

JHONATA SOARES DOS SANTOS

**ESTUDO HIDROLÓGICO DA ÁREA DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO DO MERCADO MUNICIPAL DE
SÃO CARLOS: Córrego do Gregório**

**SÃO CARLOS
2019**

JHONATA SOARES DOS SANTOS

**ESTUDO HIDROLÓGICO DA ÁREA DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO DO MERCADO MUNICIPAL DE
SÃO CARLOS: CÓRREGO DO GREGÓRIO**

**Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação de
Engenharia Civil do Centro
Universitário Central Paulista, como
requisito para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.**

**Orientadora: Prof. Dra. Simone
Pereira Casali**

**SÃO CARLOS
2019**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda força concedida para a realização de mais essa etapa em minha vida. Agradeço também aos meus pais, Nivaldo e Celina, por toda formação pessoal concedida para me tornar o ser humano de hoje, além de todo apoio desde o início deste ciclo, e por se tornarem inspiração para seguir nessa jornada diariamente.

Agradeço a todo o corpo técnico da empresa SHS Engenharia Sustentável, que me acolheu de forma ímpar, agregando conhecimento profissional e pessoal que levarei por toda a vida, em especial a Eng.^a Livia Cristina Holmo Villela pela confiança depositada em mim e pelo incentivo profissional que será colhido por toda vida.

Agradeço também, em especial às engenheiras ambientais Paloma Fernandes Paulino e Ana Carolina Ferrari dos Santos, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho, não medindo esforços para sanar e esclarecer todas minhas dúvidas além de me conceder um grande conhecimento profissional.

E por fim, aos colegas e professores da UNICEP, que fizeram parte deste ciclo dividindo diversas experiências que contribuíram para a minha formação. Em especial ao Professor Vinicius Masquetti da Conceição que deu início a esse trabalho me auxiliando e me encorajando a realiza-lo e a Professora Simone Pereira Casali que me orientou em todo processo de realização desse trabalho, obrigado pelo conhecimento, dedicação, atenção e paciência ofertados a mim.

“Peçam, e lhes será dado; busquem, e encontrarão; batam, e a porta lhes será aberta”.

Jesus.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 JUSTIFICATIVA.....	10
1.2 OBJETIVO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS.....	12
2.2 CÓRREGO DO GREGÓRIO.....	14
2.3 DRENAGEM URBANA.....	17
2.3.1 Causas, impactos e controles.....	17
3 MATERIAIS E MÉTODO.....	21
3.1 ÁREA DE ESTUDO	21
3.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO.....	22
3.2.1 Estudo Hidrológico – Método SCS	22
3.2.1.1 Recomendações de Uso	23
3.2.1.2 Precipitação Efetiva	24
3.2.1.3 Hidrograma Unitário Sintético.....	28
3.2.1.4 Aplicações do método	31
3.3 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS.....	35
3.3.1 HEC – HMS.....	36
4 RESULTADOS.....	37
4.1 HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO URBANA DA BACIA DO GREGÓRIO.....	37
4.2 HISTÓRICO DA REGIÃO DO MERCADO MUNICIPAL.....	38
4.3 PARÂMETROS DE PROJETO.....	42
4.3.1 DADOS DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO	42
4.3.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS	45
4.3.3 ESTUDO HIDROLÓGICO.....	46
4.3.3.1 DETERMINAÇÃO DO CN.....	46
4.3.3.2 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NA BACIA.....	48
4.3.3.3 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL	49
4.3.4 MODELAGEM HIDROLÓGICA	52
4.3.5 VERIFICAÇÃO DO CANAL EXISTENTE A PARTIR DA VAZÃO	57

4.3.6 VERIFICAÇÃO DO CANAL EXISTENTE A PARTIR DA SEÇÃO TRANVERSAL	61
DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS.....	64

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – PARÂMETROS DE UM HIDROGRAMA	29
FIGURA 2 – HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR	31
FIGURA 3 – EFEITOS DA ENCHENTE NA RUA GEMINIANO COSTA EM 1930.....	40
FIGURA 4 – INUNDAÇÃO NA REGIÃO DO MERCADO MUNICIPAL DE SÃO CARLOS EM 2013.....	41
FIGURA 5 – BACIAS HIDROGRÁFICAS NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS.....	43
FIGURA 6– DETALHE DA BACIA E TRAÇADO DO CÓRREGO DO GREGÓRIO.....	44
FIGURA 7 – TEMPERATURAS X PRECIPITAÇÕES MÉDIAS	45
FIGURA 8 – DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	45
FIGURA 9 – CARACTERÍSTICA DO USO DO SOLO NA BACIA DO CÓRREGO DO GREGÓRIO	46
FIGURA 10 – SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO	47
FIGURA 11 - EQUAÇÃO DE CHUVA - SÃO CARLOS-SP	49
FIGURA 12 – RELAÇÃO BLOCOS ALTERNADOS (CHICAGO) X HUFF	51
FIGURA 13 – ENTRADA DE DADOS NO HEC-HMS	52
FIGURA 14 – ENTRADA DE DADOS NO HEC-HMS	53
FIGURA 15 – ENTRADA DE DADOS NO HEC-HMS	53
FIGURA 16 – ENTRADA DE DADOS NO HEC-HMS	54
FIGURA 17 – ENTRADA DE DADOS NO HEC-HMS	54
FIGURA 18 – RESULTADOS NO HEC-HMS.....	55
FIGURA 19 – GRÁFICO FLUXO X INTENSIDADE.....	55
FIGURA 20 – RESULTADOS POR PERÍODO.....	56
FIGURA 21 – GRÁFICO VAZÃO NO TRECHO	56
FIGURA 22 – SEÇÃO TRANSVERSAL DO CANAL NO TRECHO MERCADO MUNICIPAL	57
FIGURA 23 – ENTRADA DE DADOS SOFTWARE - CANAIS.....	58
FIGURA 24 – ENTRADA DE DADOS SOFTWARE - CANAIS.....	59
FIGURA 25 – RESULTADOS SOFTWARE CANAIS	60
FIGURA 26 – ENTRADA DE DADOS SOFTWARE - CANAIS.....	61
FIGURA 27 – RESULTADOS SOFTWARE CANAIS	62

RESUMO

As cidades brasileiras estão em constante crescimento nas últimas décadas, na grande maioria de forma desordenada, sem planejamento e sem prever consequências causadas pela má ocupação. Com a necessidade do abastecimento e falta de tecnologia para o transporte da água resultou no aumento da população as margens dos rios. Entretanto essa proximidade traz problemas para os moradores, a ocupação do solo as margens dos rios dificulta a infiltração no solo, obrigando o escoamento e acúmulo por longos trechos, somado ao aumento da poluição nas cidades, com resíduos sólidos sendo carregados até ao corpo d'água, estes obstruindo tubulações e impedindo o caminho da água, resultado final de tudo isso é a inundação do córrego, subindo o nível e atingindo imóveis localizados nas cotas mais baixas. Na cidade de São Carlos o cenário não é diferente, caracterizada por ter uma topografia bastante acidentada, faz com que as chuvas escoem para pontos específicos gerando grandes vazões a serem coletadas pelo sistema de drenagem. O Mercado Municipal tem exatamente essa característica, pois recebe o escoamento de grandes regiões da cidade, o que gera um acúmulo bastante significativo da água no ponto mais baixo, localizado exatamente na praça do mercado, com a necessidade de escoamento a água sobe, atingindo o comércio local. Com o escoamento de grandes trechos outro ponto a ser levantado é o transporte de resíduos sólidos pelas enxurradas, agravando ainda mais o problema.

Palavras-chave: Drenagem Urbana, Resíduos Sólidos, Áreas de Inundações, Hidráulica, Hidrologia.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano envolve a implementação de infraestrutura de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem urbana, coleta e disposição de resíduos sólidos e limpeza pública. A sua gestão inadequada é uma das causas da perda de qualidade de vida e dos impactos ambientais crescentes nas cidades, sobretudo nos países em desenvolvimento.

Os componentes citados possuem uma forte interface entre si, impelindo o desenvolvimento urbano com base na gestão integrada. Os problemas são integrados, apesar do mesmo não ocorrer com a gestão, pois grande parte dos problemas está relacionada com a forma setorial como a mesma é realizada (TUCCI, 2002). Como afirma Pompêo (2000), o planejamento de atividades urbanas relacionadas à água deve estar vinculado ao próprio planejamento urbano, integrando a gestão de recursos hídricos e o saneamento ambiental. Isto se torna mais difícil nos países em desenvolvimento porque o desenvolvimento urbano acontece sob condições socioeconômicas, tecnológicas e climáticas mais difíceis (SILVEIRA, 2001). Esses países experimentam uma urbanização acelerada, mais em suas periferias do que em suas regiões centrais (TUCCI, 2002). Somando-se a isso, problemas de arranjo institucional e de financiamento do sistema (BATISTA E NASCIMENTO, 2002).

Os sistemas de drenagem urbana são imprescindíveis para o bom funcionamento das cidades, além de garantir segurança e comodidade para a população. Esses deveriam ser previstos antes da ocupação do solo às margens de córregos, que em sua maioria ocorrem de forma desordenada. Portanto, o resultante disso são alagamentos, caos e danos aos habitantes. Historicamente são inúmeros os prejuízos pelas enchentes, essa situação é comum nas cidades brasileiras por conta da falta de planejamento, investimento e educação dos cidadãos em geral.

Segundo (TUCCI, 1997), o significativo crescimento da população urbana no Brasil, em um processo de urbanização que não foi acompanhado de similar crescimento e desenvolvimento da infraestrutura adequada. Essa situação agrava os potenciais impactos do processo de urbanização, tais como:

- A impermeabilização das superfícies, que faz com que uma significativa parte da água que antes se infiltrava no solo, passe a escoar; isto, combinado com o aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais, resulta no aumento das vazões máximas;
- Redução da evapotranspiração do escoamento subterrâneo e lençol freático;
- Aumento da produção de sedimentos devido à remoção de cobertura natural e à geração de resíduos sólidos;
- Deterioração da qualidade de águas superficiais, principalmente no início das chuvas pela drenagem das águas que carregam material sólido e lavam as superfícies urbanas.

Nesse trabalho foi selecionado como objeto de estudo o Córrego do Gregório, mas especificamente, seu trecho contido no perímetro urbano na cidade São Carlos-SP, especificado como a região do Mercado Municipal de São Carlos, região onde historicamente ocorrem inundações, contabilizando prejuízos a população, causados principalmente pela ocupação das margens do Gregório.

1.1 JUSTIFICATIVA

Visando a segurança, comodidade, bem estar da população e o bom funcionamento das cidades, os sistemas de drenagem merecem uma atenção especial. Em tempos onde se multiplicam casos de enchentes e alagamentos por todo país os profissionais dessa área começam a se voltar e buscar soluções para esse grave problema.

Em São Carlos, são inúmeros os prejuízos contabilizados pelas inundações na região do Mercado Municipal, principalmente aos comerciantes ali alocados, que necessitam de uma solução para esse problema que se estende a décadas.

O presente trabalho se justifica pela necessidade em buscar medidas para solucionar esse problema, tornando a região segura a partir do funcionamento correto do sistema de drenagem.

1.2 OBJETIVO

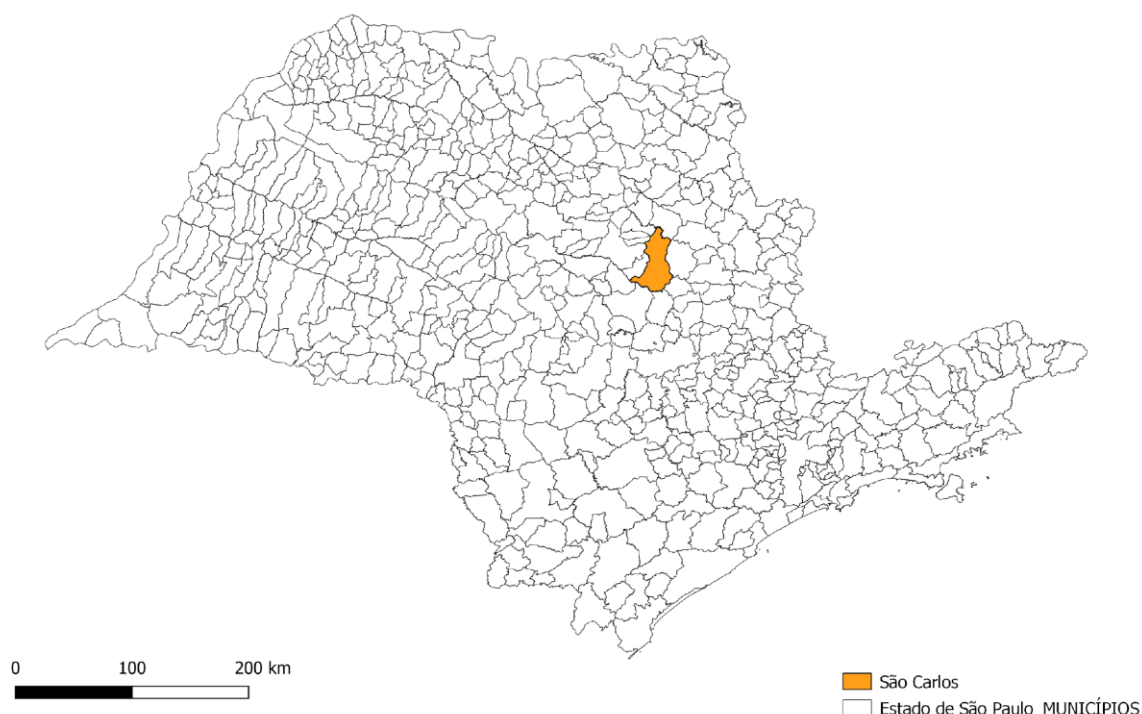
Demonstrar causas e estudar medidas corretivas e/ou amenizadoras para o caso das enchentes na região do Mercado Municipal no município de São Carlos, SP.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS

O município de São Carlos está localizado no interior do estado de São Paulo conforme apresentado na Figura 1, na região Centro-Leste, e a uma distância rodoviária de 231 quilômetros da capital paulista. Com uma população estimada em 2018 de 249 415 habitantes, distribuídos em uma área total de 1136,907 km². É a 13^a maior cidade do interior do estado em número de residentes. Sendo um dos principais polos de desenvolvimento do país, a cidade recebeu o título de Capital da Tecnologia devido ao vigor acadêmico, tecnológico e industrial (São Carlos, 2019).

Figura 1 – Localização do Município de São Carlos.



Fonte: (Adaptado de IBGE 2015).

O município está inserido entre duas Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI): a nº 9, Mogi-Guaçu, e a nº 13, Tietê-Jacaré. A área urbana encontra-se, principalmente, na bacia hidrográfica do rio Monjolinho, incluída, serialmente, nas bacias dos rios Jacaré-Guaçu, Tietê, Paraná e rio da Prata. A área urbana é cortada pelos rios Monjolinho, Gregório e Santa Maria do Leme, e pelos córregos Tijuco Preto, Simeão, Água Quente e Água Fria, dentre outros. A bacia do rio Mojiguaçu, que conta com o rio do Quilombo, ribeirão das Araras, córrego Cabaceiras, córrego Guabiobas, córrego Jararaca, córrego Água Branca, córrego Brejo Grande ou Água Vermelha, córrego Matinha, ribeirão dos Negros, ribeirão do Pântano, córrego Cachoeira.

A bacia do rio Jacaré-Guaçu, que conta com o rio Monjolinho, ribeirão Feijão, córrego Cã Cã, e córrego Laranja Azeda. A bacia do rio Monjolinho, que conta com o córrego Santa Maria Madalena (ou córrego Santa Maria do Leme), córrego do Jockey Clube, córrego Espreado, córrego Federal, córrego Belvedere, córrego Ponte de Tábua, córrego Alto Monjolinho, córrego Mineirinho, córrego Santa Fé, córrego Paraíso, córrego Tijuco Preto, córrego do Gregório, córrego Botafogo, córrego Medeiros, ribeirão Água Quente e ribeirão Água Fria (Suquisaqui e Oliveira, 2016).

A bacia do córrego do Gregório, que nasce em área rural, à leste da cidade de São Carlos, numa região de aproximadamente 900 metros de altitude (onde nascem também o rio Monjolinho e o ribeirão dos Negros, importantes cursos d'água deste município). Tem como afluentes pela margem direita o córrego Primeira Água perto da SP-310 antes do córrego do Gregório atravessar a rodovia, córrego Sorregotti perto da Educativa, córrego Lazarini próximo à Rua Major Manuel Antonio de Matos, córrego da Biquinha na Rua Visconde de Inhaúma (canalizado), e pela margem esquerda o córrego Simeão na região do mercado (canalizado), e corre no sentido oeste numa extensão aproximada de 7 km, onde deságua no rio Monjolinho, perto do Shopping Center (Suquisaqui e Oliveira, 2016).

2.2 CÓRREGO DO GREGÓRIO

A Micro Bacia do Córrego do Gregório possui uma área de 15,6 km² e perímetro de 22,4 km. O desnível máximo é de 166 m e 60% de sua área é urbanizada (ESTEVES, 2003). O Córrego tem extensão de aproximadamente 7 km (SALVADOR et al, 2013), percorre a área urbana no sentido Leste-Oeste e, de acordo com o jornal da cidade Primeira Página, a micro bacia conta com cinco afluentes: Córrego Primeira Água, Córrego Sorregotti, Córrego Lazarini, Córrego da Biquinha e Córrego Simeão.

O leito natural do Córrego foi bastante modificado na região central da cidade sendo retificado com o objetivo de facilitar a ocupação no local. Segundo o SEADE (2014), a cidade possui um grau de 96% de urbanização.

As regiões de planícies de inundação desse córrego foram aterradas elevando o nível das ruas no entorno, tais como Alexandrina, Episcopal e Avenida São Carlos. No local da planície de inundação deu-se origem às casas comerciais, praças da Piscina Municipal, dos Voluntários e do Mercado Municipal (CDCC, 2019) que corresponde ao centro do município em que a micro bacia está inserida.

Nessa área, em decorrência de atividades antrópicas, como a urbanização, houve o suprimento de algumas nascentes que alimentavam o Córrego do Gregório e da vegetação do entorno, deixando poucas áreas permeáveis na região. A canalização pode representar um fator importante no suprimento de nascentes, já que ela diminui o potencial de infiltração do solo, o que pode ser um fator que justifica a presença dos seus afluentes apenas em um dos lados da micro bacia, e não em toda a sua extensão (MAROTTI et al., 2014). Além disso, a canalização altera a dinâmica ecológica e paisagística do rio.

Devido a intensa atividade antrópica presente nessa área, e por corresponder a um trecho localizado em uma região de planície de inundação do Córrego, é recorrente a ocorrência de inundações, que atingem diretamente a população que reside e/ou trabalha nesse local, acarretando prejuízos para os comerciantes e pessoas.

Em relação às instituições públicas que atuam na micro bacia do Córrego do Gregório tem-se a Prefeitura Municipal de São Carlos e o Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE.

A Prefeitura Municipal de São Carlos estabeleceu no seu Programa de Metas – 2013/2016 a realização de uma intervenção no leito do córrego do Gregório, para minimizar o problema das enchentes no centro da cidade (Prefeitura Municipal de São Carlos).

Os órgãos municipais associados à Prefeitura são: Coordenadoria do Meio Ambiente, um órgão central que possui a função de efetivar as políticas públicas no município e região; Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano, responsável por políticas públicas urbanas, relacionadas ao meio físico, uso e ocupação do solo e na definição de políticas habitacionais, e; Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente (COMDEMA), órgão com função deliberativa, consultiva, normativa, recursal e que assessora o Poder Executivo em contextos ambientais (OLIVEIRA, 2010).

Além dessas instituições públicas, existem outras como a ONG Ramudá - Ramos que brotam em tempo de mudança, fundada em 2001, localizada na nascente do Córrego Lazarini, afluente do córrego do Gregório, mas não há informações sobre sua atual situação de funcionamento. Ainda existe o Centro de Divulgação Científica e Cultural, da Universidade de São Paulo, que realizou atividades de educação ambiental dentro da bacia, em que a proposta era levar os alunos de escolas públicas e particulares, para conhecerem desde a nascente até a foz do Córrego do Gregório, trabalhando os impactos causados pela ocupação urbana na bacia (CDCC, 2019).

Como a maior parte da micro bacia do Córrego do Gregório está dentro da UGRHI Tietê-Jacaré, outra instituição que pode atuar nela, é o comitê dessa Bacia Hidrográfica, que tem sua secretaria executiva sediada em Araraquara, município vizinho de São Carlos. O comitê conta com representantes municipais, universidades instaladas na região e sociedade civil. (PROTA, 2011).

Segundo o (CPTI, 2008), Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré, as águas subterrâneas garantem a alimentação e fluxo dos cursos d'água superficiais ao

longo do ano inteiro, sendo muito significativas tanto na captação para as diversas finalidades de uso quanto em termos de reserva.

O Plano da Bacia Tietê-Jacaré concede atenção especial ao uso sustentável dos recursos hídricos e recuperação ambiental dentro dos seus limites, indicando ações de conservação e recuperação da ictiofauna e biodiversidade; ações de manejo florestal, recomposição vegetal, preservação de vegetação remanescente; ações de controle e redução de riscos de contaminação de águas devido a atividades de mineração; ações de ordenamento das atividades de extração mineral; entre outras ações (CPTI, 2008).

A UGRHI em questão pode ser dividida em 6 sub-bacias:

- 1) Sub-Bacia do rio Jacaré-Guaçu e afluentes diretos do rio Tietê;
- 2) Sub-Bacia do rio Jacaré-Pepira e afluentes diretos do rio Tietê;
- 3) Sub-Bacia do rio Jaú/ribeirão da Ave Maria/ribeirão do Sapé e afluentes diretos do rio Tietê;
- 4) Sub-Bacia do rio Lençóis/ribeirão dos Patos e afluentes diretos do rio Tietê;
- 5) Sub-Bacia do rio Bauru/ribeirão Grande/ribeirão Pederneiras e afluentes diretos do rio Tietê;
- 6) Sub-Bacia do rio Claro/ribeirão Bonito/ribeirão do Veado/ribeirão da Água Limpa e afluentes diretos do rio Tietê.

Em relação a Micro-Bacia do Córrego do Gregório, que pertence a Sub-Bacia do Rio Monjolinho, a primeira divisão (Sub-bacia do rio Jacaré-Guaçu e afluentes diretos do rio Tietê) é a mais relevante, já que é nessa divisão que se encontra essa Sub-Bacia (CPTI, 2008).

2.3 DRENAGEM URBANA

2.3.1 Causas, impactos e controles

Segundo (TUCCI, 1995), com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela de água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções. Os efeitos principais da urbanização são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial.

Inundações Localizadas:

As inundações localizadas podem ser provocadas por:

- Estrangulamento da seção do rio devido a aterros e pilares de pontes, estradas, aterros para aproveitamento da área, assoreamento do leito do rio e lixo;
- Remanso devido a macrodrenagem. Rio principal, lago, reservatório ou oceano;
- Erros de execução e projeto de drenagem de rodovias e avenidas, entre outros. Normalmente, esses problemas disseminam-se nas áreas urbanas, a medida que existe pouco controle sobre as diferentes entidades que atuam na infraestrutura urbana. Adutoras, pontes ou rodovias são, frequentemente, projetadas sem se considerar seu impacto sobre a drenagem.

Urbanização:

As enchentes ampliadas pela urbanização, em geral, ocorrem em bacias de pequeno porte, de alguns quilômetros quadrados. Evidentemente que as exceções são as grandes regiões metropolitanas, como São Paulo, onde o

problema abrange cerca de 800 km². Nas grandes bacias, existe o efeito da combinação da drenagem dos vários canais de macrodrenagem, que são influenciados pela distribuição temporal e espacial das precipitações máximas.

A tendência da urbanização é de ocorrer no sentido de jusante para montante, na macrodrenagem urbana, devido às características de relevo. Quando um loteamento é projetado, os municípios exigem apenas que o projeto de águas pluviais seja eficiente no sentido de drenar a água do loteamento. Quando o poder público não controla essa urbanização ou não amplia a capacidade da macrodrenagem, a ocorrência das enchentes aumenta, com perdas sociais e econômicas. Normalmente, o impacto do aumento da vazão máxima sobre o restante da bacia não é avaliado pelo projetista ou exigido pelo município. A combinação do impacto dos diferentes loteamentos produz aumento da ocorrência de enchentes a jusante. Esse processo ocorre, através da sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macrodrenagem (riachos e canais) que atravessa as cidades. As áreas mais afetadas, devido à construção das novas habitações a montante, são as mais antigas, localizadas a jusante.

As consequências dessa falta de planejamento e regulamentação são sentidas em, praticamente, todas as cidades de médio e grande porte do país. Depois que o espaço está todo ocupado, as soluções disponíveis são extremamente caras, tais como canalizações, diques com bombeamentos, reversões e barragens, entre outras. O poder público passa a investir uma parte significativa do seu orçamento para proteger uma parcela da cidade que sofre devido à imprevidência da ocupação do solo. Esses fundos provêm de impostos de toda a população do município, estado ou da federação. Portanto, cabe, muitas vezes, questionar quem deve pagar e se deveria ser permitida essa ocupação.

Controle das Inundações:

As medidas de controle de inundações podem ser classificadas em estruturais, quando o homem modifica o rio, e em não estruturais, quando o homem convive com o rio. No primeiro caso, estão as medidas de controle através de obras hidráulicas, tais como barragens, diques e canalização, entre outras. No

segundo caso, encontram-se medidas do tipo preventivo, tais como zoneamento de áreas de inundação, alerta e seguros. Evidentemente que as medidas estruturais envolvem custos maiores que as não estruturais.

As principais medidas de controle de enchentes não estruturais são: zoneamento de áreas de inundação, sistema de alerta ligado a defesa civil e seguros. O zoneamento é baseado no mapeamento das áreas de inundação dentro da delimitação da cheia de 100 anos ou maior registrada. Dentro dessa faixa, são definidas áreas de acordo com o risco e com a capacidade hidráulica de interferir nas cotas de cheia a montante e a jusante. A regulamentação depende das características de escoamento, topografia e tipo de ocupação dessas faixas. O zoneamento é incorporado pelo Plano Diretor Urbano da cidade e regulamentado por legislação municipal específica ou pelo Código de Obras. Para as áreas já ocupadas, o zoneamento pode estabelecer um programa de transferência da população e/ou convivência com os eventos mais frequentes. O sistema de alerta tem a função de prevenir com antecedência de curto prazo, reduzindo os prejuízos, pela remoção, dentro da antecipação permitida.

A solução ideal deve ser definida para cada caso em função das características do rio, do benefício da redução das enchentes e dos aspectos sociais de seu impacto. Certamente, para cada situação, medidas estruturais e não estruturais podem ser combinadas para uma melhor solução. De qualquer forma, o processo de controle inicia pela regulamentação do uso do solo urbano através de um plano diretor que contemple as enchentes.

Impactos de resíduos nos sistemas de drenagem:

Até aqui, foram discutidos os tipos de inundações e o impacto devido à urbanização sobre o escoamento. Os outros impactos, tão importantes quanto a parte quantitativa das enchentes, são aqueles devido ao aumento da produção de sedimentos e à degradação da qualidade da água drenada pelos esgotos pluviais e contaminação dos aquíferos.

Durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza

de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outras causas.

Essa produção de sedimentos tem consequências ambientais importantes para as áreas urbanas. Algumas delas são as seguintes:

- Assoreamento da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. A lagoa da Pampulha é um exemplo de um lago urbano que tem sido assoreado. O arroio Dilúvio, em Porto Alegre, devido a sua largura e pequena profundidade durante as estiagens, tem depositado o aumento de produção de sedimentos das bacias de montante. Como consequência, criou-se vegetação dentro do canal, reduzindo sua capacidade para escoamento das enchentes;
- Transporte de substância poluente agregada ao sedimento. Durante as enchentes, as substâncias existentes na água da lavagem das ruas podem agregar-se aos sedimentos.

Vários resultados apresentados na literatura tem demonstrado que a qualidade de água pluvial não é melhor que a do efluente de um tratamento secundário. Em geral, a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é muito superior à encontrada no esgoto *in natura*. Esse volume é mais significativo no início das enchentes.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Micro Bacia do Córrego do Gregório está localizada no município de São Carlos - SP. Esse trabalho apresentará o trecho crítico do córrego, situado na região do Mercado Municipal. A Figura 2 abaixo apresenta esse trecho.

Figura 2 – Área crítica da Bacia do Córrego do Gregório



Fonte: Google Earth (2018).

3.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO

3.2.1 Estudo Hidrológico – Método SCS

O método SCS, ou método *Curve Number*, como já mencionado, foi desenvolvido em 1950 pelo *United States Department of Agriculture Soil Conservation Service (USDA SCS)*, atual *Natural Resources Conservation Service (NRCS)*, e desde então tem sido amplamente utilizado para estimar o escoamento superficial direto, a partir de eventos de precipitação. Na mesma época, foi criado, também pelo antigo SCS, o método do Hidrograma Unitário Triangular. Assim, quando utilizados juntamente são chamados de Métodos SCS.

O método é o mais aplicado neste sentido principalmente pela sua simplicidade e fácil aplicação, pois depende basicamente de três variáveis: precipitação, umidade antecedente do solo e do conjunto: tipo e cobertura do solo.

O método foi desenvolvido para atender às necessidades específicas do antigo SCS, para bacias rurais dos Estados Unidos da América - EUA, mas rapidamente foi adaptado para situações diferentes das originais. Novas tabelas com valores de CN (*Curve Number*) foram desenvolvidas, aplicações para ambientes urbanos foram demonstradas e vários modos de aplicação do método foram elucidados e reconhecidos (HAWKINS et al., 2009).

Hawkins et al. (2009) apresentaram o estado atual da prática da metodologia SCS, mas a primeira fonte de referência sobre os métodos é o *National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology (NEH4)*, lançado em 1954 e que passou por muitas atualizações, porém os principais conceitos mantiveram-se inalterados.

A atual versão do *NEH4* é o *National Engineering Handbook, Part 630, Hydrology (NEH 630)*, que se encontra dividido em 22 capítulos, de modo que cada um deles foi atualizado em diferentes momentos, os mais atuais são os capítulos: *Preliminary Investigations (2010)*, *Hydrologic Soils Groups (2009)*, *Stage-Inundation Relationships (2007)*, *Stage-Discharge Relationships (2012)*, *Time of Concentration (2010)*, *Hydrographs (2007)*, *Selected Statistical Methods (2012)*, *Transmission Losses (2007)*, *Watershed Yield (2009)* e *Glossary (2012)*.

Há ainda extensões para usos urbanos como o TR55 "*Urban Hydrology for Small Watersheds*" publicado em 1986, que alterou as classes de umidade antecedente do solo e incluiu novos valores de CN para usos do solo adicionais (HAWKINS et al., 2009).

Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005) apresentaram e discutiram as classificações hidrológicas do solo propostas por Lombardi Neto, em estudo realizado em 1989, e a original do SCS. Além disso, propuseram uma extensão para a classificação hidrológica do solo, apresentando sucintamente as principais características das classes de solos em nível de ordem para as unidades representativas dos grandes grupos encontrados no estado de São Paulo. Para analisar a classificação sugerida, os autores comparam os resultados obtidos com os resultados da aplicação da classificação original, para eventos observados na microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins, município de Piracicaba, São Paulo, que apresenta área de 21,87 km². Melhores resultados foram obtidos com a classificação hidrológica sugerida por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005) e com o hidrograma unitário da microbacia. Assim, os resultados indicaram que a classificação hidrológica do solo sugerida por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005) é mais adequada para as condições dos solos da bacia estudada e que o hidrograma unitário do SCS tende a superestimar a vazão de pico.

3.2.1.1 Recomendações de Uso

Além da sua fácil aplicação, no Brasil, o método SCS é indicado pelo Departamento de Água e Energia Elétrica do estado de São Paulo (DAEE) para o cálculo de vazões máximas e geração de hidrogramas para o dimensionamento de dispositivos hidráulicos sujeitos à outorga, em bacias com áreas superiores a 2 km², quando não há dados históricos fluviométricos. Sendo assim, mesmo que se tenha preferência por outros métodos para a transformação chuva-vazão, é recomendado seguir as diretrizes do órgão outorgante.

Segundo Genovez (2001), os autores: USBR (1977), Wilken (1978), McCuen (1982) e Hjelmfelt e Cassidy (1975) recomendam que o método seja

aplicado para bacias com áreas inferiores a 2.600 km², cuja vazão máxima é formada principalmente pelo escoamento superficial direto de precipitações em forma de chuva. Enquanto Ramos (1999), por considerar o método pouco flexível, devido ao fato do hidrograma do SCS utilizar somente um parâmetro dinâmico (t_c), sugere a aplicação do SCS para bacias com áreas entre 3 e 250 km². E para Tomaz (2002), o método deve ser aplicado para a mesma faixa recomendada por Ramos (1999), 3 a 250 km².

3.2.1.2 Precipitação Efetiva

O embasamento físico do método SCS pode ser explicado pela fórmula a seguir.

$$\frac{\text{volume infiltrado}}{\text{capacidade máxima de absorção}} = \frac{\text{precipitação efetiva}}{\text{precipitação total}}$$

Equação 1;

Como ocorrem perdas iniciais nesse processo, que normalmente estão associadas à retenção por depressões do terreno e cobertura vegetal, a equação apresenta-se conforme abaixo.

$$\frac{P - Q - Ia}{S} = \frac{Q}{P - Ia} \quad \text{Equação 2;}$$

Em que:

- Q : altura da lâmina d'água escoada (mm);
- P : altura precipitada (mm);
- S : índice de armazenamento d'água no solo da bacia (mm);
- Ia : perdas iniciais (mm).

Sendo o parâmetro Ia estimado pelos criadores do método em 20 % de S , tem-se o simples equacionamento que relaciona a altura precipitada, P , à altura da

lâmina escoada, Q , e o índice de armazenamento d'água na bacia, S , como apresentado pela equação 3, na forma amplamente utilizada na atualidade.

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad \text{Equação 3;}$$

A equação é válida quando $P \geq 0,2S$. Caso contrário, $P < 0,2S$, o modelo admite que não ocorre deflúvio superficial, ou seja, $Q=0$.

O índice de armazenamento de água na bacia, S em mm, está relacionado com o CN, conforme a equação a seguir:

$$CN = \frac{25.400}{254 + S} \quad \text{Equação 4;}$$

Em que:

- CN : *Curve Number* ou número de deflúvio (adimensional).
- S : índice de armazenamento d'água na bacia (mm).

O CN é o parâmetro do método que reflete as condições de uso e ocupação e tipos de solos. É um valor adimensional que pode variar entre 0 e 100. A partir do CN, é possível estimar o máximo potencial de retenção de água de uma determinada área de drenagem em um determinado momento.

A quantidade de chuvas anteriores e consequentes umidades anteriores do solo são bastante significativas para o cálculo das vazões extremas. Dessa maneira, o Método SCS distingue três condições de umidade antecedente do solo:

- Condição I: solos secos - chuvas recentes não ultrapassam 1 mm;
- Condição II: solos umedecidos - chuvas nos últimos cinco dias atingindo um total de até 40 mm. Esta condição é normalmente assumida em projetos de drenagem urbana;
- Condição III: solos úmidos (próximos da saturação) - chuvas nos últimos dias superiores a 40 mm.

A literatura apresenta uma equivalência entre os índices de armazenamento

d'água em bacias para três condições de umidade do solo descritas, conforme as relações a seguir. Vale destacar que a relação descrita anteriormente é válida para uma condição intermediária, a condição II. O índice de armazenamento de água "S" das condições I e III relaciona-se com a condição II pelas seguintes equações:

$$S_I = 2,281 \cdot S_{II} \quad \text{Equação 5;}$$

$$S_{III} = 0,427 \cdot S_{II} \quad \text{Equação 6;}$$

Em que:

- S_I : índice de armazenamento para a condição I;
- S_{II} : índice de armazenamento para a condição II;
- S_{III} : índice de armazenamento para a condição III.

Para a classificação hidrológica do solo é necessário conhecer o tipo de solo presente na bacia, o que pode ser feito a partir da análise de mapas pedológicos que contenham a área de estudo ou a partir de testes com amostras dos solos da bacia. Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005) distinguem quatro tipos de solos, conforme mostra o **Tabela 1**.

Tabela 1– Classificação hidrológica do solo para as condições brasileiras (continua)

Grupo Hidrológico A

- Solos muito profundos (profundidade > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm);
- Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância a erosão;
- Solos porosos com baixo gradiente textural (< 1,20);
- Solos de textura média;
- Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil;
- Solos bem drenados ou excessivamente drenados;
- Solos com argila de atividade baixa, minerais de argila 1:1;
- As texturas dos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.

Enquadra-se neste grupo o:

LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.

Grupo Hidrológico B

- Solos profundos (100 a 200 cm);
- Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância à erosão;
- Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50;
- Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso;
- Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil;
- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;
- As texturas dos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.

Enquadra-se neste grupo o:

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

- Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm);
- Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;
- Solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta;
- Solos associados à argila de atividade baixa;
- A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.

Enquadra-se neste grupo o:

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

- Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão;
- Solos rasos (profundidade < 50 cm);
- Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade, minerais de argila 2:1;
- Solos argilosos associados à argila de atividade alta;
- Solos orgânicos.

Enquadra-se neste grupo o:

NEOSSOLO LITÓLICO, 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, (2004) *apud* Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005).

Conhecidos os grupos hidrológicos aos quais pertencem os solos da bacia em estudo e os usos e ocupação do solo na mesma, é possível determinar os CN's, através de tabelas existentes na literatura. Há inúmeras tabelas existentes para valores de CN, entre essas estão as elaboradas pelo USDA (1986), que informam o valor de CN de diversos tipos de uso do solo, para os quatro grupos hidrológicos e condições de umidade antecedentes.

3.2.1.3 Hidrograma Unitário Sintético

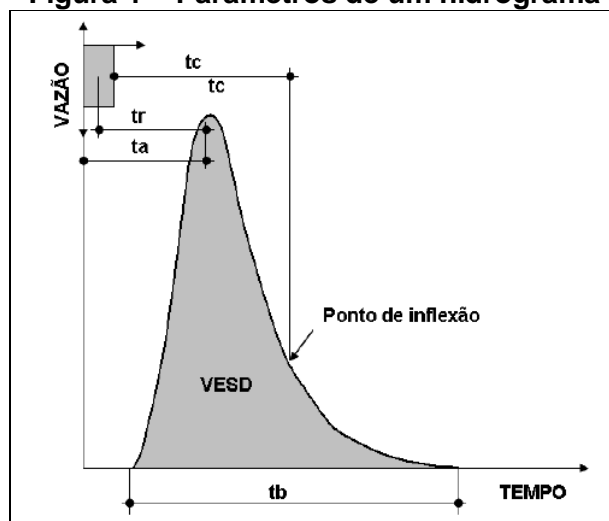
Determinada a vazão máxima, o hidrograma de enchente pode ser obtido através do hidrograma unitário observado, a partir das equações de convolução ou, quando não há dados históricos disponíveis, a partir do hidrograma unitário sintético, determinado a partir de parâmetros relacionados com as características físicas das bacias (GENOVEZ, 2001).

O hidrograma representa graficamente a variação da vazão em relação ao tempo, numa determinada seção de controle do curso d'água de interesse. Este é caracterizado por seu volume e forma, que juntos determinam o valor da vazão de pico. Pode-se dizer que o hidrograma é o hietograma de chuva excedente modificado pelas características de escoamento da bacia, somado às contribuições dos escoamentos subsuperficial e subterrâneo. A vazão nessa seção é a soma da precipitação recolhida diretamente pela superfície livre das águas, do escoamento superficial propriamente dito, do escoamento subsuperficial e da contribuição do lençol de água subterrâneo. Nos estudos de cheias, considera-se de forma mais detalhada o escoamento superficial direto (ESD). Assim, a contribuição do escoamento subsuperficial e subterrâneo é admitida de

forma simplificada (SILVEIRA, 2010).

A forma do hidrograma é usualmente determinada em função dos parâmetros de tempo como se apresenta na Figura 1. O hidrograma mostrado é formado por um bloco único de chuva excedente com duração “D” e intensidade constante; “ t_c ” é o tempo de concentração, tempo decorrido desde o término da chuva até o ponto de inflexão, o qual representa o instante em que a contribuição do ponto mais distante da bacia passa pela seção de interesse; “ t_a ” é o tempo de ascensão, ou seja, o tempo decorrido desde o início da chuva excedente até o pico do hidrograma e “ t_b ” é a duração total do escoamento superficial direto; “ t_r ”, tempo de retardo, é o tempo que vai do centro de massa do hidrograma de chuva excedente até o pico do hidrograma e VESD é o volume do escoamento superficial direto (SILVEIRA, 2010).

Figura 1 – Parâmetros de um hidrograma



Fonte: Silveira (2010)

O hidrograma unitário é um dos métodos mais práticos para determinação do hidrograma resultante quando há dados observados de chuva e vazão. Quando não é esse o caso, pode-se lançar mão de hidrogramas unitários sintéticos.

A metodologia do Hidrograma Unitário Triangular (HUT) sintético do SCS baseia-se em relações geométricas, pois considera que o hidrograma de cheia

apresenta formato triangular e, uma vez determinados o tempo de base e a área desse triângulo, que é numericamente igual ao volume do escoamento superficial, calcula-se a vazão de pico.

O HUT do SCS (Figura 2) é determinado a partir da vazão de pico (Q_p), do tempo de pico (t_p) e do tempo de base (t_b), conforme as equações 7, 8 e 9. O cálculo resume-se em: para a duração “D” escolhida, calcula-se primeiramente o “ t_p ” (Equação 7), com o valor obtido calcula-se o “ t_b ” (Equação 8) e finalmente o “ Q_p ” (Equação 9), que definem o HUT para uma precipitação efetiva unitária.

$$t_p = \frac{D}{2} + 0,6 t_c \quad \text{Equação 7;}$$

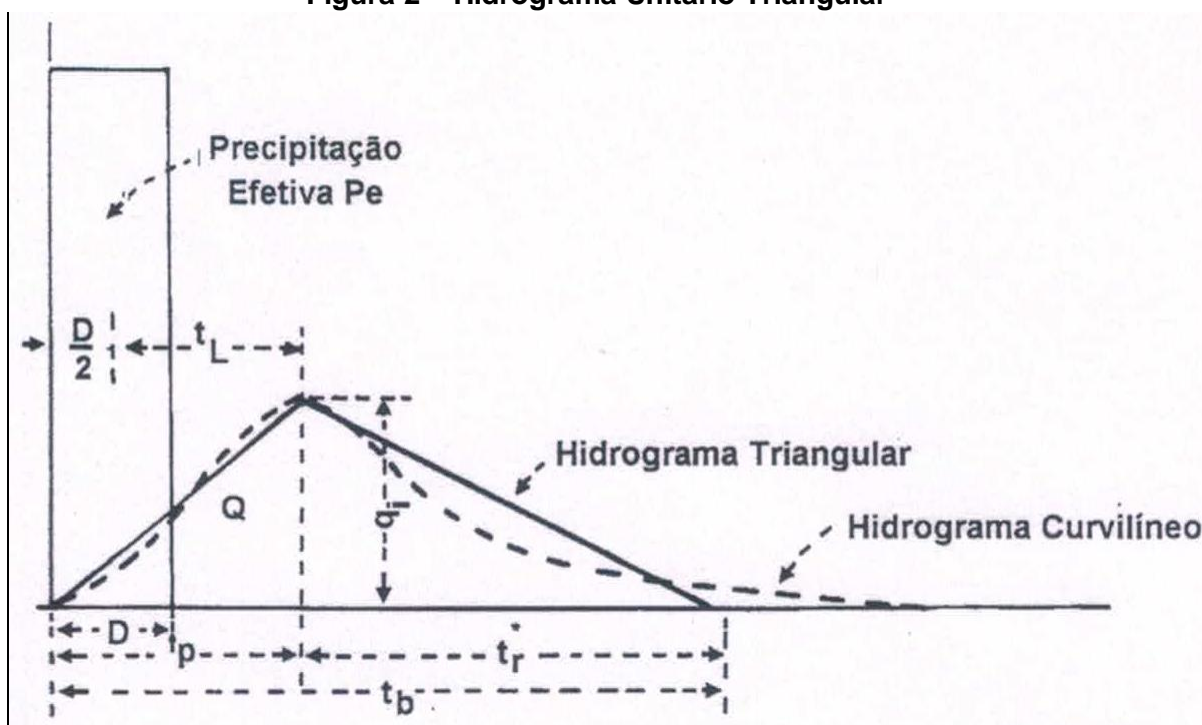
$$t_b = t_r^* + t_p = 2,67 t_p \quad \text{Equação 8;}$$

$$Q_p = \frac{2,08 AP_e}{t_p} \quad \text{Equação 9;}$$

Em que:

- Q_p : vazão de pico do HUT ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);
- A: área da bacia (km^2);
- t_p : tempo de pico (horas);
- t_b : tempo de base (horas);
- t_c : tempo de concentração (horas);
- t_r^* : tempo de recessão (horas);
- D: duração da chuva unitária (horas).

Figura 2 – Hidrograma Unitário Triangular



Fonte: Genovez (2001).

Para se obter o hidrograma de cheia, divide-se a chuva de projeto em intervalos de tempo igual a “D” e para cada uma delas obtém-se a correspondente precipitação efetiva, conforme item 3.4.2. Multiplica-se a vazão máxima (Q_p) pela altura de precipitação efetiva da parcela correspondente, permanecendo iguais os valores de “ t_p ” e “ t_b ”.

3.2.1.4 Aplicações do método

A seguir são apresentadas algumas aplicações do método. Entre elas, há casos em que os resultados obtidos foram comparados aos resultados existentes e considerados satisfatórios. Em outros, a análise de sensibilidade permitiu concluir que pequenas diferenças entre os parâmetros adotados resultam em grandes diferenças nas vazões de pico.

Segundo Tomaz (2002), David H. Pilgrim e Ian Cordery no capítulo 9 do livro *Handbook of Hydrology* de David R. Maidment escrito em 1993, 1600 pesquisas realizadas nos Estados Unidos (estados de Nevada, Texas e Novo México) chegaram a resultados com variações do pico de vazão de aproximadamente 50 %, devido a dois fatores principais: as adoções do tempo de concentração e do valor do CN.

Segundo Porto (1995), as discrepâncias notadas na determinação das vazões de projeto se devem principalmente à escolha dos parâmetros de projeto, em especial o tempo de concentração e o valor de CN, para os casos em que se utilizam os métodos SCS. Isso se dá principalmente pelo fato desses parâmetros representarem fenômenos complexos e serem influenciados por inúmeros fatores. Para ilustrar o efeito desses parâmetros foi realizado um estudo, para a determinação do hidrograma de cheia, em uma bacia urbana com 10 km² de área de drenagem. A análise de sensibilidade dos resultados demonstrou que, quando se varia o CN de 90 para 85 e o tempo de concentração de 0,8 h para 1 h, obtém-se a variação da vazão de 71 m³.s⁻¹ para 44 m³.s⁻¹. As diferenças entre os parâmetros podem ser consideradas pequenas e estar dentro de faixas de erros usuais em hidrologia, porém geram resultados com discrepância de 62 %.

Abdullah et al. (2004) aplicaram o método SCS para a bacia Sungai Tasoh localizada na Malásia. Com o estudo foi possível concluir que o uso do método SCS resultou numa boa estimativa da vazão máxima e do volume do hidrograma, isso porque este foi calibrado a partir de hidrogramas de cheia observados.

Mishra et al. (2003) desenvolveram o modelo Curva Número Modificado (CN-MMS) incorporando a umidade antecedente e a precipitação pluvial acumulada de cinco dias anteriores, bem como a variação nos valores do coeficiente de perdas iniciais. Um procedimento foi sugerido para a determinação do índice de armazenamento d'água no solo da bacia, com o uso de uma quantidade de precipitação antecedente de 5 dias. O método modificado apresentou um bom desempenho para os mesmos conjuntos de dados utilizados pelo SCS, porém a versão modificada requer um conhecimento prévio da taxa de

infiltração mínima, além de ser um modelo que utiliza 2 (dois) parâmetros, o que o torna mais complexo.

Beskow et al. (2009) realizaram um estudo em uma bacia hidrográfica localizada no município de Nazareno, estado de Minas Gerais, com área de 477 ha e declividade média de 13,64 %, caracterizada pelo predomínio de Latossolos, pois ocupam 70 % da bacia. Neste estudo, foram utilizados os modelos hidrológicos SCS e Curva Número Modificado (CN-MMS), com auxílio de um SIG. Para simulação e avaliação de ambos os modelos, foram aplicados 18 eventos de chuva natural e suas respectivas lâminas de escoamento observadas, durante o ano hidrológico 2004-2005. O modelo CN-MMS apresentou melhor calibração quando comparado ao modelo SCS, devido à consideração direta da umidade inicial do solo. As lâminas do escoamento simulado pelos modelos estruturados no SIG apresentaram resultados satisfatórios, demonstrando que a aplicação dos métodos em ambiente SIG produz melhores resultados.

Kabiri et al. (2013) aplicaram os métodos SCS e Green-Ampt em uma bacia de 674 km², localizada na Malásia, para a estimativa da vazão de pico e do volume do escoamento superficial direto e compararam os resultados com os obtidos a partir de dados observados. Não houve diferenças significativas entre os resultados, porém a aplicação do SCS é mais fácil quando comparada à aplicação do método Green-Ampt.

Isik et al. (2013) desenvolveram um modelo híbrido, baseado em Redes Neurais Artificiais (ANNs, sigla em Inglês) e no SCS, para prever o efeito das Mudanças nos Usos/Coberturas da Terra (LULC, sigla em Inglês), nas vazões diárias. As ANNs são métodos computacionais concebidos para modelar a forma como o cérebro humano desempenha uma tarefa ou função de interesse particular e podem ser muito poderosos na modelagem de séries de dados suficientemente longas. Assim, o método SCS foi utilizado no estudo para a obtenção de estimativas iniciais do escoamento superficial. Essas estimativas foram então usadas como entradas para o modelo ANNs, juntamente com outros parâmetros para prever o escoamento superficial direto e o escoamento de base, soma que produz a vazão. O estudo mostrou a força do acoplamento de um modelo semi-

empírico, ou seja, método SCS, com uma abordagem baseada em dados, ou seja, ANNs, na previsão dos efeitos das mudanças do uso e cobertura, na vazão. A principal limitação desta abordagem é a necessidade de uma série suficientemente longa de dados históricos de vazão de vários mananciais.

Deshmukh et al. (2013) estimaram o *Curve Number* para três bacias hidrográficas, Barureva, Sher e Umar, localizadas na Índia, utilizando-se três métodos diferentes. Assim, os CN's foram calculados com base em eventos chuva-vazão observados, no uso e cobertura do solo e na declividade do terreno.

Foi possível concluir entre outras questões que, apesar do efeito da inclinação no volume de escoamento já tenha sido claramente estabelecido, algumas tentativas têm sido feitas para estudar o efeito do relevo no método SCS.

Deste modo, o estudo mostrou que o CN ajustado pela inclinação é inferior ao CN convencional em áreas com declive inferior a 5 % e maior que o CN convencional para áreas com declividade superior a 5 %. Além disso, uma significativa diferença no CN é observada nas áreas florestais que geralmente estão localizadas em encostas. Assim, para o planejamento de micro bacias hidrográficas, o método SCS deve ser modificado para incorporar os efeitos das mudanças no uso e ocupação do solo, além do efeito da inclinação do terreno. Mais pesquisas são necessárias para estudar o efeito de parâmetros morfológicos no CN.

Nayak et al. (2012) investigaram os efeitos das mudanças do uso da terra no escoamento superficial. Para tanto, foram utilizadas imagens de satélite referentes a dois períodos diferentes, anos de 2001 e 2007, e interpretadas a partir do *software* Sistema de Informação integrado de Terra e Água (ILWIS, sigla em Inglês), um software gratuito de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que foi utilizado para elaboração de mapas de uso do solo/cobertura, análise de sua distribuição espacial e das mudanças ocorridas entre os dois períodos. Os autores chegaram à conclusão de que os dados de sensoriamento remoto são de grande utilidade para a estimativa de parâmetros hidrológicos, tais como: cobertura de uso do solo/terra, solos, geomorfologia, drenagem, etc. O SIG oferece potencial para aumentar o grau de definição de subunidades espaciais,

em número e em detalhe descritivo. Além disso, a combinação entre o sensoriamento remoto e modelo SCS permite uma estimativa de escoamento mais precisa e rápida, pois o SIG é uma ferramenta eficiente para a preparação dos dados de entrada exigidos pelo modelo SCS.

3.3 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS

Para realização desse estudo serão utilizados materiais com o objetivo de complementar e enriquecer os resultados obtidos. Alguns desses materiais são:

- Documentos e Leis Municipal, Estadual e Federal;
- Trabalhos e Discussões realizadas na área de estudo,
- Material Audiovisual histórico da área de estudo;
- Dados Pluviométricos;
- Software Canais;
- HEC – HMS – (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System);

A etapa inicial da pesquisa foi a identificação da situação atual da área de estudo, por meio de fotografias, reportagens e vídeos, além da visita física ao local, para observação participante, de forma que possibilitasse avaliar a situação da área.

Em seguida, foi discutido com técnicos e especialistas possíveis causas que levam ao acontecimento recorrente da inundação no trecho. Além de conversas e opiniões de moradores e comerciantes residentes na região sobre os transtornos sofridos ao longo dos anos.

A próxima etapa aborda os motivos que resultam nas inundações, tais como incidência de chuvas, seção transversal do canal insuficiente, acúmulo de resíduos sólidos nos sistemas de drenagem, entre outros fatores que contribuem para tal evento.

A partir da obtenção dos dados, estes serão aplicados em cálculos e verificações para posteriormente apresentar as causas reais dos acontecimentos,

além de sugerir medidas para qual possa amenizar os impactos causados pela inundação.

3.3.1 HEC – HMS

O Hydrologic Modeling System (HEC – HMS) foi projetado para simular os processos hidrológicos completos dos sistemas de bacias dendríticas. O software inclui muitos procedimentos tradicionais de análise hidrológica, como infiltração de eventos, hidrogramas de unidades e roteamento hidrológico. O HEC-HMS também inclui procedimentos necessários para simulação contínua, incluindo evapotranspiração, derretimento da neve e contabilidade de umidade do solo. Recursos avançados também são fornecidos para simulação de escoamento em grade usando a transformação de escoamento quase distribuído linear (ModClark). São fornecidas ferramentas de análise suplementares para otimização do modelo, previsão do fluxo do fluxo, redução da área de profundidade, avaliação da incerteza do modelo, transporte de erosão e sedimentos e qualidade da água.

O software possui um ambiente de trabalho completamente integrado, incluindo um banco de dados, utilitários de entrada de dados, mecanismo de computação e ferramentas de relatório de resultados. Uma interface gráfica do usuário permite ao usuário um movimento contínuo entre as diferentes partes do software. Os resultados da simulação são armazenados no HEC-DSS (Data Storage System) e podem ser usada em conjunto com outro software para estudos de disponibilidade de água, drenagem urbana, previsão de vazão, impacto futuro da urbanização, projeto de vertedouro de reservatório, redução de danos de inundação, regulação de planícies de inundação e operação de sistemas.

4 RESULTADOS

4.1 HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO URBANA DA BACIA DO GREGÓRIO

A ocupação urbana da Bacia do Gregório se deu a partir do centro da cidade em direção ao leste, no sentido de montante para jusante. A Rodovia Washington Luiz constituiu uma barreira para a ocupação urbana, impedindo que tal processo alcançasse a região de nascentes da bacia.

Nota-se que até aproximadamente 1980 as taxas da cidade e da bacia de estudo seguiram processos semelhantes: acréscimo de 1950 a 1970 e decréscimo de 1970 a 1980. A partir de 1990 os processos começaram a se diferenciar: a taxa de urbanização da bacia de estudo praticamente se estabilizou, enquanto a taxa da cidade aumentou, pois a expansão urbana passou a se dar com maior representatividade fora da bacia do Gregório.

A evolução entre 1950 e 2002 da taxa de urbanização (km²/ano) da Bacia do Gregório pode ser dividida em três estágios.

O primeiro estágio, de 1950 a 1970, foi caracterizado por intenso aumento, atingindo o maior valor entre o período total de 1950 a 2000. Portanto, foi no primeiro estágio em que se deu o processo de urbanização mais rápido e intenso da bacia. No segundo estágio, de 1970 a 1980, a bacia foi urbanizada com velocidade menor do que a do primeiro estágio, pois a taxa de urbanização sofreu diminuição representativa. O terceiro estágio, de 1980 a 2002, apresenta uma estabilização da tendência de urbanização da bacia.

De acordo com registros históricos as retificações mais representativas do Córrego do Gregório ocorreram na década de 1970 (A FOLHA, 1972), exatamente no momento em que a taxa de urbanização começou a diminuir. Esse fato vem reforçar a hipótese de que a intensa urbanização da bacia, de 1950 a 1970, gerou grandes impactos no seu sistema de escoamento. Para solucionar o problema, a solução adotada foi a canalização do Córrego do Gregório. Tal solução foi baseada na herança do conceito higienista, bastante presente no início do Século XX no Brasil, e que preconizava a eliminação sistemática de águas paradas ou

empoçadas nas cidades como medidas de saúde pública (SILVEIRA, 1998). A partir de então, as medidas mitigadoras dos impactos de inundações aplicadas na Bacia do Gregório se caracterizaram predominantemente pela aplicação de medidas estruturais intensivas, orientadas pelo conceito higienista.

O conceito higienista é indicado por Silveira (1998) como o princípio adotado pela primeira etapa de desenvolvimento da Hidrologia Urbana no Brasil. Em 1970, momento em que foram realizadas as canalizações mais expressivas do Córrego do Gregório, o desenvolvimento da Hidrologia Urbana no Brasil passava, de acordo com o referido autor, pela etapa de Racionalização e Normatização. O autor ressalta que essa etapa não se desenvolveu de forma ideal no Brasil, pois foi caracterizada pela importação direta de métodos sem estudos de validação local, prejudicando o estabelecimento de normas nacionais e de planejamento, que poderia ter alertado para o impacto de certas práticas em um país de intensa urbanização.

4.2 HISTÓRICO DA REGIÃO DO MERCADO MUNICIPAL

O processo de urbanização da Bacia do Gregório promoveu transformações bastante representativas em algumas de suas regiões, das quais destacaremos a região do Mercado Municipal, por se tratar de um dos principais pontos de inundação da cidade.

A praça onde se localizou o primeiro Mercado Municipal de São Carlos, limitada pelas vias Avenida São Carlos, Rua Jesuíno de Arruda, Rua Episcopal e Rua Geminiano Costa, foi inaugurada na década de 1910. Embora o Mercado Municipal já se localizasse nessa região, a ocupação estabelecida nesse momento era bastante diferente da atual. O primeiro Mercado Municipal de São Carlos localizava-se à margem esquerda do Córrego do Gregório, sendo composto por dois edifícios: um destinado ao comércio de carnes, mais próximo da Avenida São

Carlos, e outro para o comércio de frutas e verduras, mais próximo da Rua Episcopal.

A inauguração da Praça do Mercado Municipal foi seguida por uma série de modificações na região. Com a inauguração da Praça dos Voluntários e da Piscina Municipal, em 1934, essa região passou a ser composta por uma sequência de três praças. Em 1968 foi inaugurado o novo Mercado Municipal, localizado à margem direita do Córrego do Gregório.

O fato do Mercado Municipal ter sido implantado em uma área que antes dava lugar a uma das três praças, que buscavam conferir ao fundo de vale um uso recreativo, indica que a intenção paisagística foi colocada em segundo plano a partir desse momento. A partir de então, as intenções que guiaram as intervenções no fundo do vale do Gregório foram se afastando de conceitos paisagísticos, buscando exclusivamente a solução dos problemas de inundações com base nos conceitos higienistas, além de promover a impermeabilização das áreas de várzea.

Os registros históricos indicam que a região do Mercado Municipal sofria impactos causados por inundações já na década de 1930, a Figura 3 apresenta esses problemas e a Figura 4 apresenta os mesmos problemas já na década de 2010.

Figura 3 – Efeitos da enchente na Rua Geminiano Costa em 1930



Fonte: Jornal São Carlos em Rede (2018).

Figura 4 – Inundação na região do Mercado Municipal de São Carlos em 2013.



Fonte: Jornal Terra (2013).

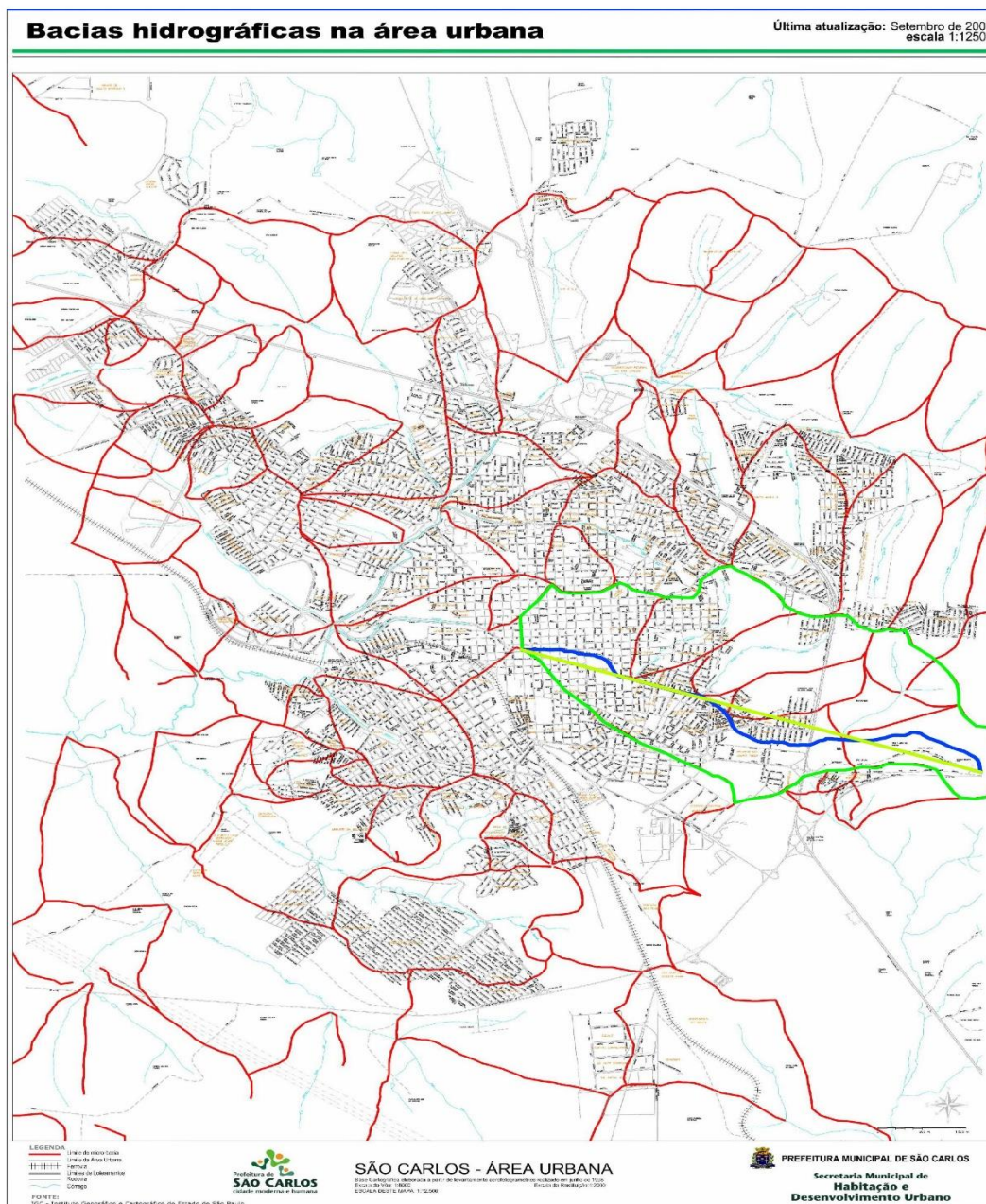
Para tal demonstração do problema será realizado o estudo hidrológico dessa região levando em consideração a bacia de contribuição, períodos de chuva, vazão máxima e verificação das dimensões do canal atual e apresentar possíveis causas para as enchentes.

4.3 PARÂMETROS DE PROJETO

4.3.1 DADOS DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO

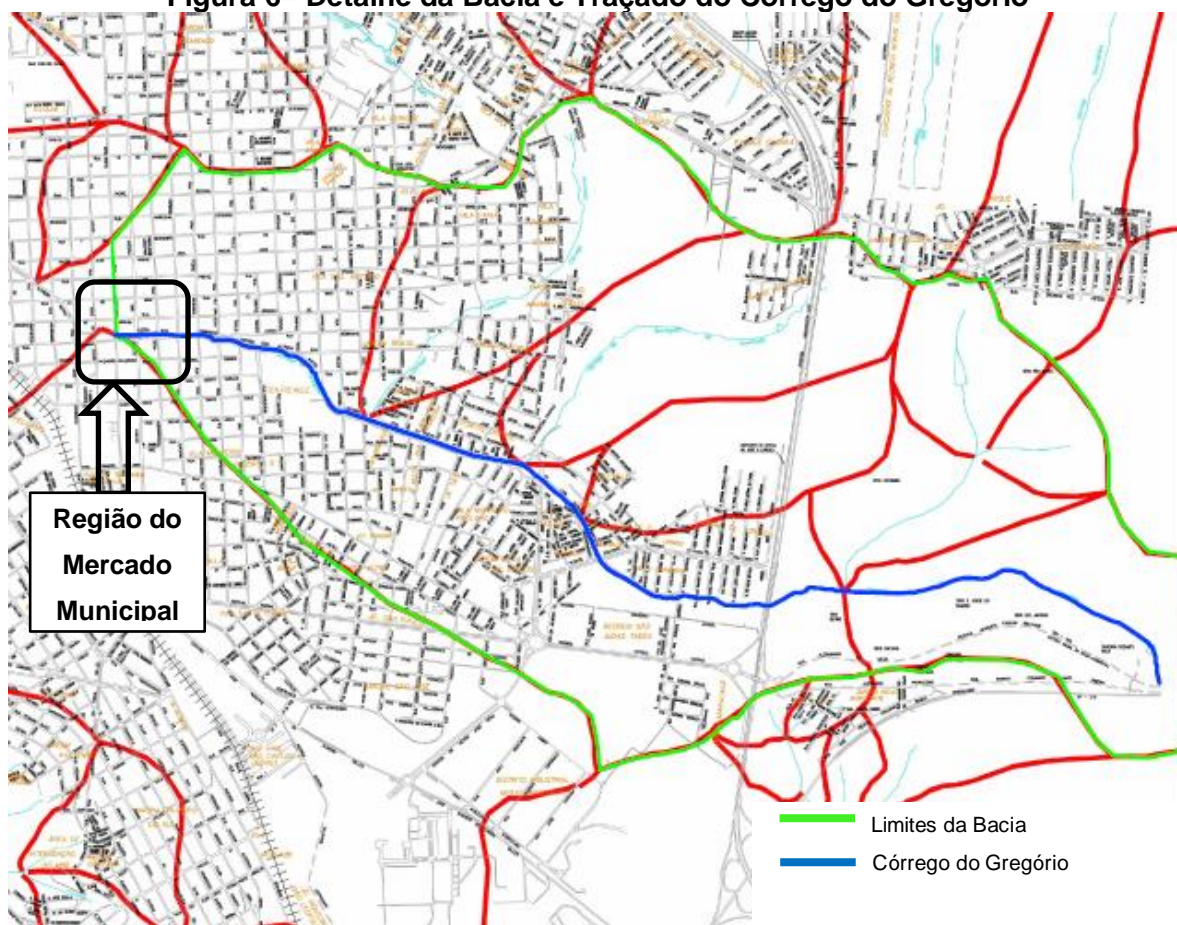
A seguir serão apresentados detalhes da bacia de contribuição do córrego do Gregório no município de São Carlos, levando-se em consideração o ponto de estudo desse trabalho que está localizado na região do Mercado Municipal. A Figura 5 apresenta um patamar geral das bacias hidrográficas da área urbana do município e a Figura 6 demonstra em detalhe a bacia do córrego do Gregório.

Figura 5 – Bacias Hidrográficas na área urbana do município de São Carlos



Fonte: ICG (1998).

Figura 6– Detalhe da Bacia e Traçado do Córrego do Gregório



Fonte: Adaptado de ICG (1998).

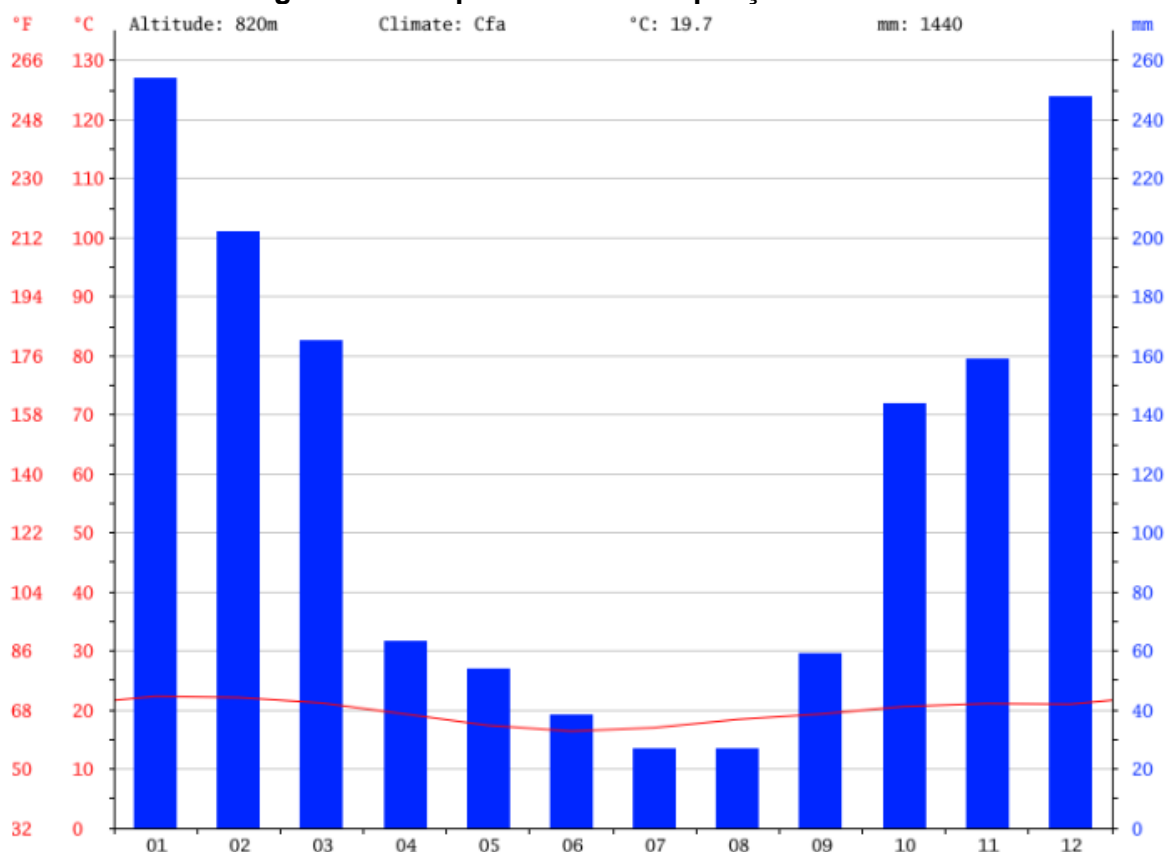
A partir de desenhos e cálculos foram definidos os seguintes parâmetros para os cálculos que serão realizados:

- Área da bacia: 11,40 Km²;
- Extensão do talvegue: 6,63 Km;
- Cota do terreno no ponto mais distante da bacia: 814,00m;
- Cota do terreno no ponto de estudo: 760,00m.

4.3.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Historicamente, em São Carlos-SP, o clima é quente e temperado. Mesmo no mês mais seco o índice de pluviosidade é alto. A pluviosidade média anual é de 1440 mm. A Figura 7 e Figura 8 apresentam de forma detalhada esses dados.

Figura 7 – Temperaturas x Precipitações Médias



Fonte: Climate-data (2019).

Figura 8 – Dados Climatológicos

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	22.3	22.1	21.2	19.3	17.4	16.4	17	18.4	19.3	20.6	21.1	21
Temperatura mínima (°C)	17.4	17.1	16	13.9	11.9	10.8	10.9	12.5	13.8	15.5	16.8	15.8
Temperatura máxima (°C)	27.2	27.1	26.4	24.7	23	22	23.1	24.3	24.8	25.7	25.5	26.2
Chuva (mm)	254	202	165	63	54	38	27	27	59	144	159	248

Fonte: Climate-data (2019).

4.3.3 ESTUDO HIDROLÓGICO

A modelagem hidrológica será realizada a partir do software HEC – HMS apresentado acima, juntamente com tabelas e dados complementares, abaixo apresenta-se os parâmetros adotados e calculado a cada etapa do estudo.

4.3.3.1 DETERMINAÇÃO DO CN

Para a determinação do CN, foi realizado um levantamento a partir de uma imagem aérea da área da bacia estudada, como o objetivo de decompor toda a extensão em 5 categorias a partir da característica da superfície em relação a impermeabilidade/Usos do solo, essas são subdivididas da seguinte forma: Muito Baixa – Vegetação, Baixa – Área Agrícola, Média – Misto, Alta – Área Urbana, Muito Alta – Área Urbana (Regiões Centrais). A divisão foi realizada a partir da Figura 9

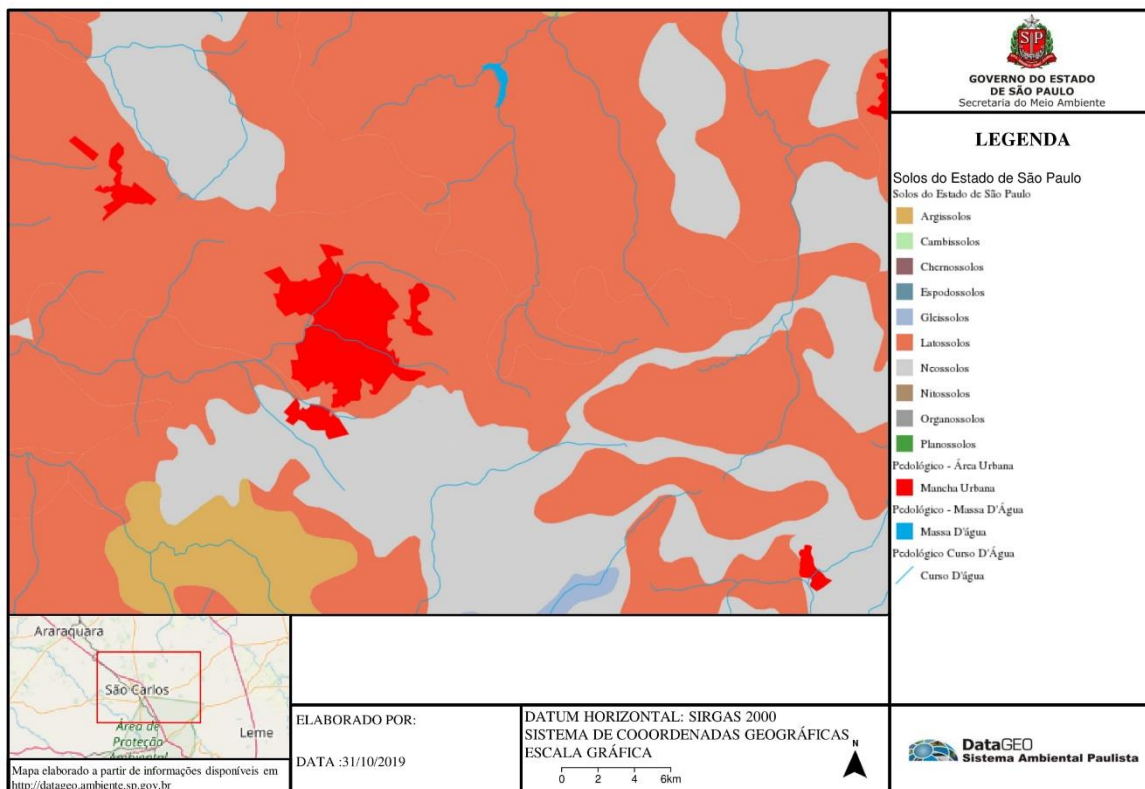
Figura 9 – Característica do Uso do Solo na bacia do Córrego do Gregório



Fonte: Google Earth (2018).

Também foi utilizada uma base onde se determinou o tipo de solo encontrado em predominância na região da bacia do córrego. A Figura 10 apresenta essas informações.

Figura 10 – Solos do Estado de São Paulo



Fonte: Datageo (2019)

Após a análise da imagem acima, conclui-se que na região estudada, predominantemente, o solo encontrado é o **latossolo**, que se observado a Tabela 1 o solo se enquadra no **Grupo C**. Por fim, para a determinação do CN observando-se os dados do Tabela 1 somado aos valores das áreas determinados acima, fazendo uso da Tabela 2 conclui-se que:

Tabela 2 - Composição de CN - Método SCS

Muito Baixa			
Vegetação			
Área (m ²)	Área (km ²)	CN	
3.100.990,19	3,10	70,00	
Baixa			
Área Agrícola			
Área (m ²)	Área (km ²)	CN	
3.514.687,84	3,51	70,00	
Média			
Misto			
Área (m ²)	Área (km ²)	CN	
756.504,35	0,76	79,00	
Alta			
Área Urbana			
Área (m ²)	Área (km ²)	CN	
718.760,97	0,72	90,00	
Muito Alta			
Área Urbana (regiões centrais)			
Área (m ²)	Área (km ²)	CN	
3.312.036,10	3,31	94,00	
Área total		CN	Impermeabilidade
(m ²)	(km ²)	-	%
11.402.979,45	11,40	78,83	34,50

Fonte: Adaptado de CANHOLI (2005), PAIVA E PAIVA (2001), TUCCI (1993) e TUCCI, PORTO E BARROS (1995).

4.3.3.2 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NA BACIA

Para os cálculos a seguir serão utilizados os dados apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Equação de chuva - São Carlos-SP

$$i_{t,T} = (t+16)^{-0,935} \cdot 25,33T^{0,236}$$

para $10 \leq t \leq 1440$

Onde: i: intensidade da chuva, correspondente à duração t e período de retorno T, em mm/min;

t: duração da chuva em minutos;

T: período de retorno em anos.

Fonte: DAEE

Tabela 3 - Chuva crítica

Equação adotada:	São Carlos	São Carlos	São Carlos	São Carlos
Período de retorno (anos):	10	25	50	100
Intensidade da chuva crítica (mm/h):	36,72	45,58	53,68	63,23
Intensidade da chuva crítica (mm/min):	0,61	0,76	0,89	1,05

Tempo de concentração - tc (min):		79,87	tc (horas)	1,33
-----------------------------------	--	-------	------------	------

Fonte: TUCCI (1993).

4.3.3.3 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL

Para a distribuição temporal, com o objetivo de alcançar valores consistentes foi utilizado dois métodos, esses são:

- Método de Huff: Huff (1967) desenvolveu quatro distribuições temporais para chuvas intensas com durações superiores a três horas, para a região Centro-Leste do Estado de Illinois (EUA). Foram analisados 11 anos de registros de chuvas de uma rede de 49 pontos pluviográficos distribuídos em uma área de cerca de 1.000 km². Os registros históricos de chuvas foram divididos em quatro grupos, cada um considerando ¼ da duração total da chuva, de acordo com o instante de ocorrência do pico de intensidade da precipitação. Para cada um desses grupos, denominados

quartis, 1º ao 4º, foram desenvolvidos os padrões médios de distribuição temporal.

- Método dos Blocos Alternados: é uma aproximação do método de Chicago. Uma chuva de projeto sintética pode ser construída com base nas curvas IDF, a partir da hipótese de que o somatório dos volumes de precipitação, à medida que se acrescentam blocos, coincide com o valor definido pelas curvas IDF, para cada duração parcial. A colocação dos blocos no hietograma é arbitrária e pode conduzir a diversas configurações. Existem algumas regras empíricas que devem conduzir a picos mais elevados. No método dos blocos quanto menor o passo de tempo empregado, maiores as intensidades de pico.

Tabela 4 - Huff 2º Quartil

Tr=100 anos	
tempo (min)	h (mm)
0,0	0,0
8	3,4
16	7,2
24	16,4
32	18,5
40	16,8
48	10,9
56	4,2
64	3,4
72	1,7
80	1,7

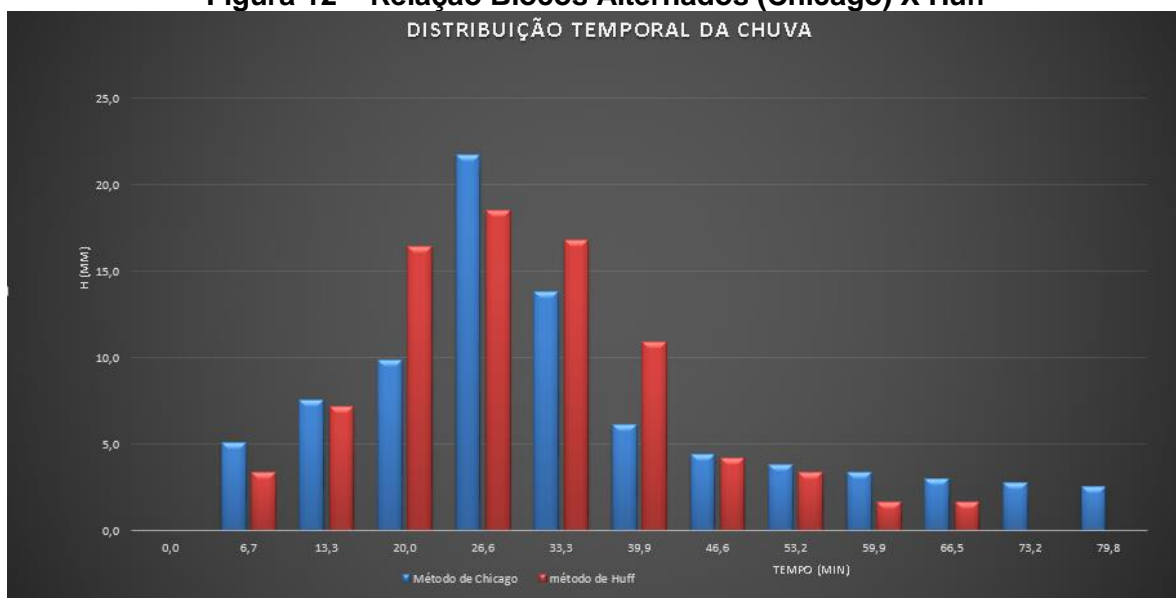
Fonte: TUCCI (1993).

Tabela 5 - Blocos Alternados

Tr=100 anos	
tempo (min)	h (mm)
0,0	0,0
7	5,1
13	7,6
20	9,9
27	21,8
33	13,8
40	6,1
47	4,4
53	3,8
60	3,4
67	3,0
73	2,8
80	2,5

Fonte: TUCCI (1993).

Figura 12 – Relação Blocos Alternados (Chicago) X Huff

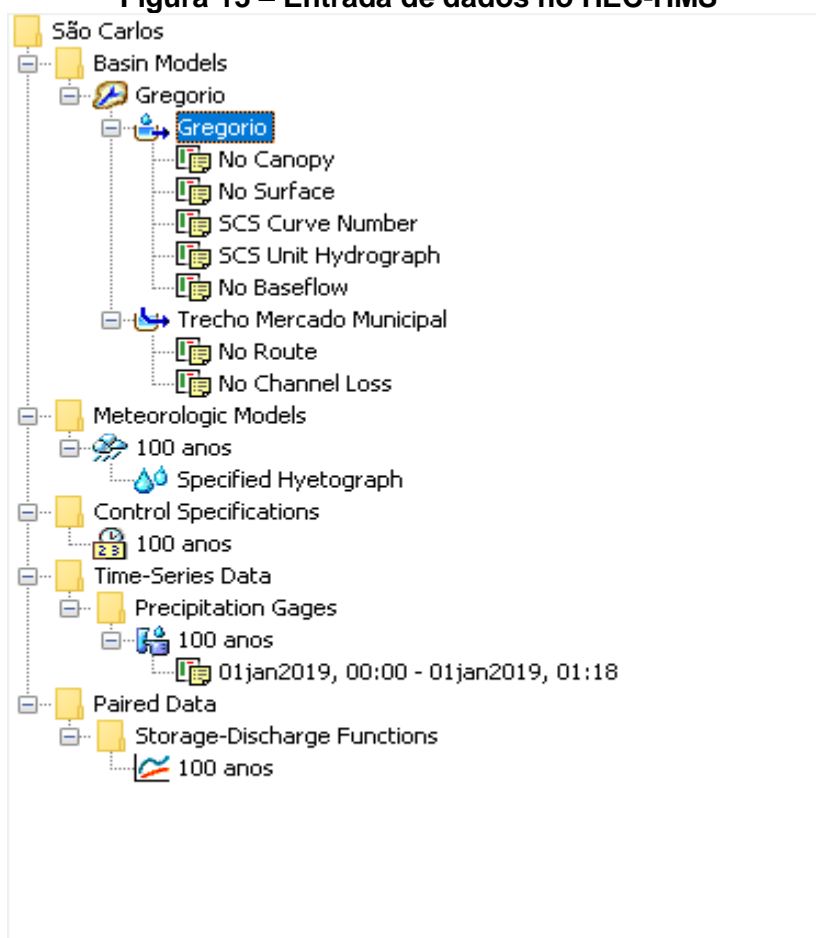


Fonte: TUCCI (1993).

Segundo o gráfico apresentado na Figura 12, optou-se pelo Método dos Blocos Alternados, onde, esse apresenta um **pico maior na intensidade da chuva**, por esse motivo a verificação a partir desses valores vai de encontro à segurança.

4.3.4 MODELAGEM HIDROLÓGICA

Figura 13 – Entrada de dados no HEC-HMS



Fonte: US Army Corps of Engineers (2019).

Figura 14 – Entrada de dados no HEC-HMS

The screenshot shows the 'Loss' tab in the HEC-HMS software. The 'Basin Name' and 'Element Name' are both set to 'Gregorio'. The 'Description' field is empty. The 'Downstream' dropdown menu is set to 'Trecho Mercado Municipal'. The '*Area (KM2)' is 11,4. The 'Latitude' and 'Longitude' fields are empty. The 'Canopy Method', 'Surface Method', and 'Baseflow Method' are all set to '--None--'. The 'Loss Method' is set to 'SCS Curve Number' and the 'Transform Method' is set to 'SCS Unit Hydrograph'.

Basin Name:	Gregorio
Element Name:	Gregorio
Description:	
Downstream:	Trecho Mercado Municipal
*Area (KM2)	11,4
Latitude Degrees:	
Latitude Minutes:	
Latitude Seconds:	
Longitude Degrees:	
Longitude Minutes:	
Longitude Seconds:	
Canopy Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	SCS Curve Number
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

Fonte: US Army Corps of Engineers (2019).

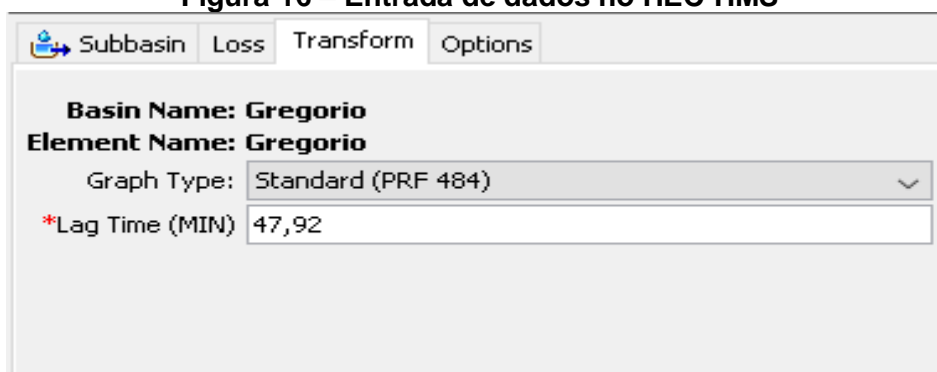
Figura 15 – Entrada de dados no HEC-HMS

The screenshot shows the 'Loss' tab in the HEC-HMS software. The 'Basin Name' and 'Element Name' are both set to 'Gregorio'. The 'Initial Abstraction (MM)' field is empty. The '*Curve Number' is 78,83 and the '*Impervious (%)' is 0,0.

Basin Name:	Gregorio
Element Name:	Gregorio
Initial Abstraction (MM)	
*Curve Number:	78,83
*Impervious (%)	0,0

Fonte: US Army Corps of Engineers (2019).

Figura 16 – Entrada de dados no HEC-HMS



Subbasin Loss Transform Options

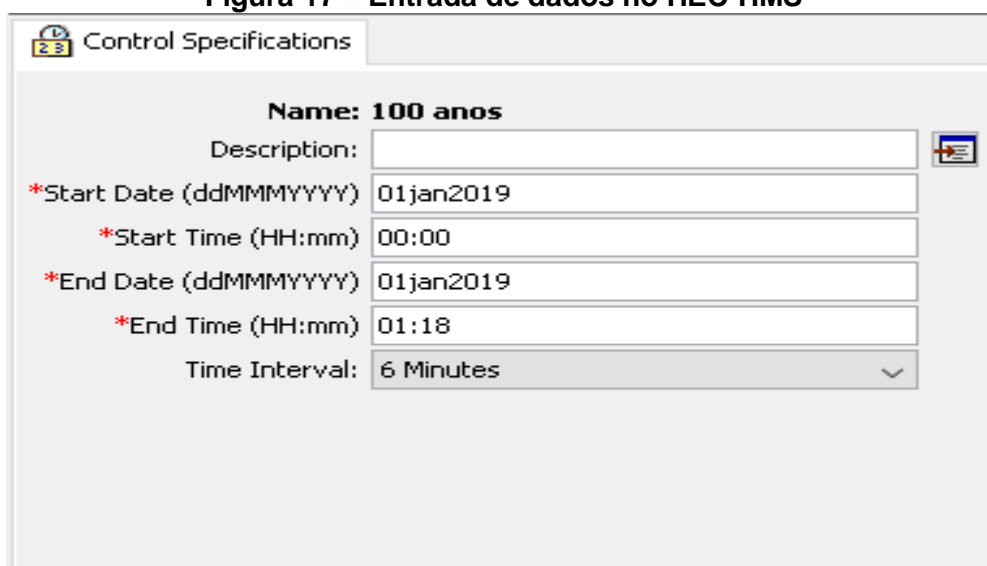
Basin Name: Gregorio
Element Name: Gregorio

Graph Type: Standard (PRF 484) ▾

*Lag Time (MIN) 47,92

Fonte: US Army Corps of Engineers (2019).

Figura 17 – Entrada de dados no HEC-HMS



Control Specifications

Name: 100 anos

Description:

*Start Date (ddMMYYYY) 01jan2019

*Start Time (HH:mm) 00:00

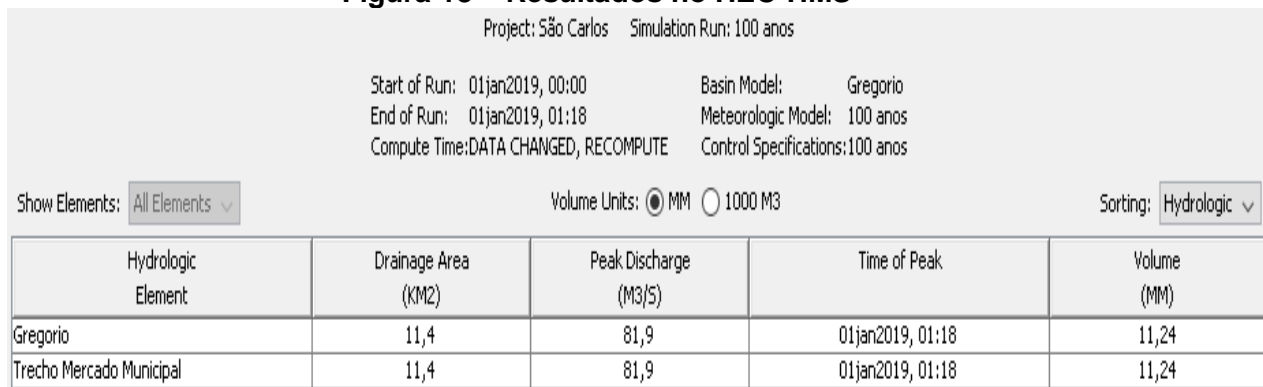
*End Date (ddMMYYYY) 01jan2019

*End Time (HH:mm) 01:18

Time Interval: 6 Minutes ▾

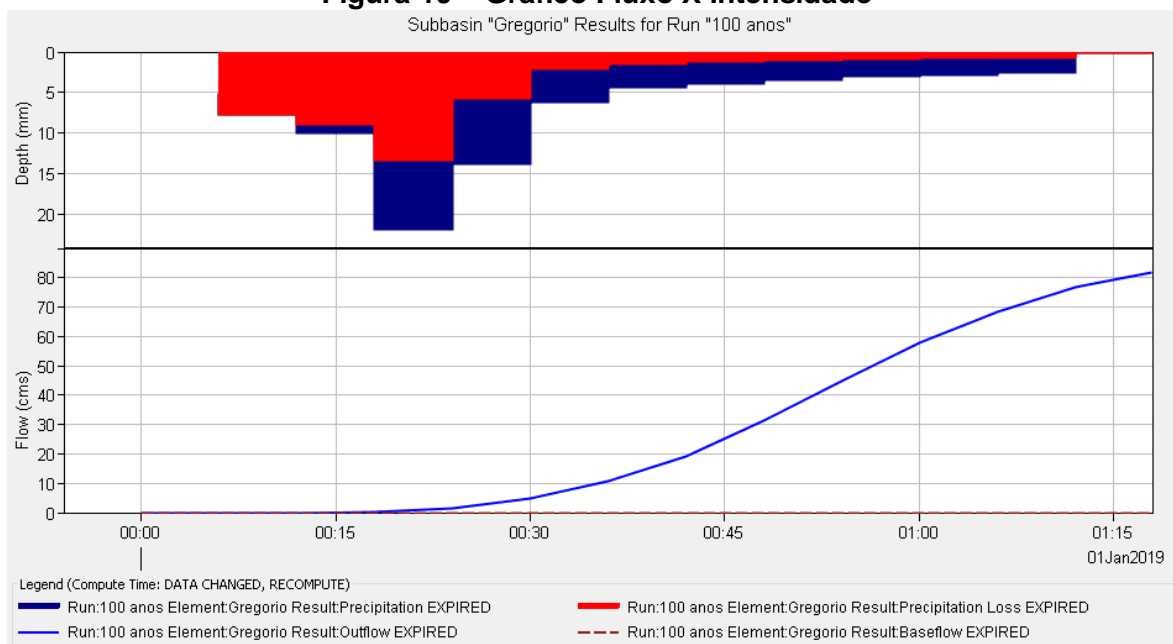
Fonte: US Army Corps of Engineers (2019).

Figura 18 – Resultados no HEC-HMS



Fonte: US Army Corps of Engineers (2019).

Figura 19 – Gráfico Fluxo X Intensidade

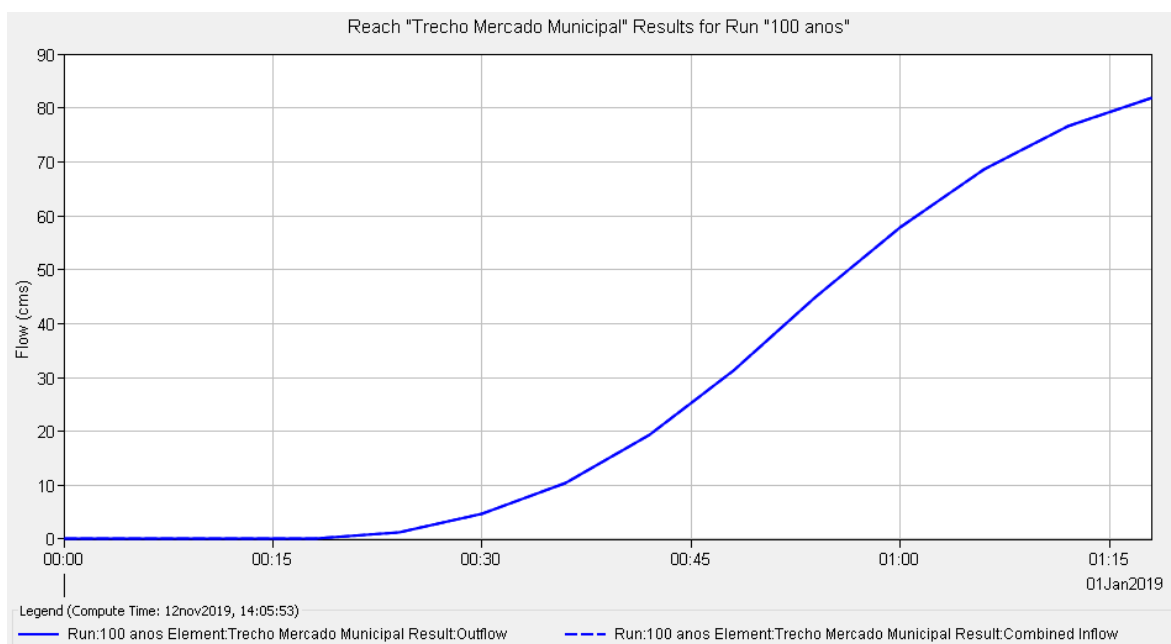


Fonte: US Army Corps of Engineers (2019).

Figura 20 – Resultados por período

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01jan2019	00:00				0,0	0,0	0,0
01jan2019	00:06	5,10	5,10	0,00	0,0	0,0	0,0
01jan2019	00:12	7,60	7,60	0,00	0,0	0,0	0,0
01jan2019	00:18	9,90	8,86	1,04	0,1	0,0	0,1
01jan2019	00:24	21,80	13,28	8,52	1,3	0,0	1,3
01jan2019	00:30	13,80	5,75	8,05	4,7	0,0	4,7
01jan2019	00:36	6,10	2,12	3,98	10,5	0,0	10,5
01jan2019	00:42	4,40	1,40	3,00	19,3	0,0	19,3
01jan2019	00:48	3,80	1,13	2,67	31,3	0,0	31,3
01jan2019	00:54	3,40	0,95	2,45	44,9	0,0	44,9
01jan2019	01:00	3,00	0,80	2,20	57,8	0,0	57,8
01jan2019	01:06	2,80	0,72	2,08	68,5	0,0	68,5
01jan2019	01:12	2,50	0,62	1,88	76,7	0,0	76,7
01jan2019	01:18	0,00	0,00	0,00	81,9	0,0	81,9

Fonte: US Army Corps of Engineers (2019).

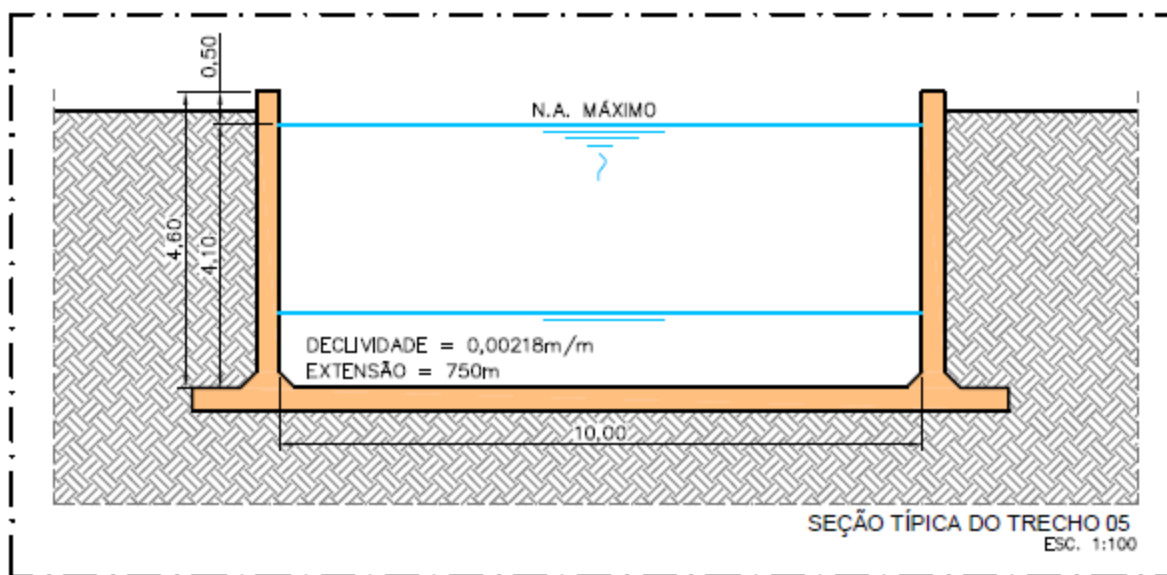
Figura 21 – Gráfico Vazão no trecho

Fonte: US Army Corps of Engineers (2019).

4.3.5 VERIFICAÇÃO DO CANAL EXISTENTE A PARTIR DA VAZÃO

A partir dos dados do capítulo anterior será realizado a verificação da capacidade atual do canal.

Figura 22 – Seção Transversal do canal no trecho Mercado Municipal



Fonte: PMSC (2010).

Figura 23 – Entrada de Dados Software - Canais

Canal ("PROJETO.CNL")

Projeto Identificação do Projeto Tipos de Canais Ajuda

Tipos de canais regulares : Retangulares

Entrada de dados

Incógnita do problema : Profundidade Normal

Vazão (Q) : m³/s

Profundidade Normal (Yn) : m

Declividade (I) : m/m

Coefficiente de Rugosidade (n) : ...

Folga (f) : m

Comprimento do Canal : m

Largura da Base (b) : m

Gráfico

Profundidade (m)

Largura (m)

Resultados

Área (A) :	m ²
Perímetro Molhado (P) :	m
Largura da Superfície (B) :	m
Profundidade Crítica (Yc) :	m
Número de Froude (Fr) :	
Regime de Escoamento :	
Velocidade (V) :	m/s
Energia Específica (E) :	m
Movimentação de Terra :	m ³

Ajuda

Calcular

Relatório

Fechar

Fonte: GPRH (2019).

Figura 24 – Entrada de Dados Software - Canais

Canal ("PROJETO.CNL")

Projeto Identificação do Projeto Tipos de Canais Ajuda

Tipos de canais regulares: Retangulares

Entrada de dados

Incógnita do problema: Profundidade Normal

Vazão (Q): 81,90 m³/s

Profundidade Normal (Yn):

Declividade (I): 0,0022 m/m

Coefficiente de Rugosidade (n): 0,0150

Folga (f): 0,50 m

Comprimento do Canal: 100,0 m

Largura da Base (b): 1,0 m

Gráfico

Resultados

Área (A):	m ²
Perímetro Molhado (P):	m
Largura da Superfície (B):	m
Profundidade Crítica (Yc):	m
Número de Froude (Fr):	
Regime de Escoamento:	
Velocidade (V):	m/s
Energia Específica (E):	m
Movimentação de Terra:	m ³

Ajuda

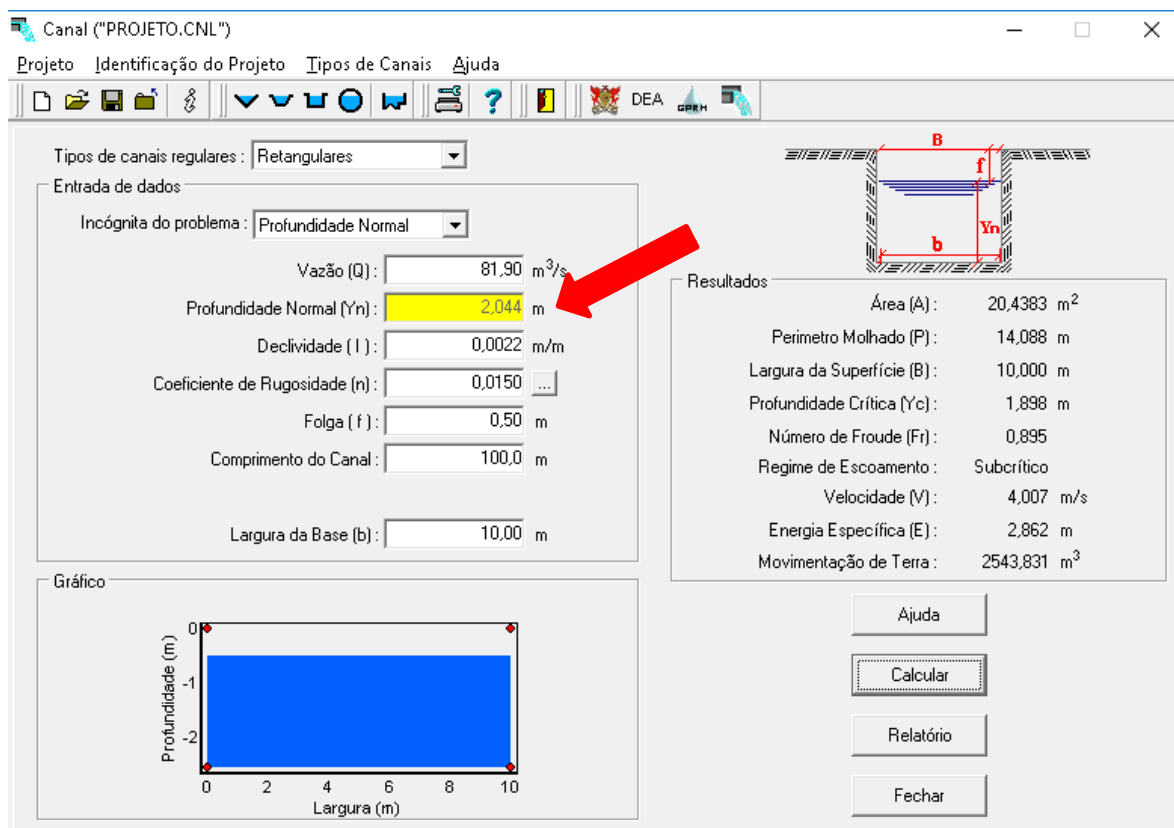
Calcular

Relatório

Fechar

Fonte: GPRH (2019).

Figura 25 – Resultados Software Canais



Fonte: GPRH (2019).

4.3.6 VERIFICAÇÃO DO CANAL EXISTENTE A PARTIR DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Figura 26 – Entrada de Dados Software - Canais

Canal ("PROJETO.CNL")

Projeto Identificação do Projeto Tipos de Canais Ajuda

Tipos de canais regulares: Retangulares

Entrada de dados

Incógnita do problema: Vazão

Vazão (Q): m³/s

Profundidade Normal (Y_n): m

Declividade (I): m/m

Coefficiente de Rugosidade (n): ...

Folga (f): m

Comprimento do Canal: m

Largura da Base (b): m

Gráfico

Resultados

Área (A):	m ²
Perímetro Molhado (P):	m
Largura da Superfície (B):	m
Profundidade Crítica (Y _c):	m
Número de Froude (Fr):	
Regime de Escoamento:	
Velocidade (V):	m/s
Energia Específica (E):	m
Movimentação de Terra:	m ³

Ajuda

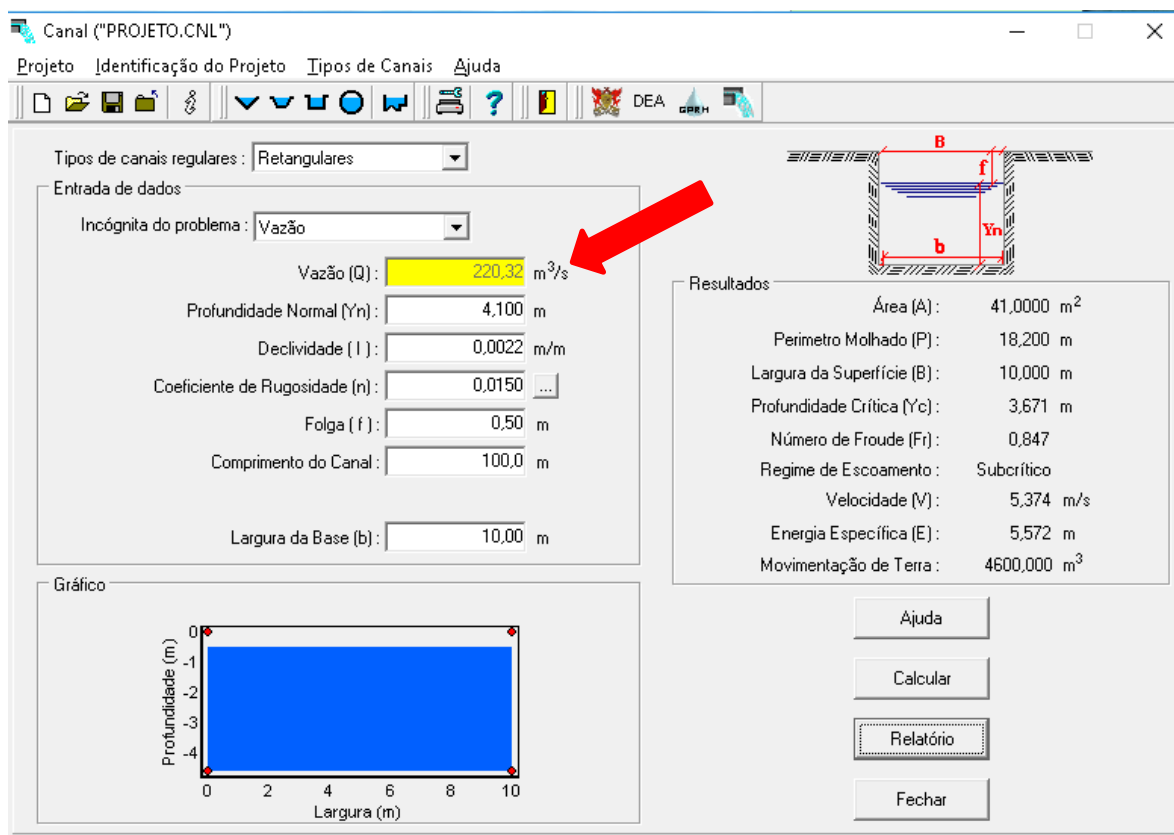
Calcular

Relatório

Fechar

Fonte: GPRH (2019).

Figura 27 – Resultados Software Canais



Fonte: GPRH (2019).

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Ao término do estudo conclui-se que o trecho estudado, hidraulicamente é suficiente para tal demanda, pois a vazão encontrada no estudo hidrológico é inferior a capacidade oferecida pelo canal atual, porém é notório que o problema estudado ainda é ocorrente na região durante os períodos de fortes chuvas, contudo leva-se a crer que o real motivo das inundações ser uma soma de vários outros fatores.

Com embasamento em trabalhos e projetos realizados anteriormente levantou-se outros fatores que possam acarretar no problema atual, entre eles, a ineficiência da micro drenagem existente , pois a mesma, resultam em grandes enxurradas além de serem lançadas de forma incorreta no canal gerando incapacidade do escoamento. A jusante do trecho estudado há uma canalização do Córrego do Gregório essa podendo ter grande responsabilidades pelas ocorrências ali registradas, principalmente pelo “estrangulamento” da seção fazendo que durante os picos de precipitação a tubulação não suporte a demanda e extravase o canal. Além desses fatores vale também salientar a grande quantidade de resíduos sólidos transportados pelos sistemas de drenagem, esses são grandes contribuintes para o obstrução de canais e tubulações e tendo grande influência para inundações e alagamentos.

Esse trabalho fica inteiramente a disposição para servir de influência para novos estudos na região do Mercado Municipal de São Carlos, que venham a contribuir para o bom funcionamento da cidade e principalmente a segurança, comodidade e o bem estar da população.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, R. Calibration of the Soil Conservation Services (SCS) Method in Peninsular Malaysia Using Sungai Tasoh Catchment, Negeri Pelis. **1st International Conference on Managing Rivers in the 21st Century: Issues & Challenges**, 2004.

A FOLHA. (1972). Drenagem do Gregório: projeto já está nas mãos do interventor. São Carlos, 23 abr. 1972, p 1.

BAPTISTA, M. NASCIMENTO, N. BARRUAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana, Porto Alegre**: ABRH, 2005. 266 p.

BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N. O. 2002. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 7, n. 1. ABRH.

BESKOW, S; MELLO, C. R. de; COELHO, G.; SILVA, A. M. da; VIOLA, M. R. Estimativa do Escoamento Superficial em uma Bacia Hidrográfica com base em Modelagem Dinâmica e Distribuída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** vol.33 nº1, Viçosa Jan./Feb. 2009.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005, 302p.

CDCC - USP. Centro de Divulgação Científica e Cultural. **Biologia e Educação Ambiental. Visitas Monitoradas**. Microbacia Hidrográfica do Córrego do Gregório. Disponível em: <<http://www.cdcc.sc.usp.br/bio/visita.htm>>. Acesso em: Maio de 2019.

CLIMATE-DATA.ORG. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sao-carlos-4818/>>. Acesso em: Setembro de 2019.

CPTI - Cooperativa de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais. Relatório Técnico n. 402/08. **Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê/Jacaré (UGRHI 13)**. 185 p. 2008. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7354/c_revisao-do-plano-de-bacia-ugrhi-13.pdf>. Acesso em: Maio de 2019.

DATAGEO. **Solos do Estado de São Paulo**, disponível em <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br>>. Acesso em: Outubro de 2019.

DESHMUKH, D. S.; CHAUBE U. C.; HAILU A. E.; GUDETA D. A.; KASSA M. T. Estimation and comparison of curve numbers based on dynamic land use land cover change, observed rainfall-runoff data and land slope. **Journal of Hydrology**. V. 492, p. 89–101, 2013.

ESTEVES, R. L. **Inventário de Bacias Urbanas: Córrego do Gregório**. 2003. Disponível em: <<http://www.baciaescola.hpg.com.br>>.

GENOVEZ, A. M. Vazões Máximas. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

GOOGLE EARTH PRO. Acesso em Setembro de 2019.

HAWKINS, R. H. et al. **Curve Number Hydrology: State of the Practice**. Virginia: ASCE, 2009.

HJELMFELT, A. T. Jr.; CASSIDY, J. J. **Hydrology for Engineers and Planners**. Iowa State University Press, 210p. Ames - Iowa, 1975.

ISIK, S.; KALIN, L.; SCHOONOVER, J. E.; SRIVASTAVA P. LOCKABY, B. G. Modeling effects of changing land use/cover on daily streamflow: An Artificial

Neural Network and curve number based hybrid approach. **Journal of Hydrology**, vol. 485, p. 103-112, 2013.

JORNAL SÃO CARLOS EM REDE. Disponível em <
<https://saocarlosemrede.com.br/enchentes-na-baixada-do-mercado-sao-causadas-por-urbanizacao-descontrolada/>> Acesso em Setembro de 2019.

JORNAL TERRA. Disponível em <
<https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/vc-reporter-sao-carlos-decreta-estado-de-emergencia-apos-temporal,edd399805a5e1410VgnVCM4000009bcceb0aRCRD.html>> Acesso em Setembro de 2019.

KABIRI, R.; CHAN, A.; BAI, R. Comparison of SCS and Green-Ampt Methods in Surface Runoff-Flooding Simulation for Klang Watershed in Malaysia. **Open Journal of Modern Hydrology**, vol. 3, p. 102-114, 2013. Disponível em: <
<http://dx.doi.org/10.4236/ojmh.2013.33014>>

MAROTTI, A.C.B. et al. **Levantamento histórico e relatos de inundações do córrego do Gregório na região central do município de São Carlos-SP.** Revista Eixo, v. 3, n. 1, 2014.

MCCUEN, R. H. **A guide to Hydrologic Analysis Using SCS Method.** Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 1982.145p.

MISHRA, S.K.; SINGH, V.P.; SANSALONE, J.J. e ARAVAMUTHAN, V. A modified SCS-CN method: Characterization and testing. **Water Res. Manag.**, 17:37-68, 2003.

NAYAK T; VERMA M. K, HEMA BINDU. S. SCS curve number method in Narmada basin, **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 3, n. 1 219-228, 2012.

NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Resíduos sólidos na drenagem urbana: Aspectos conceituais. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 13, n.3, (Jul/Set), 2008, 125-135.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Organizado por: João B. D. de Paiva, e Eloiza M. C. D. de Paiva. Porto Alegre: ABRH, 2001.

POMPÊO, 2000. Drenagem Urbana Sustentável. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5, n. 11 ABRH.

PORTO, R.L.L. Escoamento Superficial Direto. In: BARROS, M.T.; PORTO, R.L.; TUCCI, C.E.M (Organizadores). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 1995. Cap. 4, p.107-166.

SÃO CARLOS, PREFEITURA MUNICIPAL. A cidade de São Carlos. Disponível em <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/conheca-sao-carlos/115268-a-cidade-de-sao-carlos.html>>, acesso em setembro de 2019.

SÃO CARLOS, PREFEITURA MUNICIPAL. **Plano Diretor de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável do Município de São Carlos, 2010**.

SUQUISAQUI, Ana Beatriz Valim; OLIVEIRA, Flávia Arlette. Proposição de métodos para recuperação de uma das nascentes do Córrego Lazarini – São Carlos, SP - e sugestões de interação social. **Métodos de recuperação de nascentes e sensibilização da população**, 2016.

RAMOS, C. L; BARROS, M. T. L.; PALOS, J. C. F., coord. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. Prefeitura do Município de São Paulo e Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - CTH, São Paulo, 1999. Disponível em:

http://www.fau.usp.br/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 10, n. 4, p. 5-18, 2005.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análises de Dados. **Informações dos Municípios Paulistas**: População por sexo e situação do domicílio. 2014. Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/tabelas>>.

SILVEIRA, ANDRÉ LUIZ LOPES DA. (1998) Hidrologia Urbana no Brasil. In: BRAGA, B.; Tucci, C.; Tozzi, M. (org.) Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

SILVEIRA, A. L. L. 2001. Problemas of urban drainage in developing countries. In: International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage, 1, 2001, Lyon. Novatech, p. 143-150.

SILVEIRA, A.L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.10, n.1, 5-23, 2005.

SILVEIRA, G. M. da. **Análise de Sensibilidade de Hidrogramas de Projeto aos Parâmetros de sua Definição Indireta**. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

THIOLLENT, M. (2009). **Metodologia de Pesquisa-ação**. São Paulo: Saraiva. p.36.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. 1. ed. São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade / UDUSP, 1993. 943p.

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

TUCCI, C. E. M. – **Drenagem Urbana** – ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3º edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V. 2, n. 2 (Jul/Dez), 5-12, 1997.

USDA U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE). **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Natural Resources Conservation Service. Technical Release 55. Washington: USDA, 1986.

USBR U. S. Bureau of Reclamation - United States Department of the interior - **Design of Small Dams**. Companhia Editorial Continental S.A México, D. F. 1977. 639 p.

WILKEN, Paulo Sampaio. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 1978. 478 p.