaliação da capacidade de escoamento de um canal no município de Delmiro Gouveia-Al / Kelvyn Silva de Farias. – 2017.
60 f. : il.

Orientação: Prof. Dr. Thiago Alberto da Silva Pereira.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2017.

1. Engenharia civil. 2. Macrodrenagem. 3. Drenagem urbana. I. Título.

CDU: 627.532

Folha de Aprovação

AUTOR: KELVYN SILVA DE FARIAS

Análise quantitativa de macrodrenagem urbana: avaliação da capacidade de escoamento de um canal no município de Delmiro Gouveia-AL.

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, em 06 de dezembro de 2017.

(Prof. Dr. Thiago Alberto da Silva Pereira) (Orientador)

Banca Examinadora:

José Raniery Rodrigues Cirne

(Professor Msc. José Raniery Rodrigues Cirne) (Examinador Interno)

Antonio Netto

(Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto) (Examinador Interno)

(Prof. Dr. Thiago Alberto da Silva Pereira) (Examinador Interno)

Ao meu avô João Vieira dos Santos (in memoriam), pelos vários conselhos e ensinamentos, pautando as conquistas da vida através do trabalho com muito esforço, humildade, honestidade e respeito ao próximo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por abençoar a minha vida com muita saúde e sabedoria, aos meus pais Heleno dos Santos de Farias e Maria Aparecida Silva de Farias e a minha irmã Maria Carine Silva de Farias por me incentivarem de todas as formas possíveis para que eu pudesse concretizar este sonho de ser Engenheiro Civil. Pelo desenvolvimento e finalização deste trabalho de conclusão de curso, os agradecimentos vão para o meu professor e orientados Thiago Alberto da Silva Pereira, para a minha amiga Ana Karolayne de Brito Andrade e ao meu amigo Israel Silva Lemos.

Não poderia deixar de citar a importante participação de pessoas que, ao longo desses 5 anos de graduação, contribuíram bastante em minha vida acadêmica e pessoal, começando pelos amigos(as) de republica: Augusto César, Emerson Lira, Everton Tavares, Ewerthon Correa, Faubiana Acioli, Gustavo Henrique, Jaime Vinícius, Kewerson Pimentel e Matheus Barros; e aos caros colegas de classe: Carlos Sérgio, Daone Silva, Francielly Soares, Luana Menezes, Lucas Teixeira, Preysla Savana, Renata Cavalcante, Rômulo Montalvão, Wellington Cícero e demais que, por hora me fogem da mente. Ao meu companheiro de trabalho e amigo Engº Rodrigo Soares de Almeida pela forte contribuição acerca de conhecimentos profissionais em meu período de estágio obrigatório e não-obrigatório.

Aos meus professores da Universidade Federal de Alagoas, campus do sertão, minha eterna gratidão, respeito e admiração, pois eles foram os responsáveis por repassarem todo o conhecimento adquirido por mim ao longo do curso, não podendo deixar de mencionar personalidades como: Agnaldo Jose dos Santos, Alexandre Nascimento de Lima, Antônio Pedro de Oliveira Netto, Cícero Rita da Silva, Karlisson André Nunes da Silva, Marcelo Felisberto de Lima, Marcio André Araújo Cavalcante, Rafaela Faciola Coelho de Souza, Romildo Escarpini Filho, Viviane Regina Costa, e outros professores que estão, ou marcaram passagem na referida instituição de ensino.

RESUMO

Algumas cidades brasileiras, em especial as do Nordeste, enfrentam situações precárias no que diz respeito a quantidade e qualidade de sistemas de drenagem urbana. Tal problemática despertou o interesse em avaliar um sistema de macrodrenagem localizado na cidade de Delmiro Gouveia no sertão alagoano, com objetivo de verificar a sua funcionalidade no que diz respeito ao transporte das águas de chuva. O sistema aqui avaliado, desenvolve-se num talvegue, onde o trecho que corta a cidade recebeu obras de melhoramento, transformando-o em um canal de seção retangular com fundo em concreto e paredes de pedra argamassada. O reconhecimento do objeto de estudo iniciou-se com uma visita de campo, onde foram colhidas informações como georreferenciamento de pontos em sua extensão, dimensões da seção do canal, avaliação da integridade física de seus materiais construtivos e alguns depoimentos de moradores das proximidades a respeito do comportamento do canal em tempos de chuva. Para obter a área de drenagem da bacia, recorreu-se a tecnologia SIG, possibilitando a sua delimitação automática através do Softwares TERRAHIDRO. Posteriormente avaliou-se o regime de precipitação da região através de uma série histórica, gerando parâmetros para o emprego de um modelo hidrológico baseado na teoria do hidrograma unitário, e assim estimando a quantidade de chuva na bacia. Na determinação do escoamento superficial, empregou-se o modelo chuva-vazão pelo método SCS, estimando-se as vazões nos tempos de retorno de 25 a 100 anos, recomendados para projetos de sistemas de macrodrenagem urbana. determinou-se a capacidade de escoamento do canal através da equação de Manning, comparando-a com as vazões do escoamento superficial, afim de verificar o saldo hídrico nos trechos de interesse. Mediante a aplicação dos métodos, os resultados revelaram trechos de canal subdimensionados, assim explicando a causa de alguns transbordamentos nessas regiões, e ainda alertando que no futuro este problema tende a se agravar com o aumento da impermeabilização do solo de regiões em processo de urbanização a montante, a qual depende do mesmo curso d’água como dispositivo de drenagem.

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento superficial; Drenagem urbana; Macrodrenagem; Modelos hidrológicos; Método SCS; Capacidade de escoamento.

ABSTRACT

Some Brazilian cities, especially in the Northeast, face precarious situations regarding the quantity and quality of urban drainage systems. This problem raised the interest in evaluating a macrodrainage system located in the city of Delmiro Gouveia in the backlands of the state of Alagoas, in order to verify its functionality in relation to the transportation of rainwater. The system evaluated here, is developed in a talvegue, where the section that cuts the city received works of improvement, transforming it into a channel of rectangular section with bottom in concrete and walls of mortar stone. The recognition of the object of study began with a field visit, where information was collected such as georeferencing of points in its extension, channel section dimensions, physical integrity evaluation of its construction materials and some testimonials from nearby residents about it of channel behavior in rainy times. To obtain the drainage area of the basin, we used GIS technology, allowing its automatic delimitation through the TERRAHIDRO Softwares. Subsequently, the precipitation regime of the region was evaluated through a historical series, generating parameters for the use of a hydrological model based on the unit hydrograph theory, and thus estimating the amount of rainfall in the basin. In the determination of the surface runoff, the rain-flow model was used by the SCS method, estimating the flow rates in the return times of 25 to 100 years, recommended for projects of urban macrodrainage systems. the runoff capacity of the channel was determined through the Manning equation, comparing it with the flows of the runoff, in order to verify the water balance in the stretches of interest. Through the application of the methods, the results revealed undesized channel stretches, thus explaining the cause of some floods in these regions, and also warning that in the future this problem tends to aggravate with the increase of the waterproofing of the soil of regions in the process of urbanization. which depends on the same watercourse as a drainage device.

KEYWORDS: Surface runoff; Urban drainage; Macrodrainage; Hydrological models; SCS method. Flowability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hidrograma unitário triangular....16
Figura 2 - Convolução dos hidrogramas 17
Figura 3 - Classificação hidrológica dos solos brasileiros 19
Figura 4 - Terminologia em sistemas de microdrenagem urbana 22
Figura 5 - Configuração dos elementos de drenagem 22
Figura 6 - Corte transversal de elementos da microdrenagem....23
Figura 7: Canal na cidade de Sertãozinho -SP. 24
Figura 8 - Elementos geométricos de um canal 25
Figura 9 - Localização de Delmiro Gouveia na Bacia do Maxixe 27
Figura 10 - Região Hidrográfica do Talhado....28
Figura 11 - Lançamento de esgoto domiciliar....29
Figura 12 - Canal com presença de animal e vegetação 30
Figura 13 - Edificação sobreposta ao canal 30
Figura 14 - Elemento de travessia improvisada sobre o canal....31
Figura 15 - Fluxograma metodológico....32
Figura 16 - Equipamentos de medição....33
Figura 17 - Delimitação da área de drenagem 45
Figura 18 - Pontos ao longo do curso d'água....46
Figura 19 - Divisão das sub-bacias 47
Figura 20 - Loteamento na sub-bacia 1....48
Figura 21 - Uso, ocupação e CN para a situação 1....49
Figura 22 - Uso, ocupação e CN para a situação 2....50
Figura 23 - Hidrograma de cheia para a sub-bacia 5 52
Figura 24 - Comparativo entre vazão e capacidade de escoamento para a situação 1 56
Figura 25 - Comparativo entre vazão e capacidade de escoamento para a situação 2 57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxas de infiltração 19
Tabela 2 - Tempos de retorno para microdrenagem 23
Tabela 3 - Relações da curva i-d-f da cidade de Maceió. 35
Tabela 4 - Valores de CN para bacias urbanas.....39
Tabela 5 - Coeficientes de rugosidade de Manning. 42
Tabela 6 - Precipitações máximas para a bacia.....44
Tabela 7 - Pontos e natureza dos materiais ao longo do canal.....46
Tabela 8 - Áreas das sub-bacias.....47
Tabela 9 - Classificação de CN na bacia. 48
Tabela 10 - Usos, ocupação e CN para a situação 1 49
Tabela 11 - Uso, ocupação e CN para a situação 2. 50
Tabela 12 - Capacidade de armazenamento da camada superior do solo para as situações 1 e 2 51
Tabela 13 - Tempo de concentração para cada sub-bacia 51
Tabela 14 - Duração, Tempo de Pico, Tempo de Base e Vazão de Pico para cada sub-bacia.....52
Tabela 15 - Vazão de projeto para as sub-bacias na situação 1.....53
Tabela 16 - Vazões de projeto paras as sub-bacias na situação 2 53
Tabela 17 - Parâmetros geométricos do canal.....53
Tabela 18 - Capacidade de escoamento em função da rugosidade 54
Tabela 19 - Saldo Hídrico para a situação 1 55
Tabela 20 - Saldo Hídrico para a situação 2 56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

2 OBJETIVOS 13
2.1 OBJETIVO GERAL 13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13

3 REFERENCIAL TEÓRICO 14
3.1 HIDROLOGIA URBANA 14
3.1.1 Chuvas intensas 14
3.1.2 Modelos hidrológicos 15
3.1.3 Método SCS 17
3.2 DRENAGEM URBANA. 20
3.2.1 Microdrenagem 21
3.2.2 Macrodrenagem 24
3.2.3 Hidráulica de canais 25

4 ÁREA DE ESTUDO 27

5 METODOLOGIA 32
5.1 ATIVIDADE DE CAMPO 32
5.2 DETERMINAÇÃO DAS CHUVAS 33
5.3 TRANSFERÊNCIA CHUVA-VAZÃO 35
5.4 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM. 37
5.5 ESCOAMENTO SUPERFICIAL 38
5.6 CAPACIDADE DE ESCOAMENTO 40
5.7 VERIFICAÇÃO 42

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES 44
6.1 CHUVAS INTENSAS 44
6.2 ÁREA DE DRENAGEM 44
6.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL 47
6.4 CAPACIDADE DE ESCOAMENTO 53
6.5 VERIFICAÇÃO 55

7 CONCLUSÕES 58

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59

1 INTRODUÇÃO

Construções relacionadas a drenagem urbana datam desde o século XX a.C, evidenciando a necessidade dos povos em desenvolver sistemas que ajudassem a direcionar ou aproveitar as águas conforme suas necessidades. Nos dias atuais, a drenagem urbana faz parte das obras de infraestrutura essenciais para o funcionamento das cidades, e é composta basicamente por dois subsistemas conhecidos por microdrenagem urbana e macrodrenagem urbana (MARTINS et al, 2010).

Os sistemas de micro e macrodrenagem drenagem urbana trabalham em conjunto para proporcionar o escoamento das águas das chuvas provenientes do escoamento superficial, sendo que o sistema de microdrenagem, também denominado como sistema inicial, é constituído por alguns elementos básicos que atuam da seguinte forma: a coleta superficial das águas da chuva acontece por meio de telhados, ruas e sarjetas, que em seguida são transportadas por meio de tubos e galerias até um interceptor adequado. Já o sistema de macrodrenagem urbana, recebe as contribuições do sistema de microdrenagem, bem como o escoamento superficial direto produzido pelas áreas adjacentes, e os encaminham para os corpos receptores. De um modo geral, esses dois sistemas trabalham em conjunto na prevenção de enchentes, minimizando a possibilidade de ocorrência de perdas e transtornos para a sociedade (TOMAZ, 2013).

Várias cidades brasileiras experimentam um crescimento urbano desordenado e sem planejamento em infraestrutura, principalmente quanto a implantação de sistema de drenagem urbana. De acordo com IBGE (2008), 74,8% dos municípios brasileiros com até 20 mil habitantes possuem redes de drenagem, e que as maiores deficiências nesse tipo de serviço são enfrentadas pelos municípios com porte populacional inferiores a 45 mil habitantes, cenário este atribuído principalmente pela falta de recursos financeiros disponibilizados e por razões técnicas como: clima, geologia e topografia; como é o caso de algumas regiões do nordeste do Brasil.

Não bastando a ineficiência ou até mesmo a inexistência de sistemas de drenagem urbana, a falta de sistemas de coleta e tratamento de esgoto somam mais

um problema grave, visto que o lançamento irresponsável de esgoto sanitário em sistemas de drenagem pluvial é uma realidade de muitas cidades de países em desenvolvimento, onde grande parte das cidades do nordeste brasileiro sofrem com este tipo de situação, acometendo a população não só a problemas de enchentes, como também a problemas sérios de saúde pública. (TUCCI, 2012)

Frente a tantas limitações e precariedades de sistemas de drenagem urbana enfrentadas por cidades de algumas regiões do Brasil, desenvolveu-se uma análise quantitativa de um canal que compõe o sistema de macrodrenagem em uma bacia urbanizada na cidade de Delmiro Gouveia no estado de Alagoas, afim de avaliar se o mesmo está dimensionado para escoar toda a vazão de água da chuva produzida pelo escoamento superficial de sua área de drenagem.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho propõe uma avaliação quantitativa de um sistema de macrodrenagem urbana, verificando a capacidade de escoamento de um canal localizado no município de Delmiro Gouveia - Alagoas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a capacidade de escoamento do canal para a situação de impermeabilização atual da bacia;
- Analisar a capacidade de escoamento do canal para um aumento da área impermeabilizada da bacia;
- Analisar a capacidade de escoamento do canal considerando que o mesmo seja submetido a uma manutenção periódica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 HIDROLOGIA URBANA

De acordo com Martins *et al.* (2010), a hidrologia urbana é o ramo da hidrologia voltado ao estudo dos impactos do desenvolvimento urbano sobre o ciclo da água, dando ênfase, na maioria das vezes, a análise do escoamento superficial, visando minimizar e prevenir os fenômenos catastróficos por este gerados.

O monitoramento de uma bacia hidrográfica urbana depende de dados confiáveis de chuvas e características físicas da bacia, o que permitirá implementar com segurança, um modelo hidrológico que simule o comportamento da bacia mais próximo da realidade (MARTINS et al, 2010).

3.1.1 Chuvas intensas

O monitoramento das chuvas é fundamental para a compreensão do regime de precipitação em bacias hidrográficas, principalmente nas urbanizadas, no entanto, a disponibilidade de postos hidrométricos (fluviométricos e pluviométricos), no Brasil, encontra-se bastante defasada com uma distribuição média de 1 posto a cada 4000 km², sendo que a maioria destes estão próximos aos grandes cursos d'aguas devido a prioridade do governo na produção de energia hidroelétrica, ao passo que em Israel, essa distribuição de postos hidrométricos é de 1 a cada 200km², situação lamentável para cidades brasileiras, pois a riqueza de dados hidrológicos contribui de forma eficiente para a qualidade no planejamento, seja para o aproveitamento dos recursos hídricos, concepção de obras hidráulicas e gerenciamento de áreas de risco (TOMAZ, 2013).

Tais dados são disponibilizados na forma de séries históricas, onde a quantidade e a qualidade desses dados dependem da disponibilidade de postos hidrométricos presentes na bacia, tendo em vista que, quando esses dados são insuficientes, recorre-se a análises probabilísticas, através de equações empíricas para suprir esta falta de informação, onde para este fim, pode-se aplicar o método de Bell (1969) para a determinação dos parâmetros: intensidade, duração e frequência; ou utilizar o método das relações de duração, baseando-se na hipótese de que as curvas geradas pelas precipitações para diferentes durações, tendem a se tornarem paralelas entre si (TUCCI, 2012).

É de grande interesse a determinação das precipitações máximas, pois é através desta que se torna possível calcular precipitações de durações ainda menores, para tanto, tal procedimento conta com técnicas de distribuição probabilística como a de Pearson, Weibull, Log-Normal e Gumbel, sendo a última, bastante utilizada para este fim, no entanto, para a determinação de chuvas máximas horárias, esse trabalho pode ser poupado pelo projetista se a região analisada dispor de uma curva i-d-f, a qual relaciona intensidade, duração e frequência das tormentas de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2012).

3.1.2 Modelos hidrológicos

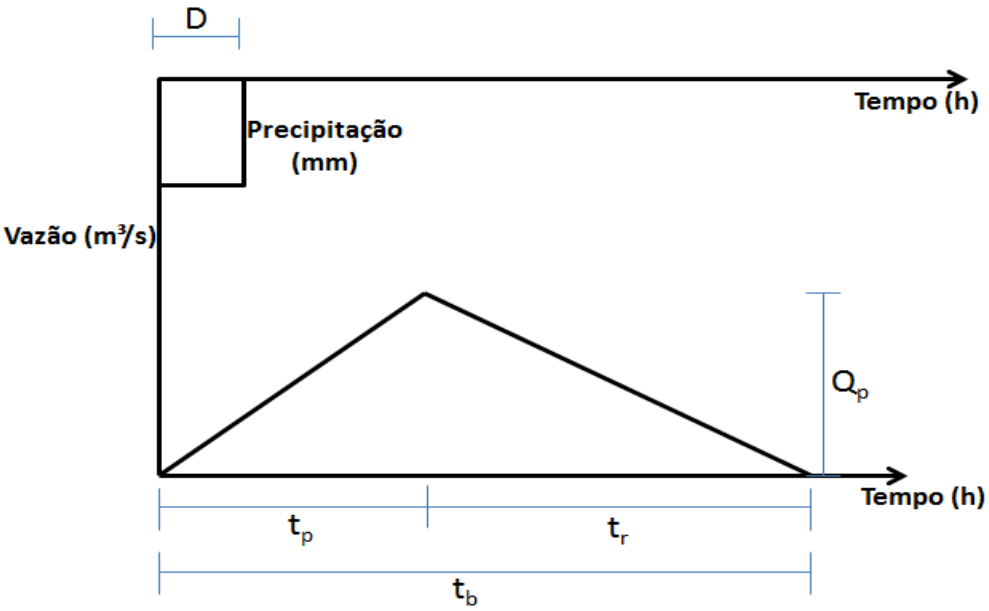
De modo geral, modelos hidrológicos são modelos matemáticos que visam representar de forma simplificada os vários fenômenos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, e em bacias hidrográficas urbanas, são tipicamente empregados na transformação de chuva em vazão, onde a parcela da chuva que se transforma em escoamento superficial é de grande interesse para o seu planejamento, que nesse contexto, o clássico método racional e os métodos baseados na teoria do hidrograma unitário são abordagens de uso consagrado em hidrologia urbana (TUCCI, 2005).

Segundo Tomaz (2013), o hidrograma unitário é um gráfico que representa a resposta de uma bacia hidrográfica submetida a uma vazão de volume unitário em um determinado tempo. As hipóteses básicas que possibilitam a correta aplicação do hidrograma unitário, segundo Tomaz (2013, p.3) *apud* Drenagem Urbana, 1986, p.142 e Mccuen (1988), são:

> a) A intensidade da chuva efetiva é constante durante a tormenta que produz o hidrograma unitário;
> b) A chuva efetiva é uniformemente distribuída em toda área de drenagem da bacia;
> c) O tempo base ou tempo de duração do hidrograma do deflúvio superficial direto devido a uma chuva efetiva de duração unitária é constante;
> d) Os efeitos de todas as características de uma dada bacia de drenagem, incluindo forma, declividade, detenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de escoamento do canal, etc. são refletidos do hidrograma unitário da bacia.

É possível estimar o hidrograma unitário por meio de dois métodos: pela análise de dados de precipitação e vazão ou pela utilização de formulas empíricas; sendo o último método o mais utilizado, principalmente pela inexistência ou má qualidade de dados de precipitação e vazão disponíveis para o primeiro método. Segundo SMDU (2012), é possível construir um diagrama unitário triangular por meio dessas equações (utilizadas nesse trabalho), conforme modelo ilustrado na figura 1, podendo-se verificar que o tempo de base (t_b) corresponde a duração do escoamento superficial, o tempo de pico (t_P) é a distância da origem até o ponto de inflexão, no qual acontece a vazão de pico (Qp).

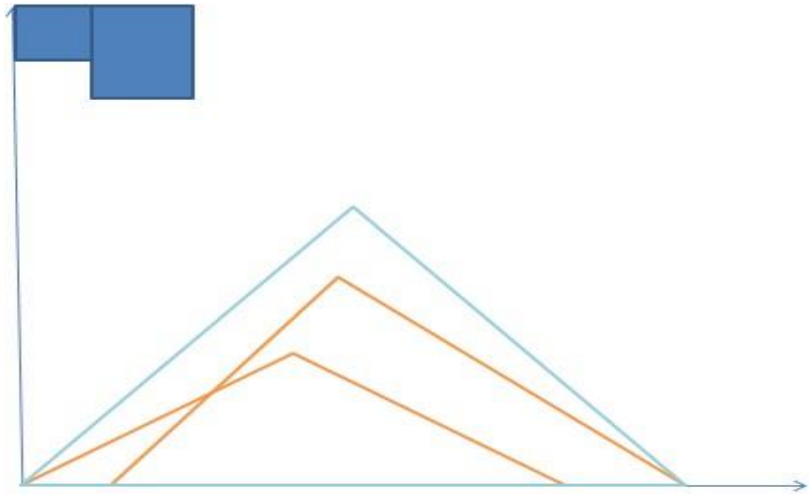
Figura 1 - Hidrograma unitário triangular



Fonte**: CARDOSO, 2014**

Uma vez obtidos os hidrogramas unitários, é necessária fazer uma operação conhecida por convolução, que é a composição linear dos diversos hidrogramas unitário defasados, onde uma vez executada a convolução, obtém-se a vazão de projeto e um hidrograma conforme mostrado no modelo da figura 2 (TOMAZ, 2012).

Figura 2 - Convolução dos hidrogramas



Fonte: CARDOSO, 2014

3.1.3 Método SCS

O método SCS é um modelo chuva-vazão desenvolvido pelo Soil Conservation Service - atual National Resources Conservation Service (NRCS) - do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), aplicado inicialmente para determinar o runoff (escoamento superficial) em bacias rurais, tornou-se popular ao longo dos anos pela facilidade de uso e resultados satisfatórios, e atualmente é utilizado também na modelagem de bacias urbanas com áreas contidas no intervalo de 2 km² a 5.000 km² (TOMAZ, 2013).

Esse método consiste em determinar a chuva efetiva (parcela da água que escoa exclusivamente pela superfície e chega até o curso d'água), transformando-a em vazão, fazendo uso dos conceitos básicos do parâmetro CN (Curve Number), separação do escoamento, hidrograma unitário e convolução (TOMAZ, 2013).

O parâmetro CN (Curve Number) ou número da curva, busca representar as características de uma bacia segundo o uso e o tipo do solo, sendo o uso, uma característica relacionada a cobertura encontrada na superfície da bacia, e o tipo, diz respeito a capacidade de infiltração do mesmo, e uma vez definidos tais parâmetros, relacionam-se a valores numéricos fornecidos pelo método que vão de 0 a 100, ao passo que, quanto mais o solo for impermeável, maior será o valor de CN (TOMAZ, 2013).

Quanto ao tipo do solo, o método SCS atribui a essa capacidade uma classificação hidrológica organizada por quatro grupos, como é apresentado por (TUCCI, 2012 p.404):

> Solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração, solos arenosos profundos com pouco silte e argila;
> Solo B: solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média;
> Solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo;
> Solo D: solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção d e escoamento superficial.

Segundo Sartori (2014), embora o método SCS ofereça muitas vantagens, a sua aplicação no Brasil torna-se delicada devido a limitação na estimativa do parâmetro CN (Número da Curva), pois as características dos solos norte-americanos fornecidas pelo método, são diferentes das do solo brasileiro, tendo como consequência, uma vazão de pico superestimada de 30 a 40%, quando comparada com outros métodos, e para contornar essa divergência no tipo de solo, Sartori (2014) traz alguns tipos de solos brasileiros que contemplam as características de solos proposta pelo método SCS, definidas na figura 3.

Figura 3 - Classificação hidrológica dos solos brasileiros

Grupo hidrológico A: LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macro porosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.
Grupo hidrológico B: LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
Grupo hidrológico C: ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (LATOSSÓLICO); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.
Grupo hidrológico D: NEOSSOLOLITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no grupo c; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Fonte: SARTORI, 2014

Vale salientar que os solos citados na figura 3, são baseados em solos numa situação de umidade média, tornando-os passíveis de correção caso o solo seja submetido a algum evento hidrológico, que na ocasião, o método SCS contempla ao menos três situações distintas organizadas em classes, sendo elas: AMCI, AMCII e AMCIII, que significam, respectivamente, solos com umidade abaixo da média, solos na umidade média e solos com umidade acima da média (SARTORI, 2014).

Na tabela 1 pode ser visualizada as taxas mínimas de infiltração de acordo com cada grupo hidrológico de solo. (TUCCI, 2012).

Tabela 1 - Taxas de infiltração

Tipo de solo	Taxa de infiltração (T_i)
Grupo A	T_i > 7,62 mm/h
Grupo B	3,81-7,62 mm/h
Grupo C	1,27-3,81 mm/h
Grupo D	T_i < 1,27 mm/h

Fonte: TUCCI. 2012

3.2 DRENAGEM URBANA.

A drenagem urbana envolve geralmente o estudo de cursos d'água de pequeno e médio porte presentes no meio urbano, analisando se estes necessitam de melhoramentos ou de obras hidráulicas que visão livrar a população dos transtornos e prejuízos gerados pelas chuvas intensas, convertidas em escoamento superficiais, que desenvolvem grandes vazões devido a crescente impermeabilização do solo, provocada pelo constante processo de urbanização (MARQUES et al. 2013).

Existem sistemas de drenagem configurados para receberem simultaneamente, contribuições de águas pluviais, esgotos domésticos e afluentes industriais. Tsutiya e Sobrinho (2011, p.3), enfatiza três possíveis configurações presentes na infraestrutura urbana, são eles:

> a) Sistema esgotamento unitário, ou sistema combinado, em que as águas residuárias (domesticas e industriais), águas de infiltração (água de subsolo que penetram no sistema através de tubulações e órgãos acessórios) e águas pluviais veiculam por um único sistema.
> b) Sistema de esgotamento separador parcial, em que uma parcela das águas de chuva, provenientes de telhados e pátios das economias são encaminhados juntamente com as águas residuárias e águas de infiltração do subsolo para um único sistema de coleta e transporte de esgoto.
> c) Sistema separador absoluto, em que as águas residuárias (domesticas e industriais) e as águas de infiltração (água de subsolo que penetram no sistema através de tubulações e órgãos acessórios), que constituem o esgoto sanitário, veiculam em um sistema independente, denominado sistema de esgoto sanitário. As águas pluviais são coletadas e transportadas em um sistema de drenagem pluvial totalmente independente.

O sistema de esgotamento unitário foi implantado em cidades importantes como: Paris (1880), Boston (1833) e Rio de Janeiro (1857); obtendo bom desempenho nas duas primeiras cidades, que estão situadas em regiões frias e subtropicais com baixo índice de pluviosidade, já no Rio de Janeiro, esse sistema foi posteriormente substituído pelo sistema separador parcial, devido os grandes volumes de água gerados pelas fortes chuvas características de climas tropicais como o que acontece no Brasil (TSUTIYA; SOBRINHO, 2011).

Atualmente no Brasil, utiliza-se o sistema separador absoluto, devido ao clima tropical predominante no país que tem como características um alto índice pluviométrico, inviabilizando economicamente, a implantação do sistema unitário, que para esse cenário, demandaria grandes dimensões para tubulações, galerias e estações de tratamento de esgoto (TSUTIYA; SOBRINHO, 2011).

Afluentes de esgoto sanitário sendo lançado de forma irresponsável nas redes de micro e macrodrenagem pluvial, é uma realidade de muitas cidades brasileiras e em cidades de outros países em desenvolvimento, situação que pode ser atribuída a deficiência de investimentos do governo em obras de sistemas de esgotamento sanitário, desencadeando sérios problemas, visto que o escoamento dessas redes converge para os rios urbanos e o sistema fluvial a jusante, gerando impactos na qualidade da água, e acometendo a população a doenças de veiculação hídrica (TUCCI, 2012).

O sistema de drenagem é dividido em dois subsistemas conhecidos como sistema inicial ou microdrenagem, e macrodrenagem, que atuam em conjunto para conduzir o escoamento das águas das chuvas nos espaços urbanos.

3.2.1 Microdrenagem

Segundo Tomaz (2012), microdrenagem é um tema difícil de se definir, pois não há nenhuma norma da ABNT ou um consenso entre os especialistas a respeito deste assunto, mas, podendo assim dizer, que tal sistema é constitui pelo sistema viário, condutos pluviais e seus órgãos acessórios, no entanto, serão apresentados a seguir algumas terminologias e suas funcionalidades, usuais em projetos de microdrenagem (figura 4).

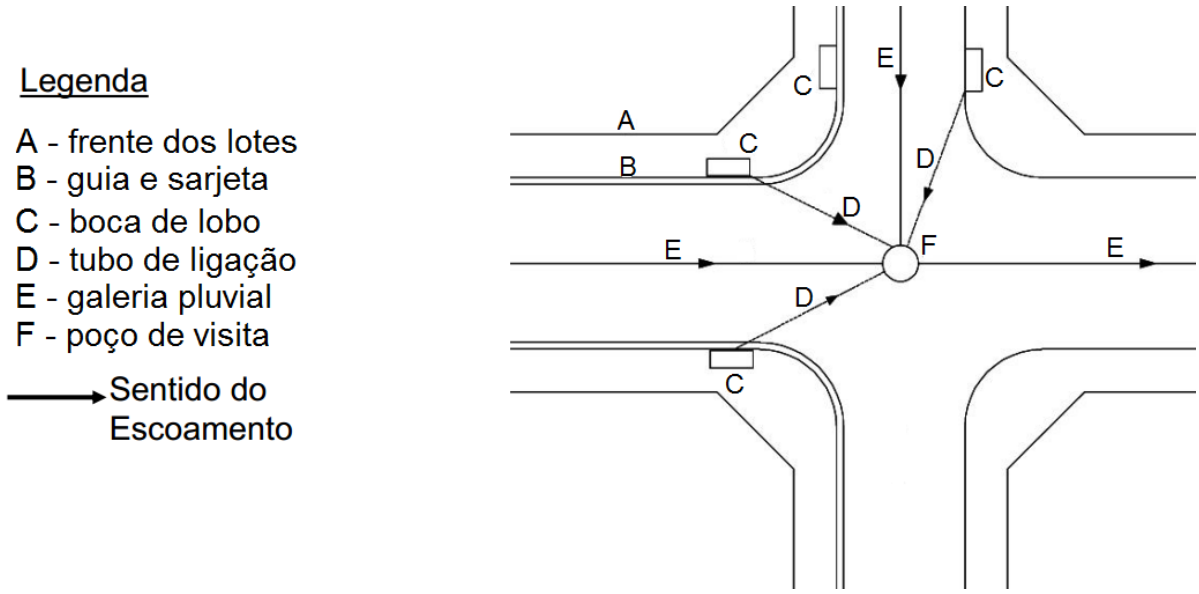
Figura 4 - Terminologia em sistemas de microdrenagem urbana

Sarjeta: 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;
Guias ou 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;
Boca-de-lobo: Dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação das águas pluviais;
Tubos de ligação: São tubulações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para as galerias ou poços de visita;
Galerias: Canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas de lobo e das ligações privadas, entendendo-se por trecho, a parte da galeria compreendida entre dois poços de visita.
Poço de visita: Dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem mudanças de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro, inspeção e limpeza das canalizações

Fonte: Adaptado de TOMAZ, 2012

Basicamente, o funcionamento do sistema de microdrenagem inicia-se pela captação das chuvas por pavimentos e telhados, conduzindo as águas por meio de condutos e sarjetas até alcançar as bocas de lobo, onde por meio de tubos de ligação, lança essa vazão de água as galerias, as quais conduzirão este fluxo para corpos receptores como rios, canais ou galerias de grandes dimensões pertencentes ao sistema de macrodrenagem (RAMOS *et al*, 2012). A figura 5 mostra uma disposição usual desses elementos.

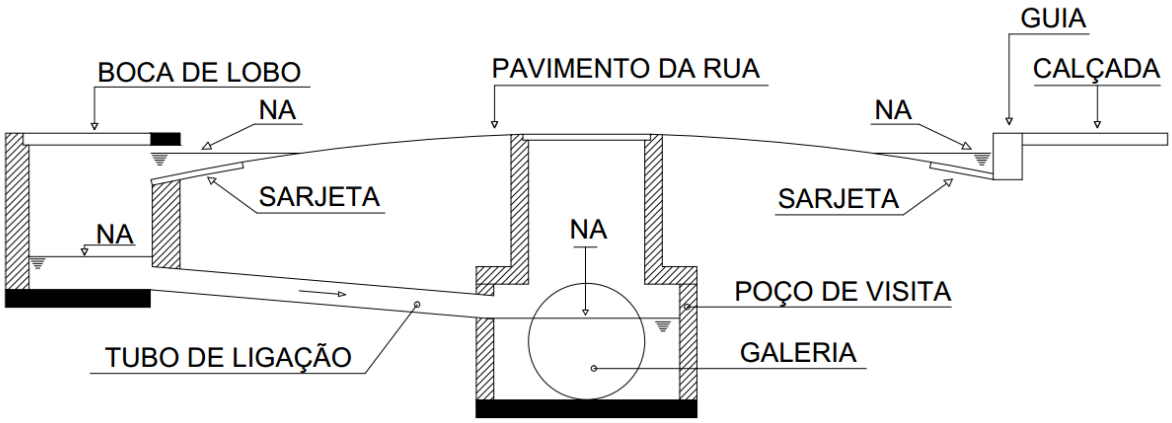
Figura 5 - Configuração dos elementos de drenagem



Fonte: Adaptado de RAMOS et al, 2012

Tomando a configuração da figura 3, pode-se reproduzir um corte transversal ao eixo longitudinal da via para obter uma melhor visualização da interação entre os diferentes elementos presentes num sistema típico de sistema de microdrenagem urbana, como mostra o esquema da figura 6.

Figura 6 - Corte transversal de elementos da microdrenagem



Fonte: Adaptado RAMOS et al, 2012

Para projetos de sistemas deste tipo, recomenda-se um período de retorno de 2 a 10 anos, sendo que pode variar em função da importância do empreendimento. Esses dispositivos são dimensionados considerando um período de retorno de 2 a 10 anos. (RAMOS et al, 2012)

Tabela 2 - Tempos de retorno para microdrenagem

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	Período de retorno
Microdrenagem	Residenciais	2
	Comerciais	5
	Áreas com edifícios de serviços públicos	5
	Aeroportos	2-5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10

Fonte: RAMOS et al, 2012

O bom funcionamento do sistema de microdrenagem depende essencialmente da execução cuidadosa das obras (pavimentos das ruas, guias e sarjetas, e galerias de águas pluviais, além de manutenção permanente, com limpeza e desobstrução das bocas de lobo e das galerias antes das épocas chuvosas.

3.2.2 Macrodrenagem

De modo geral a macrodrenagem urbana é um sistema que compreende um conjunto de ações destinadas a controlar cheias para evitar inundações e suas consequências, e para tal proposito, são essenciais os dispositivos de escoamento como cursos d'águas naturais: rios, riachos e demais redes de drenagens; ou artificiais como: canais e galerias de grandes dimensões nas mais variadas geometrias e traçados, onde ambos os sistemas são responsáveis por receber as águas vindas do sistema de microdrenagem e do escoamento superficial em seu entorno (RAMOS et al, 2012).

Segundo Tomaz (2013), em projetos de sistema de macrodrenagem urbana, a adoção de canais abertos é sempre uma solução que deve ser cogitada como primeira possibilidade, pois tal dispositivo apresenta várias vantagens como: facilidade de manutenção e limpeza, versatilidade como adoção de seções mistas, economia de investimentos e maior facilidade para ampliações futuras. A figura 7 mostra a imagem de um canal que compõe a primeira etapa da obra de macrodrenagem no córrego sul, entregue no dia 07 de dezembro de 2017, no município de Sertãozinho no interior do estado de São Paulo.

Figura 7: Canal na cidade de Sertãozinho -SP.

Fonte: g1.globo.com (2014)

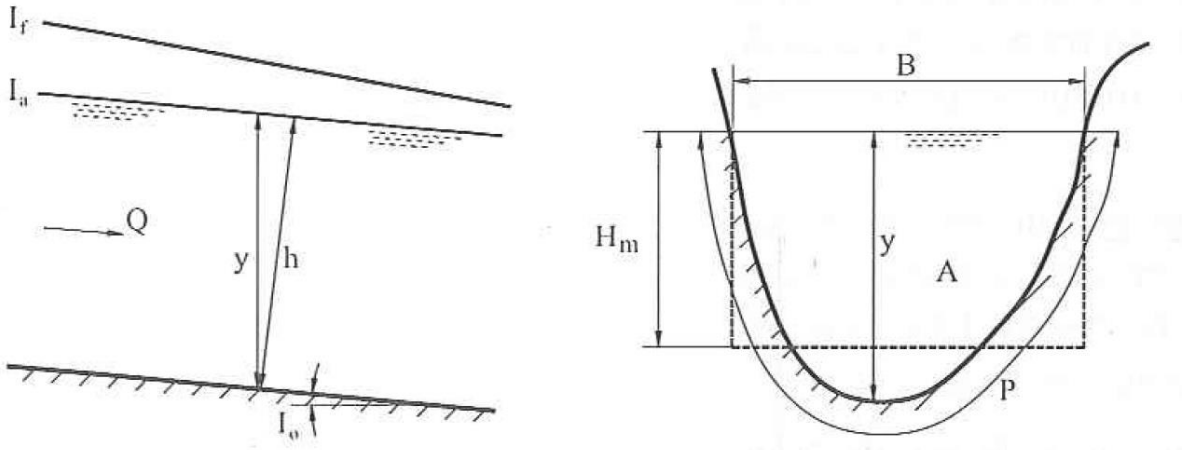
O dimensionamento desse tipo de sistema deve atender a um período de retorno entre 25 e 100 anos, pois seus dispositivos de drenagem devem ser dimensionados para suportar os grandes picos de vazão desenvolvidos nas cheias (RAMOS et al, 2012).

3.2.3 Hidráulica de canais

De acordo com Tomaz (2017), canal é um elemento hidráulico tomado como um conduto livre, no qual a pressão atmosférica atua diretamente na superfície do líquido, podendo ser ainda classificados como naturais, representado por canais existentes na natureza, ou artificiais, quando construídos pelo homem.

O dimensionamento de canais hidráulicos requer o conhecimento de vários parâmetros para prever o comportamento do mesmo, sendo os mais relevantes a determinação de vazões e velocidades de uma dada seção, e para determinar essas grandezas, as entidades geométricas são de fundamental importância, para tanto, (PORTO, 2006 p.222 a 223) propõe um diagrama de uma seção qualquer seguido dos significados de seus elementos:

Figura 8 - Elementos geométricos de um canal



Fonte: PORTO, 2006

a) Área molhada (A) é a área da seção reta, normal a direção do fluxo
b) Perímetro molhado (P) é o comprimento da parte da fronteira sólida da seção do canal (fundo e paredes) em contato com o liquido; a superfície livre não faz parte do perímetro molhado.
c) Raio hidráulico (R_h) é a relação entre a área molhada e o perímetro molhado.
d) Altura d'água ou tirante d'água (y) é a distância vertical do ponto mais baixo da seção do canal até a superfície livre.

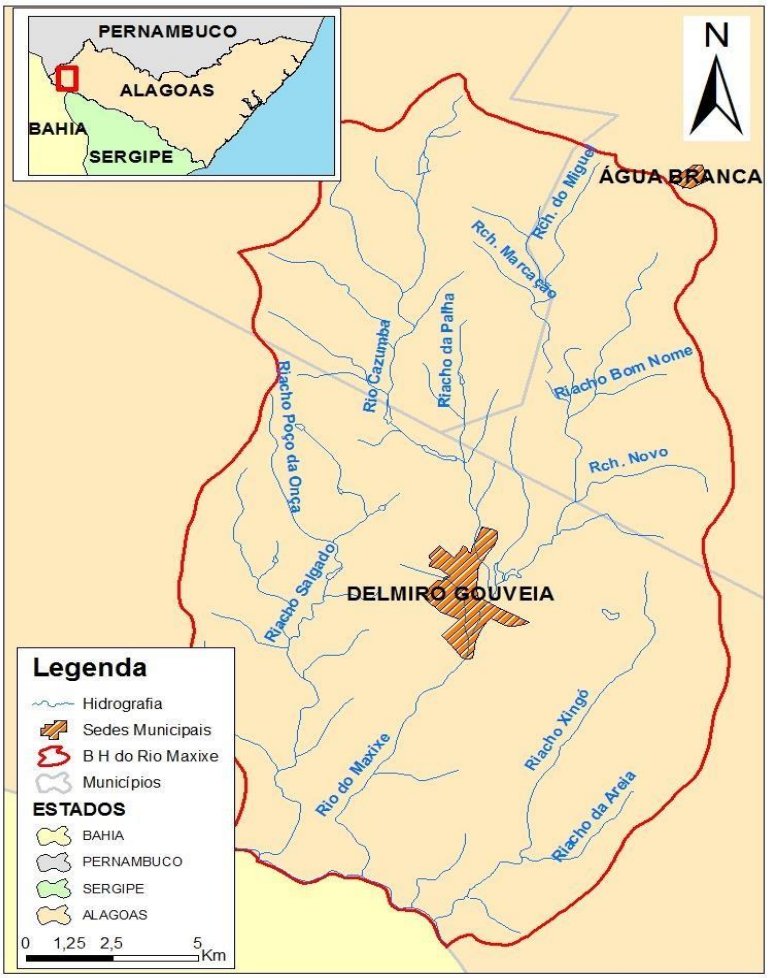
e) Altura de escoamento da seção (h) é a altura do escoamento medido perpendicularmente ao fundo do canal
f) Largura de topo (B) é a largura da seção do canal na superfície livre, função da forma geométrica da seção e da altura d'água.
g) Altura hidráulica ou altura media (H_m) é a relação entre a área molhada e a largura da seção da superfície livre. É a altura de um retângulo de área equivalente a área molhada.
h) Declividade de fundo (I_o) é a declividade longitudinal do canal. Em geral, as declividades dos canais são baixas, podendo ser expressas por $I_o = tg\alpha \approx sen\alpha$.

O emprego de canais abertos em sistemas de macrodrenagem urbana apresenta varias vantagens com relação a outras soluções, como já citado no item 3.2.2, e uma implicação positiva que ajuda bastante ao projetista, pode ser a liberdade na adoção de seções ao longo do traçado, e para produtividade com relação a execução da obra, o que garante projetos mais eficientes e econômicos.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área estudada encontra-se no município de Delmiro Gouveia, localizado na mesorregião do sertão do estado de Alagoas, possuindo divisas com os estados da Bahia, Sergipe e Pernambuco. Ocupando uma área territorial de 608,49 km², o município dista em torno de 300 km da capital alagoana, e possui uma população, segundo IBGE (2015), de aproximadamente 51.349 habitantes. O objeto de análise é representado por um canal, desenvolvido em um curso d'água efêmero de ordem 1 na área urbana da cidade de Delmiro, contribuinte do riacho da palha, que por sua vez, faz parte da Bacia Hidrográfica do rio do Maxixe (Figura 8).

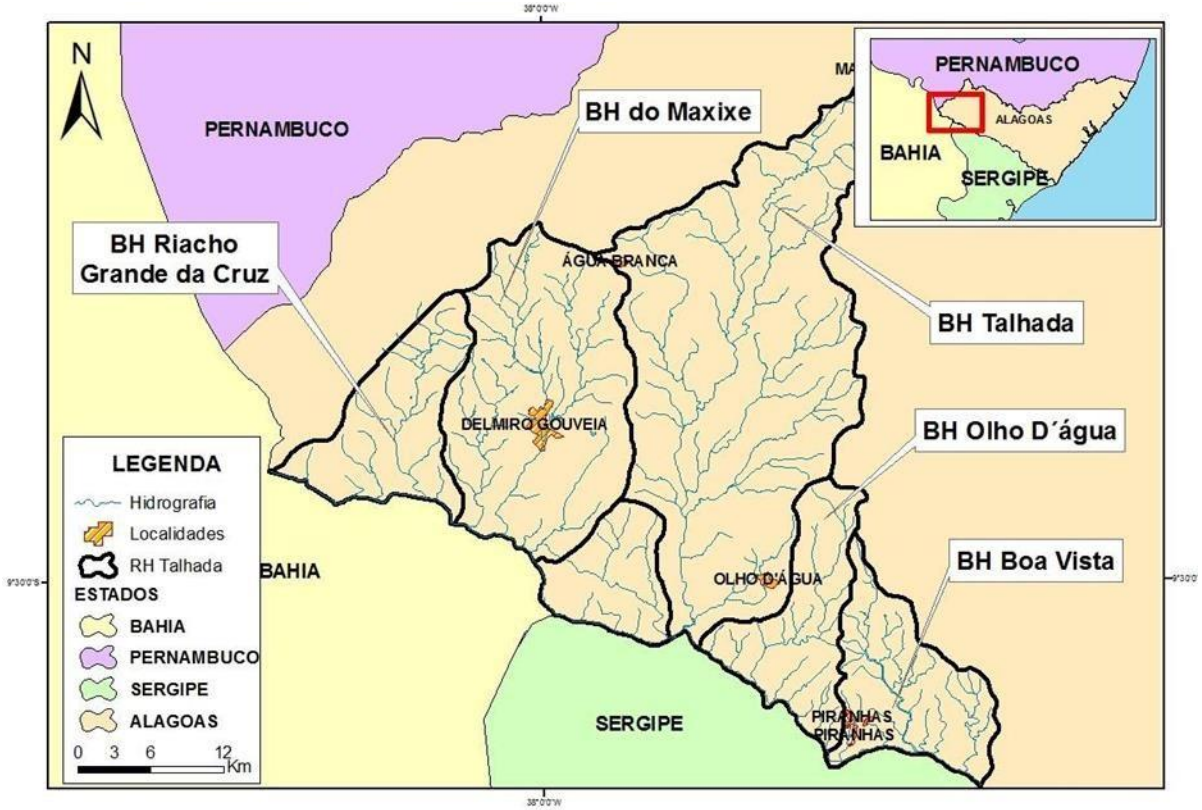
Figura 9 - Localização de Delmiro Gouveia na Bacia do Maxixe



Fonte: CARDOSO, 2014

A região da bacia hidrográfica do Maxixe está inserida na região hidrográfica do talhado, a qual possui como características, um clima semiárido, vegetação é a caatinga, e precipitação anual média de 700 mm. Análises feitas por Oliveira e Pereira (2015), apontam que a bacia do rio do maxixe apresenta uma tendência para a ocorrência de inundações, o que demanda uma maior atenção para estudos nessa área.

Figura 10 - Região Hidrográfica do Talhado



Fonte: CARDOSO, 2014

O canal, compõe uma rede de drenagem no vale (talvegue), que divide os bairros Eldorado e Campo Grande, na cidade de Delmiro Gouveia-AL, iniciando-se na rua Vila Everaldo B. de Medeiros no bairro Campo Grande nas coordenadas (-9.3727°, -38.0121°), estendendo-se a partir deste ponto por 2.158 metros em seção retangular revestida com pedra argamassada, findando na rua Floriano Peixoto no bairro Eldorado nas coordenadas (-9.3770°, -37.9962°).

O canal recebe uma contribuição de esgoto domiciliar, onde esses despejos acontecem por meio de ramais diretamente das residências marginais, ou ainda de redes simplificadas que coletam efluentes de um conjunto de residências, o que gera

uma vazão de água residuária o tempo todo. Como o intuito deste trabalho é avaliar a capacidade de escoamento do canal para vazões de águas pluviais, a vazão de esgoto será desconsiderada, pois de acordo com Cardoso (2014) em um estudo semelhante na bacia vizinha e de área maior, mostrou que a maior vazão de esgoto representou 0,13% em relação a maior vazão de água pluvial, tornando a sua presença desprezível em uma análise quantitativa de sistemas de macrodrenagem.

As principais queixas dos moradores mais próximos do canal, estão relacionadas ao mal cheiro produzido pelas águas residuárias e a forte presença de roedores e insetos, os quais avançam para os domicílios das proximidades. A presença do esgoto no canal desperta uma grande preocupação, principalmente em períodos chuvosos, onde ocorre a contaminação das águas pluviais que escoam concomitantemente no mesmo espaço, ao passo que um possível transbordamento seria capaz de propagar doenças de veiculação hídrica.

Figura 11 - Lançamento de esgoto domiciliar

Fonte: DO AUTOR

Além das adversidades supracitadas, a carga orgânica presente no esgoto contribui para o surgimento e crescimento de vegetação, presente em toda a extensão do canal, caracterizando um grande empecilho ao escoamento das águas da chuva, chegando a atrair animais ruminantes para o seu consumo que chegam a povoar a seção do canal. O descarte de resíduos sólidos também faz parte desta realidade,

onde restos de: construções, eletrodomésticos, móveis entre outros; podem ser avistados sem muito esforço.

Figura 12 - Canal com presença de animal e vegetação

Fonte: DO AUTOR

Em toda a extensão do canal é normal presenciar a parede do mesmo, servindo de embasamento para muros e paredes de residências adjacentes, chegando a existir construções particulares sobrepostas em sua seção, situação apresentada pela figura 12.

Figura 13 - Edificação sobreposta ao canal

Fonte: DO AUTOR

Por outro lado, há residências cujo acesso é dificultado pela presença do canal, levando seus moradores a improvisarem algum tipo de estrutura de travessia, as quais, visualmente, expressam falta de segurança.

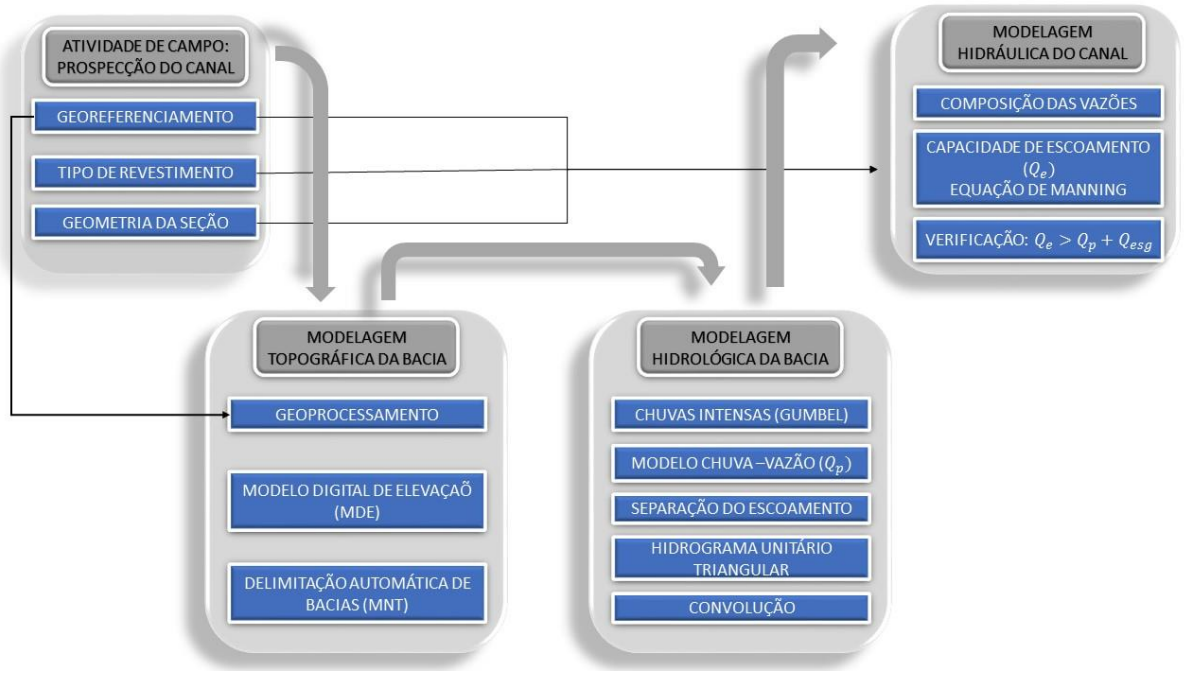
Figura 14 - Elemento de travessia improvisada sobre o canal

Fonte: DO AUTOR

5 METODOLOGIA

De antemão ao desenvolvimento da metodologia, resolvemos construir um fluxograma representativo das etapas investigativas do objeto estudado, afim de instruir o leitor sobre a linha de raciocínio empregada, disposta na figura 14.

Figura 15 - Fluxograma metodológico



Fonte: DO AUTOR

5.1 ATIVIDADE DE CAMPO

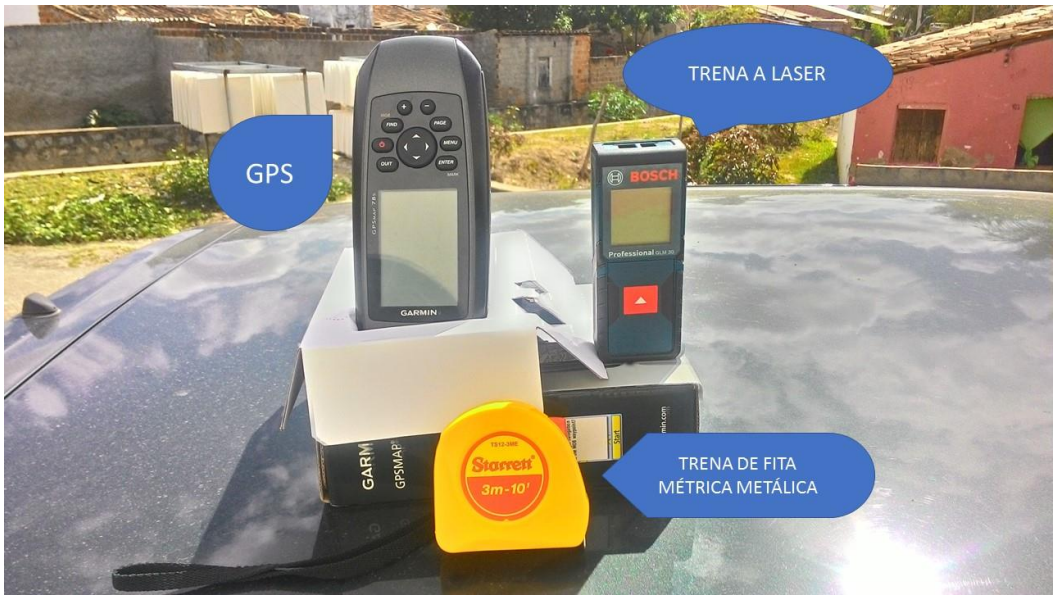
Inicialmente, realizou-se uma prospecção de dados quantitativos e qualitativos em toda a extensão do canal utilizando os seguintes equipamentos:

Utilizou-se um GPS da marca Garmin “GPSMAP” modelo 78s. Equipamento versátil, possui uma bússola de três eixos, possibilitando ao operador uma liberdade em seu manuseio sem comprometer a precisão da medição. Possui também um altímetro barométrico que calcula a altitude baseado na diferença de pressão. Os recursos supracitados possuem uma opção de calibração a disposição do operador, podendo ser executada quando o mesmo jugar relevante para a confiabilidade dos dados.

Trena a laser Bosch, modelo GLM 30 com um alcance de 30 metros e precisão de mais ou menos 2 mm, foi empregada para verificar as dimensões da seção transversal nos locais de interesse, principalmente nos locais de difícil acesso.

Trena métrica da marca Starrett, com fita metálica de 3m x 10’, empregada em medições consideradas inviáveis com a trena a laser. Os equipamentos citados, podem ser visualizados na figura 15.

Figura 16 - Equipamentos de medição



Fonte: DO AUTOR

Em posse dos equipamentos supracitados, foram visitados 46 pontos ao longo do talvegue, e guardadas informações como: georreferenciamento, largura e profundidade do canal, tipo e integridade dos taludes e a presença de resíduos sólidos e/ou de vegetação na seção do mesmo, em cada um deles. Dos 46 pontos coletados, serão analisados e escolhidos os mais relevantes para a análise quantitativa a ser abordada.

5.2 DETERMINAÇÃO DAS CHUVAS

Utilizou-se como base de dados pluviométricos, uma série histórica de 80 anos (1936 a 2016) dela estação pluviométrica de Delmiro Gouveia (937013), disponíveis no portal Hidro Web no site da Agência Nacional de Águas (ANA).

Em posse da série histórica, aplicou-se a distribuição probabilística de Gumbel, afim de obter os valores máximos de precipitação para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 e 1000 anos. Tal método está encorpado na equação 1, observado no trabalho de NAGHETTINE (2007).

$$P_T = \beta - \left(\frac{1}{\alpha}\right).\ln\left[-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right] \quad (1)$$

Onde P_T é o valor da precipitação em mm, para um dado tempo de retorno T em anos, e os parâmetros α e β são, respectivamente, de escala e de posição, dados pelas seguintes equações: (NAGHETTINE, 2007)

$$\alpha = \frac{1{,}2826}{S_x} \quad (2)$$

$$\beta = \bar{X} - 0{,}451.S_x \quad (3)$$

Sendo X e S_x são, respectivamente, a média aritmética e o desvio padrão da séria histórica.

Uma vez encontrados os valores referentes às chuvas diárias máximas anuais para os diferentes tempos de retorno, foram obtidos os valores de precipitação para durações menores, para tanto, fez-se o uso da curva i-d-f da cidade de Maceió (CETESB,1986).

Tabela 3 - Relações da curva i-d-f da cidade de Maceió.

Relação entre as durações	Tempo de retorno em anos							
	2	5	10	25	50	100	500	1000
5min/15min	0,47	0,45	0,44	0,44	0,43	0,45	0,45	0,45
10min/15min	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,76	0,75	0,75
15min/30min	0,67	0,65	0,64	0,63	0,63	0,65	0,64	0,64
20min/30min	0,80	0,78	0,77	0,79	0,75	0,79	0,78	0,78
25min/30min	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89
30min/24h	0,25	0,23	0,21	0,20	0,21	0,23	0,22	0,22
1h/24h	0,37	0,37	0,36	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36
2h/24h	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
4h/24h	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
6h/24h	0,67	0,68	0,69	0,69	0,69	0,68	0,68	0,68
8h/24h	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74
10h/24h	0,78	0,79	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79
12h/24h	0,81	0,83	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83
24h/1dia	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13

Fonte: CETESB, 1986

5.3 TRANSFERÊNCIA CHUVA-VAZÃO

Inicialmente, é necessário introduzir o conceito básico de tempo de concentração, que segundo SMDU (2012), é o tempo para que toda a água precipitada em uma bacia passe a contribuir em uma seção de controle. Existem vários modelos matemáticos para o tempo de concentração, no entanto, utilizou-se nesse trabalho a equação Kirpich, devido a consultas de trabalhos em que a mesma é bastante aplicada juntamente com o método do hidrograma unitário. O modelo matemático de Kirpich para o tempo de concentração está representado pela equação 4.

$$\mathrm{T_c} = 57.\left(\frac{\mathrm{L}^3}{\mathrm{H}}\right)^{0,385} \quad (4)$$

Sendo:

L = comprimento do curso d'água (talvegue) em km;

H = diferença entre o ponto de maior altitude do curso d'água, e a altitude do ponto da seção analisada; em metros.

Enfim, as equações empíricas utilizadas na determinação do hidrograma unitário das sub-bacias estão expostas a seguir (SMDU, 2012).

$$\mathrm{D} = 0{,}133 \,.\, \mathrm{T_c} \quad (5)$$

$$\mathrm{T_p} = \frac{\mathrm{D}}{2} + 0{,}6 \,.\, \mathrm{T_c} \quad (6)$$

$$\mathrm{T_b} = 2{,}67 .\, \mathrm{T_c} \quad (7)$$

$$Q_p = \frac{2{,}08 \,.\, A}{T_b} \quad (8)$$

Sendo:

T_c = tempo de concentração em minutos;

D = tempo ou duração de um evento, em horas;

T_p = tempo de pico;

T_b = tempo de base;

A = área de drenagem da bacia em km²;

Q_p = vazão de pico, em m³/s.

Após determinar os parâmetros do hidrograma unitário, executa-se a operação de convolução. Expressa matematicamente pela equação 9, esta ação consiste em obter o hidrograma resultante pela superposição dos hidrogramas unitários, onde '*p*' é a precipitação do diagrama unitário, '*q*' é a vazão efetiva e Q é a vazão do hidrograma resultante. (TOMAZ, 2013)

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n} p_n . q_{n-m+1} \quad (9)$$

Foi elaborada uma planilha eletrônica para a implementando destas equações, culminando na posterior obtenção dos valores referentes ao hidrograma unitário, do hidrograma de cheia e a vazão de projeto por meio do cálculo da convolução.

5.4 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM.

Esta etapa fez uso da tecnologia SIG (Sistema de Informações Geográficas), através de recursos gratuitos produzidos com tecnologia brasileira, disponibilizados pela Divisão de Processamento de Imagem (DPI) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

A delimitação da área de drenagem da bacia foi realizada de forma automática, sob o uso dos softwares: Spring, Terraview e o seu plugin Terra hidro; disponíveis na plataforma supracitada. Tais softwares trabalham com processamento e geoprocessamento de imagem, para tanto, é necessário fazer o uso de imagens de satélite (da região de interesse), no sistema de referência SAD 69, onde neste caso, utilizou-se imagem do satélite cebers-4 (bandas: 3, 4 e 5) disponível no site do INPE, e um MDE (Modelo Digital de Elevação) baixado do site Topodata (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil) do INPE.

Para a obtenção dos dados referentes a este processo, deve-se enfatizar uma maior atuação do plugin Terrahidro na manipulação do MDE (Modelo Digital de Elevação - em arquivo SRTM de resolução 30X30), possibilitando a extração das redes de drenagem e de dados planialtimétricos, e ainda um MNT (Modelo Numérico de Terreno) para a obtenção de características geofísicas do solo.

Uma vez finalizada a modelagem no ambiente Terrahidro, os dados foram exportados para o software Google Earth Pro, em formato de arquivo KLM, onde foi possível calcular as características geométricas da bacia como: área da bacia, perímetro e declividades; assim como superpor os pontos coletados na visita de campo com o GPS, onde após uma análise atenciosa, escolheram-se 6 pontos destes, afim de representar os pontos mais críticos da área em questão, obtendo como resultado desta modelagem a geração de 6 subáreas, aqui denominadas de sub-bacias, que serão abordas mais tarde nos resultados e discursões.

O método de delimitação automática de bacias por meio de *softwares* SIG tem se mostrado bastante eficiente tanto pela facilidade, quanto pela qualidade dos resultados. Silva e Moura (2013) confirma esta realidade fazendo um estudo comparativo entre o método de delimitação automática, e delimitações utilizando as

redes de drenagem fornecidas pelo IBGE, para uma bacia localizada no município de Ouro Preto, em Minas Gerais.

5.5 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial foi determinado pelo método SCS, o qual dispõe das equações a seguir, promovendo a separação do escoamento da chuva efetiva.

$$S = \frac{25400}{CN} - 25 \tag{10}$$

$$Q = \frac{(P - 0{,}2\,.\,S)^2}{P + 0{,}8\,.\,S} \tag{11}$$

$$I_a = 0{,}2\,.\,S \tag{12}$$

Sendo:

CN = Curva número;

S = Capacidade máxima da camada superior do solo;

P = Precipitação total, em mm;

Q = Precipitação efetiva, em mm.

Para que essas equações sejam válidas, faz-se necessário que o volume precipitado deva superar o volume constituído pelas perdas iniciais (interceptação, infiltração do solo e etc.), no qual o método SCS considera que essas perdas representam 20% do valor da precipitação.

O tipo de solo foi obtido através do software Spring, por meio de uma leitura dos meta-dados presentes no Modelo Numérico de Terreno (MNT), e posteriormente comparados com as tipologias de solos brasileiros e suas classes hidrológicas fornecidas na figura 3.

Quanto ao seu uso, observou-se a área de estudo a partir da imagem do *Google Earth Pro* data de 26/09/2016, verificando-se a existência de um empreendimento de loteamento localizado a montante na bacia, o que demandou uma abordagem de ocupação urbana do solo para dois momentos distintos. A primeira abordagem, chamada de situação 1, avalia o estado de impermeabilização da bacia para a ocasião

atual, onde a área loteada se encontra ocupada por algumas dezenas de edificações. A segunda abordagem, chamada de situação 2, avalia o momento em que a área loteada esteja totalmente ocupada por edificações e pavimentos.

Após definir as características de tipo e uso do solo, esses dados são levados para uma representação quantitativa fornecida pelo método SCS a partir da tabela 4, a qual atribui valores para CN em função da classe hidrológica do solo, e tipo de cobertura do mesmo.

As características predominantes com relação a cobertura do solo da bacia foram classificadas como solo exposto e solo coberto, que comparando com os dados da tabela 4, essas duas características assumem os valores de CN, respectivamente, para baldios em boas condições e zonas residenciais que possuem lotes com áreas menores que 500 m².

Tabela 4 - Valores de CN para bacias urbanas

Utilização ou cobertura do solo		Classes hidrológicas			
		A	B	C	**D**
Zonas Cultivadas sem conservação do solo		72	81	88	91
Zonas Cultivadas com conservação do solo		62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prados em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais com cobertura ruim		45	66	77	83
Bosques ou zonas florestais com cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, em boas condições:					
Com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
Com relva de 50 a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m²)	%média impermeável				
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: TUCCI, 2012

Como as bacias urbanas apresentam mais de um tipo de cobertura de solo, calcula-se o CN estimado, que para este caso será dado pela equação 13.

$$CN_{est} = ((P_b \times CN_b) + (P_r \times CN_r)) \quad (13)$$

Sendo:

P_b = Percentual de área de terrenos baldios em boas condições
CN_b = CN de baldios em boas condições
P_r = Percentual de área de Zonas residenciais
CN_r = CN de Zonas residenciais

5.6 CAPACIDADE DE ESCOAMENTO

Para verificar a vazão que o canal é capaz de transportar, utilizou-se a equação de Manning

$$Q = \frac{A.\sqrt{S}.R_h^{2/3}}{n} \quad (14)$$

Q = Vazão de Manning

A = Área molhada

S = Declividade longitudinal (m/m)

R_h = Raio hidráulico

n = Rugosidade de Manning

"A" e "Rh" são propriedades geométricas do canal, e Rh é a relação entre a área molhada e o perímetro molhado "P". As equações que relacionam essas propriedades geométricas para um canal de seção retangular são mostradas pelas equações 15, 16 e 17. (PORTO, 2006)

$$\mathrm{A} = \mathrm{Y}.\mathrm{B} \quad (15)$$

$$\mathrm{P} = 2.\mathrm{Y} + \mathrm{B} \quad (16)$$

$$R_h = \frac{Y.B}{(2.Y + B)} \quad (17)$$

Sendo Y é a altura da lâmina líquida e B é a largura do canal.

As dimensões do canal como largura e profundidade foram determinadas com as medições de campo, que na ocasião, percorreu-se ponto a ponto por toda a extensão do canal. Já a declividade longitudinal “S” foi obtida através do software Google Earth Pro, no qual foi possível visualizar o traçado do canal descarregando os pontos coletados com o GPS, e verificadas informações como o seu comprimento e as cotas dos pontos desejados.

Quanto a rugosidade “n” do canal, verificou-se que a sua seção é composta por mais de um material construtivo, ocorrendo também a presença de resíduos sólidos e vegetação, que para a modelagem numérica da rugosidade, recorreu-se ao conceito de rugosidade equivalente de Manning, que na ocasião foi proposto pela equação 18 disponível em (TOMAZ 2011).

$$n_e = \frac{(\sum P_i \, . \, n_i^{3/2})^{2/3}}{(\sum P_i)^{2/3}} \qquad (18)$$

Sendo:

n_e = rugosidade equivalente de Manning;

P_i = Perímetro molhado cujo coeficiente de Manning é n_i;

n_i = coeficiente de Manning cujo perímetro é P_i.

A aplicação desta fórmula consiste em verificar o comprimento contido no perímetro molhado que é ocupado por tal material, onde associado ao material está a rugosidade de Manning “n” que pode ser obtida através da tabela 5.

Tabela 5 - Coeficientes de rugosidade de Manning.

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Tubos de ferro fundido sem revestimento.....	0,012	0,013	0,014	0,015
Idem, com revestimento de alcatrão.....	0,011	0,012	0,013	---
Tubos de ferro galvanizado.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Tubos de bronze ou de vidro.....	0,009	0,010	0,011	0,013
Condutos de barro vitrificado, de esgotos....	0,011	0,013	0,015	0,017
Condutos de barro, de drenagem	0,011	0,012	0,014	0,017
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento:				
Condutos de esgoto, de tijolos.....	0,012	0,013	0,015	0,017
Superfícies de cimento alisado.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Superfícies de argamassa de cimento.....	0,011	0,012	0,013	0,015
Tubos de concreto.....	0,012	0,013	0,015	0,016
Condutos e aduelas de madeira.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Calhas de prancha de madeira aplainada....	0,010	0,012	0,013	0,014
Idem, não aplainada.....	0,011	0,013	0,014	0,015
Idem com pranchões.....	0,012	0,015	0,016	---
Canais com revestimento de concreto.....	0,012	0,014	0,016	0,018
Alvenaria de pedra argamassada.....	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra seca.....	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares).....	0,011	0,012	0,013	0,015
Idem, corrugadas.....	0,023	0,025	0,028	0,030
Canais de terra, retilíneos e uniformes.....	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes.	0,025	0,030	0,033	0,035
Canais abertos em rocha, irregulares, ou de paredes de pedra irregulares e mal arrumadas.....	0,035	0,040	0,045	---
Canais degradados.....	0,025	0,028	0,030	0,033
Canais curvilíneos e lamosos.....	0,023	0,025	0,028	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes.....	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedrados.....	0,028	0,030	0,033	0,035

Fonte: Adaptado de PORTO, 2006

5.7 VERIFICAÇÃO

Por fim, é chegada a etapa onde será verificada se a capacidade de escoamento disponibilizada pelo canal é maior, igual ou menor que a necessária para drenar o volume de água gerado pelo escoamento superficial da bacia, para os períodos de retorno recomendados para projetos de macrodrenagem, que correspondem a um intervalo de 25 a 100 anos, que será calculada através da equação 19.

$$S_h = Q_c - Q_p \tag{19}$$

Sendo:

S_h = Saldo hídrico

Q_c = capacidade de escoamento do canal

Q_p = vazão da parcela de escoamento superficial

A equação 19 fornece o seguinte resultado com relação ao canal: se S_h for maior que zero, significa dizer que o canal suporta drenar o volume de água gerado no escoamento superficial da bacia, e se S_h for menor que zero, significa dizer que ocorrerá transbordamento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 CHUVAS INTENSAS

Com base na série histórica mencionada no item 5.2, calculou-se a média e o desvio padrão de tais valores, para assim, poder aplicar esses resultados nos fatores de escala e posição (equações 2 e 3) para calcular, por meio da fórmula de Gumbel (equação 1), as precipitações máximas diárias para diferentes tempos de retorno, e posteriormente encontrar valores de precipitação para durações menores, e para tanto, utilizou-se a curva i-d-f como descrito no procedimento mencionado no item chuvas, e que pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6 - Precipitações máximas para a bacia

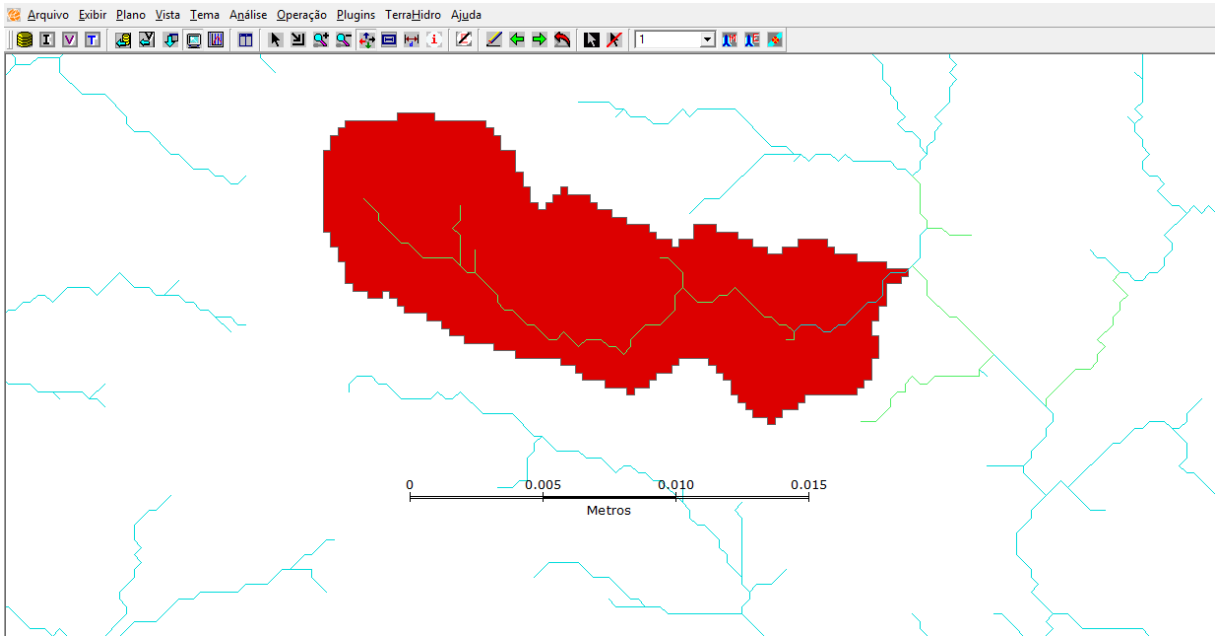
Duração (horas)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	25	50	100	500	1000
5 min	5.19	6.18	6.71	7.36	7.86	8.36	12.07	13.02
10 min	8.54	10.36	11.35	12.56	13.50	14.42	20.44	22.04
15 min	11.10	13.68	15.13	16.90	18.25	19.57	27.27	29.41
20 min	13.17	16.41	18.27	21.39	22.31	24.01	33.20	35.81
25 min	14.93	18.84	21.10	23.89	26.04	28.13	38.12	41.12
30 min	16.49	21.04	23.73	27.03	29.55	32.05	42.89	46.26
1 h	24.10	33.14	38.87	45.81	50.93	55.80	69.98	75.48
2 h	31.13	43.22	50.98	60.68	67.88	74.90	92.20	99.45
4 h	38.80	54.26	64.48	77.16	86.81	96.27	116.83	126.01
6 h	43.77	61.17	72.41	86.99	97.84	108.66	131.66	142.00
8 h	47.23	66.29	78.88	94.55	106.62	118.51	143.05	154.29
10 h	50.38	70.67	83.87	100.31	113.14	125.50	152.05	163.99
12 h	52.79	74.09	87.88	105.27	118.86	131.53	159.44	171.97
24 h	64.97	89.68	106.04	126.71	142.05	157.27	192.44	207.56
1 dia	57.50	79.36	93.84	112.13	125.71	139.18	170.30	183.69

Fonte: DO AUTOR

6.2 ÁREA DE DRENAGEM

De acordo com os procedimentos citados no item 5.4, o MDE foi tratado no software Terra Hidro, onde foi possível verificar as redes de drenagem da bacia e realizar a delimitação da sua área de contribuição, a qual está visível no ambiente gráfico do software, na figura 16.

Figura 17 - Delimitação da área de drenagem



Fonte: DO AUTOR, adaptado do software TERRAVIEW, 2017

Posteriormente, foram exportados para o software Google Earth Pro, a delimitação acima e os pontos coletados com o GPS, culminando na obtenção de características geométricas da bacia como: área, perímetro e comprimento do curso d'água e seus valores resultantes foram, respectivamente, 2.102,9 m² (2,103 km²), 8920 m (8,92 km) e 3.490 m (3,49 km). Dispondo de uma ampla visualização da área da bacia e do traçado do canal, foram escolhidos 7 pontos estratégicos ao longo do curso d'água, afim de avaliar as vazões desenvolvidas em cada trecho de interesse.

Os pontos escolhidos na análise estão dispostos na tabela 7, bem como suas coordenadas geográficas, e ainda, características físicas e geométricas do canal por hora coletadas em campo.

Na tabela 7, o ponto P1 caracteriza o início do curso d'água, assumindo a posição de lugar mais remoto e de maior altitude da bacia; o ponto P2 está localizado no início do canal de seção retangular; P3, P4 e P5 são pontos intermediários ao longo do canal; P6 representa o ponto final do canal de seção retangular e P7 é o fim do curso d'água em questão e consequentemente, o ponto de menor altitude da bacia. A configuração dos pontos em questão, podem ser visualizadas na figura 17.

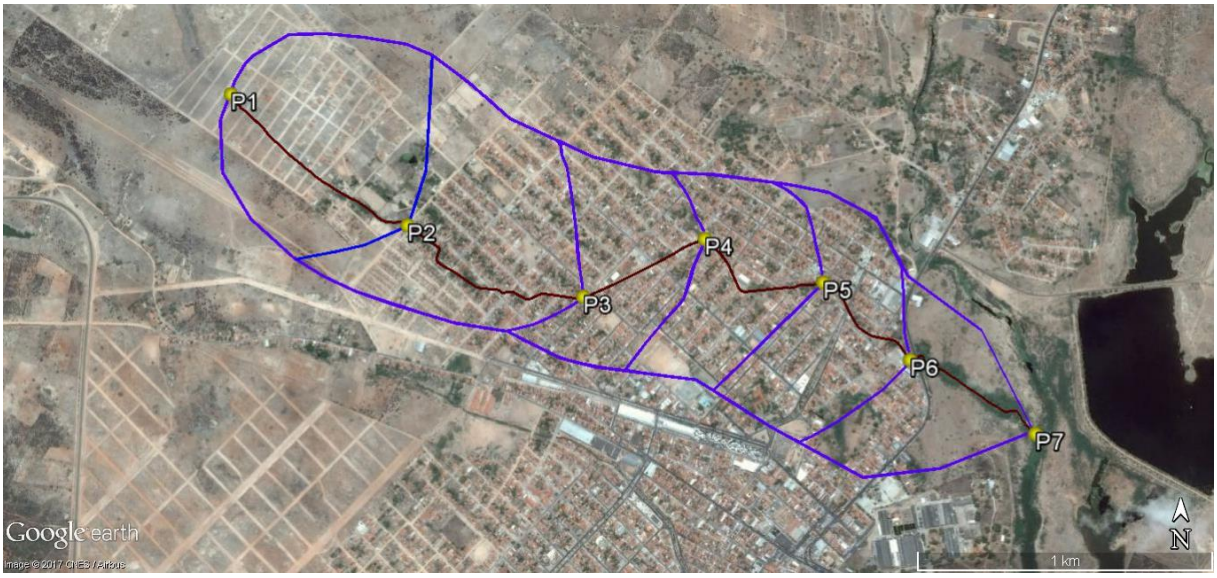
Tabela 7 - Pontos e natureza dos materiais ao longo do canal

Dados espaciais				Dados do canal		
Ponto	Latitude (°)	Longitude (°)	Cota (m)	Profundidade (m)	Largura (m)	Natureza
P1	-9.368562	-38.017930	286	---	---	N1
P2	-9.372796	-38.012133	271	1,00	3,94	N2
P3	-9.375060	-38.006518	262	1,05	3,93	N2
P4	-9.373229	-38.002645	255	0,95	4,05	N2
P5	-9.374609	-37.998894	247	1,27	4,00	N2
P6	-9.377031	-37.996211	244	1,32	3,94	N2
P7	-9.379307	-37.992358	238	---	---	N1

Legenda
N1 – Leito pedregoso e talude vegetado;
N2 – Canal retangular com talude de pedra argamassada e fundo de concreto.

Fonte: DO AUTOR

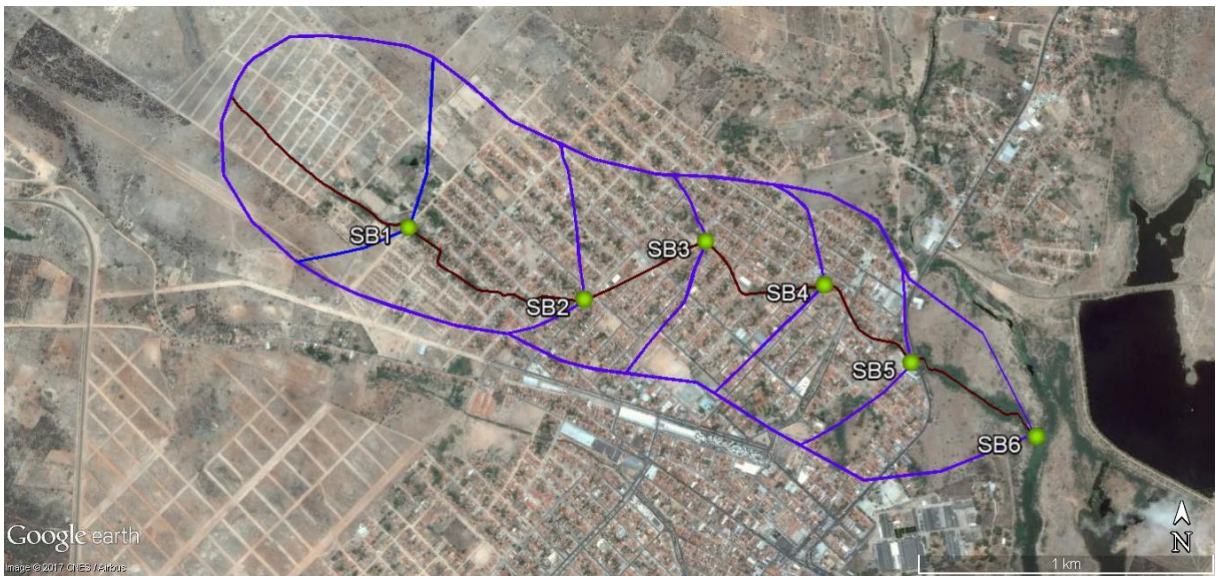
Figura 18 - Pontos ao longo do curso d'água



Fonte: DO AUTOR adaptado de GOOGLE EARTH PRO, 2017

A bacia foi dividida em 6 sub-bacias (SB) com o intuito de setorizar as análises do escoamento superficial e a resposta de cada trecho do canal. Logo, essa divisão pode ser verificada na figura 18.

Figura 19 - Divisão das sub-bacias



Fonte: DO AUTOR, adaptado de GOOGLE EARTH PRO, 2017

Com base na figura 16, a sigla “SB” significa SUB-BACIA, e os pontos estão na posição do exutório de cada uma delas onde: SB1, SB2, SB3, SB4, SB5 e SB6 coincidem respectivamente com os pontos P2, P3, P4, P5, P6 e P7. As respectivas áreas acumuladas das sub-bacias podem ser visualizadas na tabela 8.

Tabela 8 - Áreas das sub-bacias

Sub-bacia	Área (km²)
SB1	0,492
SB3	0,970
SB3	1,255
SB4	1,541
SB5	1,848
SB6	2,103

Fonte: DO AUTOR

6.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A estimativa do escoamento superficial na bacia foi determinada considerando duas situações, visto que existe um loteamento contido na sub-bacia 1, com uma área de aproximadamente 367.400 m² representada pelo polígono amarelo na figura 19, em fase de ocupação, desse modo, tomamos como situação 1 a ocasião atual com a área loteada estando ocupada por algumas dezenas de edificações, e na situação 2,

o momento em que a área loteada esteja totalmente ocupada por edificações e pavimentos.

Figura 20 - Loteamento na sub-bacia 1

Fonte: DO AUTOR, adaptado de GOOGLE EARTH PRO, 2017

Quanto ao tipo do solo, os meta-dados do MNT através do software Spring forneceram uma característica que se enquadrou em planossolo, que de acordo com a quadro 1 do item 3.1.3, pertence à classe hidrológica D. A tabela 9, baseada na tabela 4, mostra o valor de CN adotado em função do tipo e uso do solo encontrados na bacia.

Tabela 9 - Classificação de CN na bacia.

Utilização ou cobertura do solo	Classe hidrológica	CN
Baldios em boas condições (Solo exposto)	D	80
Zonas residenciais com lotes de até 500 m² com impermeabilização média de 65% (Solo coberto)	D	92

Fonte: Adaptado de TUCCI, 2012

Com o software Google Earth Pro, determinou-se manualmente as áreas de solo exposto e solo coberto, e em posse da classe hidrológica do solo, determinou-se o CN equivalente por meio da equação 13, que serão calculados para as duas situações de impermeabilização do solo.

Para a situação 1, calculou-se as áreas de solo exposto, solo coberto bem como seus percentuais e CN equivalentes para cada sub-bacia, e seus valores estão evidenciados na tabela 10.

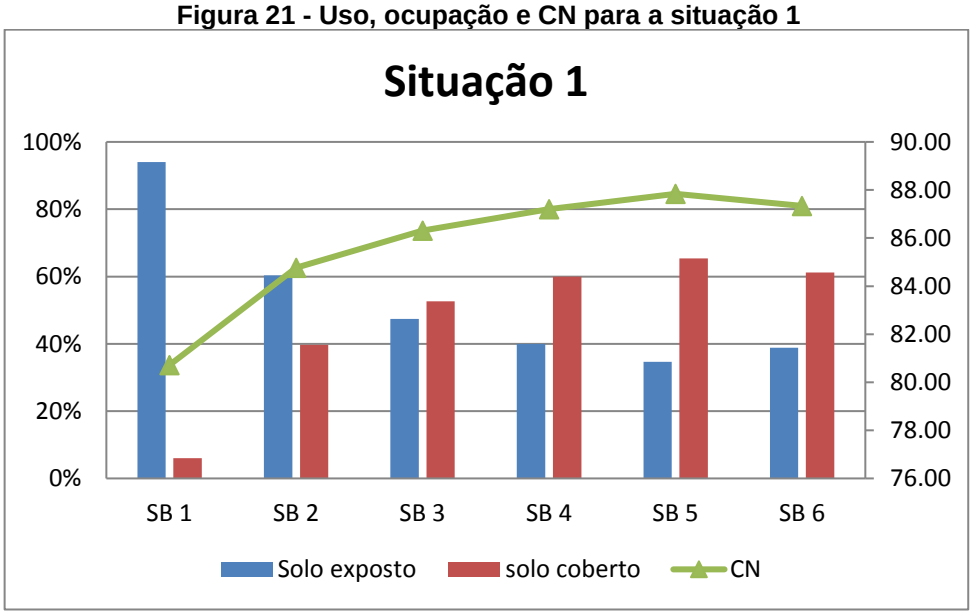
Tabela 10 - Usos, ocupação e CN para a situação 1

Sub-bacia	Áreas (km²)			Percentual		
	Solo exposto	Zona urbana	Total	Solo exposto	Zona urbana	CN equivalente
SB1	0,463	0,030	0,492	94%	6%	80,72
SB2	0,585	0,385	0,970	60%	40%	84,76
SB3	0,595	0,660	1,255	47%	53%	86,31
SB4	0,616	0,925	1,541	40%	60%	87,20
SB5	0,641	1,207	1,848	35%	65%	87,84
SB6	0,817	1,286	2,103	39%	61%	87,34

Fonte: DO AUTOR

A figura 20 expõe graficamente os valores da tabela 10, visando facilitar o entendimento dos dados, onde as barras verticais representam a situação atual das sub-bacias, sendo: o eixo vertical a esquerda representando seus respectivos percentuais de uso do solo, e o eixo vertical a direita representando a escala de CN equivalente para cada sub-bacia.

Figura 21 - Uso, ocupação e CN para a situação 1



Fonte: DO AUTOR

Percebe-se de acordo com a figura 1, a predominância de solo exposto para a situação atual na sub-bacia 1, o que contribui para uma maior infiltração das águas

das chuvas, que consequentemente, ameniza as vazões desenvolvidas pelo escoamento superficial nas sub-bacias a jusante.

A tabela 11 fornece as áreas de solo exposto, solo coberto bem como seus percentuais e CN equivalentes para cada sub-bacia na situação 2.

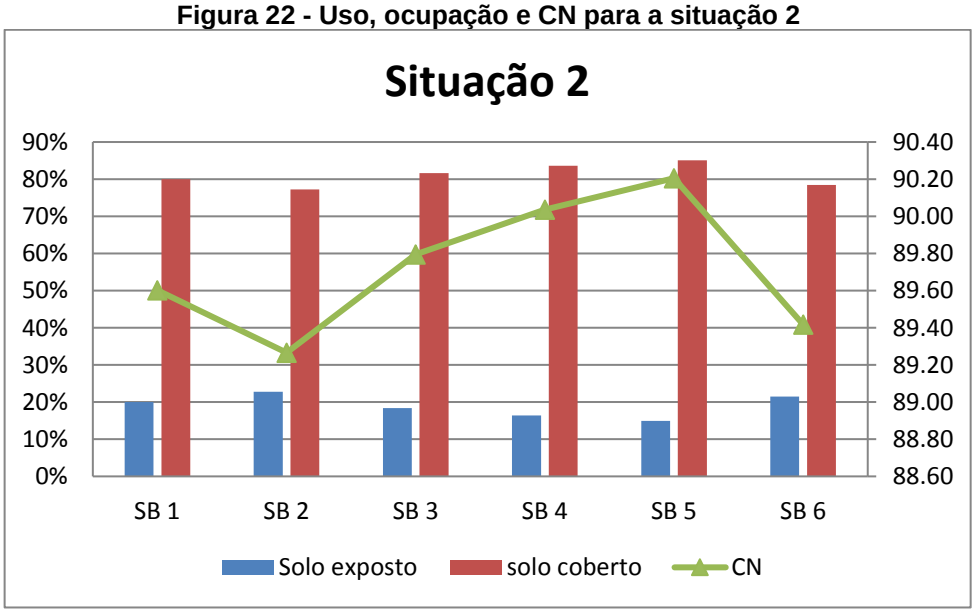
Tabela 11 - Uso, ocupação e CN para a situação 2.

	Áreas (km²)			Percentual		
Sub-bacia	Solo exposto	Zona urbana	Total	Solo exposto	Zona urbana	CN equivalente
SB1	0,098	0,394	0,492	20%	80%	89,60
SB2	0,221	0,749	0,970	23%	77%	89,27
SB3	0,231	1,024	1,255	18%	82%	89,80
SB4	0,252	1,289	1,541	16%	84%	90,04
SB5	0,276	1,572	1,848	15%	85%	90,21
SB6	0,453	1,650	2,103	22%	78%	89,42

Fonte: DO AUTOR

O gráfico da figura 21, assim como o gráfico da figura 20 o fez para a tabela 10, expõe os valores da tabela 11 acima para a situação 2, visando facilitar o entendimento dos dados.

Figura 22 - Uso, ocupação e CN para a situação 2



Fonte: DO AUTOR

Enquanto o percentual de solo exposto da sub-bacia 1 na situação 1 era de 94%, para a situação 2 esse percentual é de apenas 20 %, assim contribuindo para o aumento do escoamento superficial, o que demanda mais eficiência dos dispositivos de drenagem urbana.

Com os valores de CN de cada sub-bacia nas situações abordadas, foi possível calcular a capacidade de armazenamento da camada superior do solo (S), bem como as perdas iniciais (Ia) por meio das equações 10 e 12, os resultados estão apresentados na tabela 12:

Tabela 12 - Capacidade de armazenamento da camada superior do solo para as situações 1 e 2

Sub-bacia	Situação 1		Situação 2	
	S (mm)	Ia = 0,2*S	S (mm)	Ia = 0,2*S
SB1	60,67	12,13	29,47	5,89
SB2	45,67	9,13	30,54	6,11
SB3	40,28	8,06	28,87	5,77
SB4	37,28	7,46	28,11	5,62
SB5	35,16	7,03	27,58	5,52
SB6	36,82	7,36	30,06	6,01

Fonte: DO AUTOR

A determinação da propagação do escoamento utilizando o conceito de hidrograma unitário teve início com o cálculo do tempo de concentração de cada sub-bacia por meio da equação 4 e os valores obtidos estão na tabela 13.

Tabela 13 - Tempo de concentração para cada sub-bacia

Sub-bacia	L (km)	ΔH (m)	Tc (min)
SB1	0,77	17	14,16
SB2	1,51	26	26,17
SB3	1,99	33	32,75
SB4	2,50	41	39,32
SB5	2,93	44	45,96
SB6	3,49	50	53,46

Fonte: DO AUTOR

Em seguida, calculou-se os demais parâmetros do hidrograma unitário por meio das equações empíricas incorporadas nas equações 5, 6, 7 e 8 do item 5.3, resultando nos valores da tabela 14.

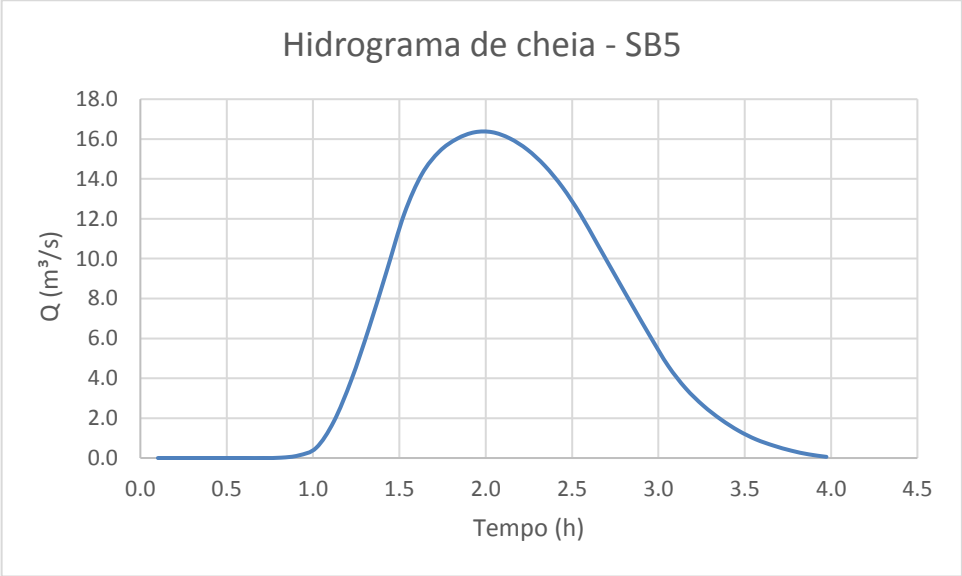
Tabela 14 - Duração, Tempo de Pico, Tempo de Base e Vazão de Pico para cada sub-bacia

Sub-bacia	D (Horas)	Tp (Horas)	Tb (Horas)	Qp(m³/s)
SB1	0,03	0,16	0,63	1,62
SB2	0,06	0,29	1,16	1,73
SB3	0,07	0,36	1,46	1,79
SB4	0,09	0,44	1,75	1,83
SB5	0,10	0,51	2,05	1,88
SB6	0,12	0,59	2,38	1,84

Fonte: DO AUTOR

Após a determinação dos hidrogramas unitários e seus parâmetros para cada sub-bacia, a próxima etapa consistiu na realização do método da convolução, como descrito pelo item 5.3, obtendo assim o hidrograma de cheia para cada sub-bacia, em cada tempo de retorno, como exemplificado na Figura 22.

Figura 23 - Hidrograma de cheia para a sub-bacia 5



Fonte: DO AUTOR

Posteriormente, determinou-se as vazões de projeto proposta pelo método SCS a partir da equação 11, onde foram calculadas as vazões para cada sub-bacia nos diferentes tempos de retorno, as quais serviram para a verificar a capacidade de escoamento do canal.

As tabelas 15 e 16 apresentam as vazões de projeto para a primeira situação de impermeabilização da bacia, que para este trabalho, serão utilizadas para testar a capacidade de escoamento do canal nos diferentes cenários.

Tabela 15 - Vazão de projeto para as sub-bacias na situação 1

Sub-bacia	Tempo de retorno (anos) Vazão máxima (m³/s)							
	2	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**	**1000**
SB1	0,71	2,23	3,45	5,21	6,66	8,19	14,61	16,98
SB2	4,76	10,21	14,20	19,53	23,52	27,51	39,42	44,21
SB3	7,21	14,42	19,57	26,31	31,37	36,37	50,61	56,46
SB4	9,41	18,09	24,19	32,26	38,13	44,04	60,48	67,26
SB5	11,77	21,92	28,99	38,11	45,20	52,09	70,44	78,06
SB6	12,12	22,78	30,26	39,76	47,38	54,70	73,52	81,53

Fonte: DO AUTOR

Tabela 16 - Vazões de projeto paras as sub-bacias na situação 2

Sub-bacia	Tempo de retorno (anos) Vazão máxima (m³/s)							
	2	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**	**1000**
SB1	3,91	7,06	9,18	12,01	14,08	16,22	25,01	28,02
SB2	8,07	14,90	19,59	25,64	29,97	34,29	47,25	52,38
SB3	10,43	18,80	24,53	31,89	37,28	42,59	57,69	63,74
SB4	12,55	22,25	28,84	37,43	43,54	49,72	67,07	74,02
SB5	14,71	25,86	33,44	43,03	50,39	57,47	76,30	84,05
SB6	14,76	26,27	34,16	44,05	51,93	59,43	78,94	87,14

Fonte: DO AUTOR

Como esperado, as vazões aumentam para a situação 2, que tomando como exemplo a sub-bacia 5, as vazões para os tempos de retorno de 25 a 100 anos, aumentaram em torno de 10%.

6.4 CAPACIDADE DE ESCOAMENTO

Para avaliar a capacidade de escoamento do canal, inicialmente foram determinadas as características geométricas para um canal de seção retangular expressas pelas equações 1,2 e 3, em função dos parâmetros geométricos obtidos na atividade de campo. Os resultados podem ser visualizados na tabela.

Para estimar a rugosidade equivalente do canal nas duas situações supracitadas, utilizou-se a equação 12 e os valores da rugosidade de Manning dispostos na tabela 5.

Tabela 17 - Parâmetros geométricos do canal

Trecho	L (m)	B (m)	D (m)	ΔH (m)	I (m/m)	A (m²)	P (m)	Rh (m)
SB1	770	2,50	1,00	17,00	0,0221	2,50	4,50	0,56
SB2	740	3,95	1,10	9,00	0,0122	4,35	6,15	0,71
SB3	475	3,95	1,20	7,00	0,0147	4,74	6,35	0,75
SB4	515	4,10	1,15	8,00	0,0155	4,72	6,40	0,74
SB5	430	4,60	1,30	3,00	0,0070	5,98	7,20	0,83
SB6	555	5,00	1,50	6,00	0,0108	7,50	8,00	0,94

Legenda: L = comprimento do curso d'água; B = largura do canal; D = profundidade do canal; ΔH = diferença de cota; I = declividade; Am = área molhada; Pm = perímetro molhado e Rh = ráio hidráulico.

Fonte: DO AUTOR

Para a rugosidade 1, foi atribuída a natureza dos materiais compostos por: talude em alvenaria de pedra argamassada, fundo revestido com concreto e talude vegetado, todos em condições regulares e coeficientes de rugosidade de Manning respectivamente iguais a 0,025, 0,016 e 0,033.

Para a rugosidade 2, avaliou-se o funcionamento do canal quando composto pelos seguintes materiais: talude em alvenaria de pedra argamassada e fundo revestido com concreto, ambos em condições muito boas, com coeficientes de Manning correspondendo, respectivamente, a 0,017 e 0,012.

Após a determinação das rugosidades equivalentes, fez-se uma relação da capacidade de escoamento dos trechos de canal em cada sub-bacia em função dos valores de rugosidade encontrados, como mostra a tabela 18.

Tabela 18 - Capacidade de escoamento em função da rugosidade

Capacidade de escoamento em função da rugosidade				
Trechos	Rugosidade 1		Rugosidade 2	
	Ne (m^-1/3s)	Qm (m³/s)	Ne (m^-1/3s)	Qm (m³/s)
SB1	0,02025	12,40	0,01366	18,38
SB2	0,02025	18,77	0,01366	27,83
SB3	0,02025	23,38	0,01366	34,66
SB4	0,02025	23,67	0,01366	35,09
SB5	0,02025	21,79	0,01366	32,31
SB6	0,02025	36,89	0,01366	54,68

Legenda: Ne = rugosidade equivalente, Qm = vazão de Manning

Fonte: DO AUTOR

Pode-se notar que, com a execução de manutenção, a capacidade de escoamento aumenta em torno de 48%, com isso, reafirmando a importância desta prática.

6.5 VERIFICAÇÃO

Esta etapa consiste em verificar se o canal existente tem a capacidade de drenar todo o volume de água incidente das chuvas nos tempos de retorno recomendados para sistemas de macrodrenagem urbana, que são de 25 a 100 anos. A seguir é calculado o saldo hídrico, fruto da diferença entre a capacidade de escoamento do canal (tabelas 15 e 16) e as vazões máximas em cada sub-bacia (tabela 18) para um dado tempo de retorno.

A tabela 19 apresenta o saldo hídrico para cada sub-bacia considerando a situação 1 de impermeabilização do solo, e as duas condições de rugosidade do canal.

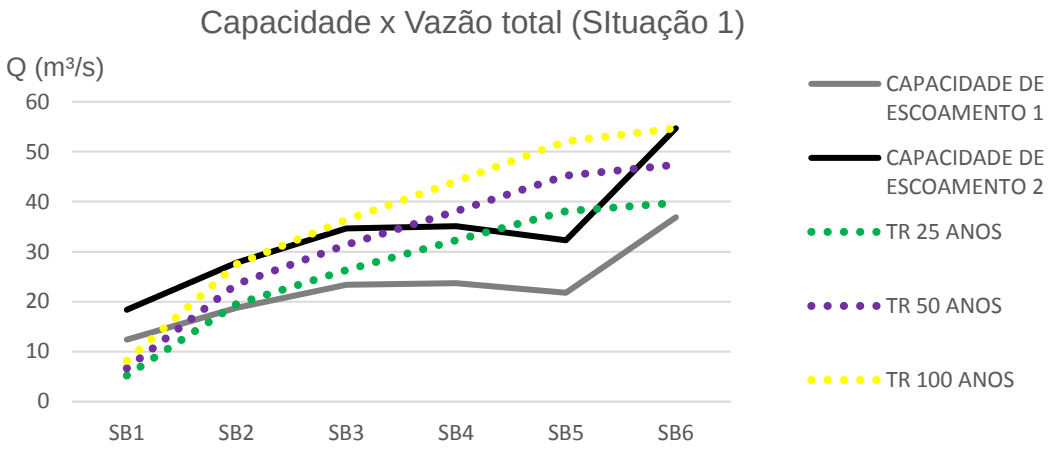
Tabela 19 - Saldo Hídrico para a situação 1

Saldo hídrico (situação 1)						
Sub-bacia	Rugosidade 1			Rugosidade 2		
	25	50	100	25	50	100
SB1	7,18	5,74	4,21	13,17	11,72	10,19
SB2	**-0,76**	**-4,74**	**-8,73**	8,29	4,31	0,32
SB3	**-2,92**	**-7,99**	**-12,99**	8,36	3,29	**-1,71**
SB4	**-8,58**	**-14,46**	**-20,37**	2,84	**-3,04**	**-8,95**
SB5	**-16,32**	**-23,41**	**-30,29**	**-5,80**	**-12,89**	**-19,78**
SB6	**-2,88**	**-10,50**	**-17,81**	14,92	7,30	0,03

Fonte: DO AUTOR

Os valores negativos estão em negrito para chamar a atenção para os trechos do canal que não suportam a vazão do escoamento superficial produzidos em cada sub-bacia, e essas diferenças podem ser melhor visualizadas no gráfico da figura 23.

Figura 24 - Comparativo entre vazão e capacidade de escoamento para a situação 1



Fonte: DO AUTOR

Com base nos dados fornecidos na tabela 19 e no gráfico 3 é possível perceber os trechos do canal com capacidade de escoamento insuficientes, visto que para a situação 1 com as condições atuais de rugosidade do canal, todas as sub-bacias com exceção da 1 apresentam transbordamentos em todos os tempos de retorno. Já a capacidade de drenagem dos trechos do canal para a condição de rugosidade 2, apresentou uma grande melhora, com transbordamentos apenas no trecho de canal da sub-bacia 5 para um tempo de retorno de 25 anos, nos trechos das sub-bacias 4 e 5 para um tempo de retorno de 50 anos e nos trechos das sub-bacias 3, 4 e 5 para um tempo de retorno de 100 anos.

A tabela 20 apresenta o saldo hídrico para cada sub-bacia considerando a situação 2 de impermeabilização do solo, e as duas condições de rugosidade do canal.

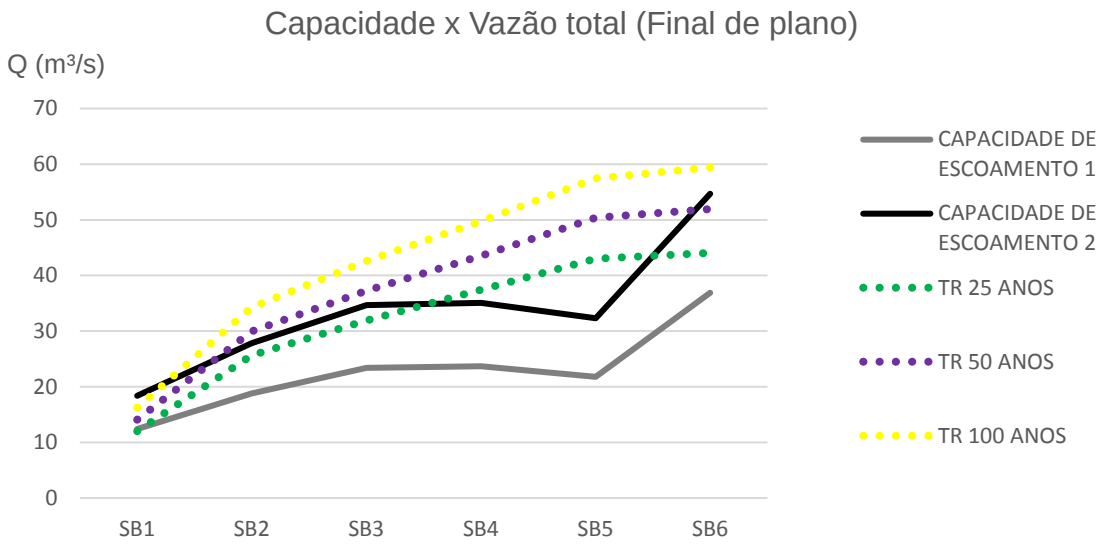
Tabela 20 - Saldo Hídrico para a situação 2

Sub- bacia	Rugosidade 1			Rugosidade 2		
	25 anos	50 anos	100 anos	25 anos	50 anos	100 anos
SB1	0,38	**-1,68**	**-3,83**	6,36	4,30	2,15
SB2	**-6,87**	**-11,20**	**-15,52**	2,19	**-2,15**	**-6,46**
SB3	**-8,51**	**-13,90**	**-19,21**	2,77	**-2,62**	**-7,93**
SB4	**-13,75**	**-19,87**	**-26,05**	**-2,33**	**-8,45**	**-14,63**
SB5	**-21,24**	**-28,59**	**-35,68**	**-10,72**	**-18,08**	**-25,17**
SB6	**-7,16**	**-15,04**	**-22,54**	10,63	2,76	**-4,74**

Fonte: DO AUTOR

A figura 24 permite uma melhor visualização e interpretação dos resultados da tabela 20.

Figura 25 - Comparativo entre vazão e capacidade de escoamento para a situação 2



Fonte: DO AUTOR

Para a situação 2, o problema de transbordamento do canal aumenta tanto para a condição de rugosidade 1 quanto para a 2, pois o aumento da impermeabilização eleva o volume de água a ser escoada ao longo da bacia. Vale se atentar para a capacidade de escoamento para a condição de rugosidade 1, onde apenas o trecho da sub-bacia 1 para um tempo de retorno de 25 anos não apresentará problemas de transbordamento, e para a condição 2, os trechos das sub-bacias 3 e 4 falham para o tempo de retorno mínimo recomendado para sistemas de macrodrenagem.

Uma das intervenções a curto prazo para contornar tais problemas de transbordamentos, principalmente os futuros, seria a mudança do tipo de revestimento do canal por um material que oferecesse menos resistência ao escoamento, como exemplo, se todo o perímetro molhado do canal fosse revestido com concreto, caracterizando uma forma mais acessível economicamente para amenizar essa problemática.

7 CONCLUSÕES

Diante do que foi exposto, cabe ao poder público municipal tomar providências emergenciais, no tocante aos principais problemas enfrentados pelos moradores das margens do canal, os quais relatam como mais prejudiciais: o lançamento de esgoto no canal, que produz um mal cheiro constante que afeta o bem-estar da população, e a falta de manutenções simples, como retirada de lixo e vegetação da seção do canal, que segundo populares, contribui para a proliferação de insetos e roedores, que na ocasião, invadem as residências próximas.

Como de acordo com o item 6.3, a presença do loteamento na bacia, futuramente, elevará os níveis de escoamento superficial devido ao aumento da impermeabilização, que frente a este tópico, cabe as secretarias de obras e de urbanização da cidade de Delmiro Gouveia-AL, atentarem-se para empreendimentos desse tipo, tanto nessa bacia como em outras, exigindo projetos de infraestrutura, entre esses o de drenagem, e propondo planos que harmonizem crescimento habitacional e funcionamento dos equipamentos urbanos, principalmente com as obras de drenagem urbana, para prevenir e livrar a população de transtornos e prejuízos causados pelas enchentes.

Com relação a determinação do escoamento superficial pelo método SCS, evidenciou-se as limitações na estimativa do parâmetro CN, contando com levantamentos de áreas relativamente imprecisos e uma caracterização média do tipo de solo, o que leva a valores superestimados de vazão de projeto.

Com relação a capacidade de escoamento, os cálculos confirmaram os relatos de transbordamentos citados por populares, mostrando que o canal esta subdimensionado, e que no futuro, se não houver algum tipo de intervenção e planejamento, a população enfrentará transtornos ainda maiores.

Em trabalhos futuros, recomenda-se avaliações mais detalhadas, principalmente com relação a aplicação do método SCS, e com relação ao objeto de estudo, verificar diferentes tipos de revestimentos do canal que maximizem a capacidade de escamento do mesmo, levando em consideração as singularidades presentes.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, M. A. 2013. **Efeito da mudança do uso do solo no escoamento de uma bacia urbana: estudo de caso da bacia do Riacho do Sapo.** Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió - AL.

CARDOSO, L. P. Lima 2014. **Avaliação quantitativa do sistema misto de saneamento de Delmiro Gouveia - AL: estudo de caso riacho caraibeirinhas.** Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia - AL.

DAEE/CETESB (1986). **Drenagem Urbana, Manual de Projeto**. 3ª. Edição, São Paulo (SP).

(http://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2014/12/otimista-prefeito-de-sertaozinho-diz-que-crise-alavanca-desenvolvimento.html).

IBGE, Pesquisa nacional de saneamento básico - 2008: manejo de águas pluviais: MAP. Rio de Janeiro: 2008. [4]p. Disponível em: < https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=52553 >. Acesso em: 16 de agosto de 2017.

MARTINS, C. M. Tavares et al. **Hidrologia Urbana** : Conceitos básicos. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos Universidade de Coimbra. ed. Lisboa: [s.n.], 2010. 181 p. v. 1. Disponível em: <https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ersar_hidrologia_urbana_conceitos_basicos_2010.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

MARQUES, A. Sá et al. **Hidrologia Urbana** : Sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos Universidade de Coimbra. ed. Lisboa: [s.n.], 2013. 143 p. v. 2. Disponível em: <http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Documentos%20de%20acesso%20remoto/Hidrologia-urbana_2_Lima.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

MEDEIROS, P. et al. Mapeamento da fragmentação dos remanescentes florestais na Região Hidrográfica do Riacho Talhado, Alagoas-Brasil. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba, PR: INPE, 2011.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. D. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

PORTO, Rodrigo de Melo, **Hidráulica Básica.** 4ª. Edição. São Carlos: EESC/USP, 2006.

RAMOS, Carlos Lloret et al. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. Lilian Satiko Murata. ed. São Paulo: [s.n.], 1999. 285 p. v. 1. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2004. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2004.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M. Critérios Para Classificação Hidrológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2009, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre, RS: ABRH, 2009.

SILVA, J.; MOURA, A. C. Delimitação automática de sub-bacias hidrográficas do município de ouro pretro-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba, PR: INPE, 2013.

SMDU. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos.** São Paulo: CTP, 2012.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling Camera G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

TOMAZ, P. Fórmula de Manning e canais. Guarulhos, 2011. Disponível em < http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_canais/capitulo50.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2017

TOMAZ, P. Método do SCS. Guarulhos, 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vaz

ao/capitulo38.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2017

TOMAZ, P. Formula de Manning e canais. Guarulhos, 2017. Disponível em < http://pliniotomaz.com.br/wp-content/uploads/2014/01/Capitulo-50-Formula-de-Manning-galerias-e-canais.pdf >Acesso em: 17 mar. 2017

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2005a.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades. 2005b.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2012.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. **COLETA E TRANSPORTE DE ESGOTO SANITÁRIOS**. São Paulo: Fundo Editorial, 2011.