



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA



Ana Carolina Borges do Nascimento

**DIMENSIONAMENTO DE CANAL USANDO SOFTWARE
*STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)***

Limeira
2020



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA



Ana Carolina Borges do Nascimento

DIMNSIONAMENTO HIDRÁULICO USANDO SOFTWARE STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Laura Maria Canno Ferreira Fais

Limeira
2020

Autor: Ana Carolina Borges do Nascimento

Título: Dimensionamento de canal usando o software *Storm Water Management* (SWMM)

Natureza: Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental

Instituição: Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas

Aprovado em: 21/12/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Dr(a). Laura Maria Canno Ferreira Fais (Orientador(a)) – Presidente
Faculdade de Tecnologia (FT/UNICAMP)

Mestra Adélia Mara Massulo – Avaliador
Centro universitário/Bragança Paulista

Prof(a). Dr(a). Lubienska Cristina Lucas Jaquiê Ribeiro – Avaliador
Faculdade de Tecnologia (FT/UNICAMP)

Este exemplar corresponde à versão final da monografia aprovada.

Prof(a). Dr(a). Laura Maria Canno Ferreira Fais (Orientador(a))
Faculdade de Tecnologia (FT/UNICAMP)

Dedico esse trabalho aos meus pais: Maria Celia e Aramis e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço este trabalho a minha orientadora Profa. Dra. Laura Maria Canno Ferreira Fais, por der dado imenso auxílio assim sua convivência diária.

Agradeço a meus amigos e familiares, que me auxiliaram dando motivação e sua participação direta ou indireta no desenvolvimento deste trabalho.

Se A é o sucesso, então A é igual a X mais Y mais Z. O trabalho é X; Y é o lazer; e Z
é manter a boca fechada.
Albert Einstein

NASCIMENTO, Ana Carolina Borges do. Dimensionamento de canal usando software *Storm Water Management Model* (SWMM). 2020. nº1 f.67. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental.) – Faculdade de Tecnologia. Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2020.

RESUMO

A modernização das atividades convencionais visando atender as necessidades da população engloba conceitos como: bacias hidrográficas, drenagem. O procedimento de controle de vazões, dimensionamento em bacias anteriormente realizadas de forma manual, ao longo dos anos passaram a ter um viés tecnológico, após o desenvolvimento de modelos hidrológicos, visando facilitar esses procedimentos, como também gerar dados com maior confiabilidade e menor teor de erros associados. Os modelos veem ganhando espaço ao longo do tempo, devido a sua elevada capacidade de aplicações. A metodologia dos modelos é a representação de fenômenos físicos, através de equações matemáticas, com procedimentos que englobam parâmetros e variáveis, analisando impactos na utilização do solo e alterações posteriores em nossos ecossistemas. O presente trabalho realizou a comparação entre o dimensionamento de um canal feito por meio de equações matemáticas com o realizado por meio do software SWMM, no Córrego de Toledo, localizado no município de Mogi Mirim - SP. A partir de um evento de precipitação e dos dados de entrada (obtidos a partir de equações matemáticas), realizou-se uma análise no SWMM envolvendo: escoamento, vazão, precipitação, para o canal englobando 6 sub-bacias, adotando-se um período de retorno de 100 anos, intensidade de precipitação de 214 mm, duração do evento 1 h. A simulação foi bem sucedida com erros praticamente desprezíveis. Posterior a isto, foi realizada a comparação entre os dois métodos, destacando as vantagens e desvantagens de cada um. Quando comparados os métodos o SWMM se destacou com inúmeras vantagens, portanto sua utilização é justificada para a finalidade proposta neste trabalho.

Palavras-chave: Modelos chuva-vazão. SWMM. Canal. Hidrologia. Sub-bacias.

NASCIMENTO, Ana Carolina Borges do. Hydraulic Sizing using software Storm Water Management Model (SWMM).2020. nº1 f.67. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental.) – Faculdade de Tecnologia. Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2020.

ABSTRACT

The modernization of conventional activities aimed at meeting the needs of the population encompasses concepts such as: hydrographic basins, drainage. The flow control procedure, dimensioning in basins previously carried out manually, over the years started to have a technological bias, after the development of hydrological models, aiming to facilitate these procedures, as well as to generate data with greater reliability and lower content of associated errors. The models are gaining space over time, due to their high application capacity. The models' methodology is the representation of physical phenomena, through mathematical equations, with procedures that include parameters and variables, analyzing impacts on land use and subsequent changes in our ecosystems. The present work made the comparison between the dimensioning of a channel made by means of mathematical equations with the one made using the SWMM software, in the Córrego de Toledo, located in the municipality of Mogi Mirim - SP. From a precipitation event and the input data (obtained from mathematical equations), an analysis was carried out in the SWMM involving: runoff, flow, precipitation, for the channel encompassing 6 sub-basins, adopting a period return period of 100 years, precipitation intensity of 214 mm, event duration 1 h. The simulation was successful with almost negligible errors. After that, a comparison was made between the two methods, highlighting the advantages and disadvantages of each one. When the methods are compared, SWMM stood out with numerous advantages, so its use is justified for the purpose proposed in this work.

Keywords: Rain-flow models. SWMM. Canal. Hydrology. Sub-basins.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Representação da área a ser dimensionada no SWMM.....	27
Figura 2	Representação no Google Earth dos cinco pontos a serem dimensionados.....	28
Figura 3	Representação das áreas do dimensionamento no ArcMap...	28
Figura 4	Representação do Método Não-Linear.....	33
Figura 5	Representação das diversas geometrias de conduto no SWMM.....	37
Figura 6	Representação do canal dimensionado no AutoCAD.....	44
Figura 7	Representação do canal apresentando: sub-bacias, nós, pluviômetro.....	46
Figura 8	Fragmento do Relatório do Estado.....	47
Figura 9	Distribuição das Vazões.....	47
Figura 10	Distribuição do Escoamento por Sub-Bacia.....	48
Figura 11	Distribuição das Profundidades.....	48
Figura 12	Distribuição do Escoamento no Sistema.....	49
Figura 13	Perfil Longitudinal.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.2	Dados referentes aos diferentes modelos hidrológicos.....	22
Tabela 4.6	Valores associados à infiltração.....	34
Tabela 4.7	Parâmetros associados à sub-bacia.....	35
Tabela 4.8	Intervalo de valores para Rugosidade e Armazenamento.....	36
Tabela 4.9	Parâmetros do SWMM para condutos.....	37
Tabela 4.10	Parâmetros do SWMM para os nós.....	38
Tabela 4.11	Dados de precipitação Mogi-Mirim 1972.....	39
Tabela 5.2	Dimensionamento do canal.....	42
Tabela 5.3	Energia de cada trecho do canal.....	43
Tabela 5.4	Configurações Pré-Definidas Sub-bacias no SWMM.....	45
Tabela 5.5	Configurações Pré-Definidas Nós no SWMM.....	45
Tabela 5.6	Série Temporal.....	46
Tabela 5.7	Valores de Vazão em m ³ /s.....	49
Tabela 5.8	Valores de Escoamento em m ³ /s.....	50
Tabela 5.9	Valores de Escoamento no Sistema.....	51

Tabela 5.10	Coeficiente de Escoamento Superficial (Runoff).....	52
Tabela 5.11	Dimensionamento do Canal com valores do Coeficiente de Escoamento Superficial de Horton.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Calibração no SWMM.....	40
----------	-------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CHM	Chicago Hydrograph Method
CN	Curva-Número
DHI	Instituto de Hidráulica da Dinamarca
EPA	Environmental Protection Agency
FT	Faculdade de Tecnologia
HEC	Hydrologic Engineering Center
ILLUDAS	Illinois Urban Drainage Simulator
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
LID	Low Impact Development
LPD	Liters per second
MOUSE	Modelling of Urban Sewer
NRCS	National Resources Conservation Service
NSGA II	Non Dominated Sorting Genetic Algorithm II
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SMAP	Soil Moisture Accounting Procedure
STORM	Storage, Treatment, Overflow Runoff Model
SWMM	Storm Water Management Model

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da bacia hidrográfica
b	Largura de fundo do canal
C	Coeficiente de Escoamento Superficial
E1	Energia Específica na Seção 1
E2	Energia Específica na Seção 2
Ec	Energia Crítica
g	Constante da gravidade
ΔH	Diferença entre duas cotas
I	Intensidade pluviométrica
I0	Declividade de fundo do canal
K	Constante para obter a vazão em m ³ /s
K2	Coeficiente para cálculo da altura d'água normal
L	Comprimento total do curso d'água
n	Coeficiente de Manning
Q	Vazão
q	Vazão específica
t_c	Tempo de Concentração
V	Velocidade
y0	Altura da lâmina d'água
y1	Altura da lâmina d'água na seção 1
yc	Altura crítica da lâmina d'água
ΔZ	Elevação de fundo do canal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo Geral.....	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	CONCEITOS.....	20
3.1.1	BACIA HIDROGRÁFICA.....	20
3.2	MODELOS HIDROLÓGICOS.....	21
3.3	ESTUDOS UTILIZANDO SWMM.....	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	CANAL.....	27
4.2	DIMENSIONAMENTO DE CANAL.....	29
4.3	SWMM.....	31
4.4	ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	32
4.5	INFILTRAÇÃO.....	33
4.6	PROPAGAÇÃO DO ESCOAMENTO.....	33
4.7	CARACTERÍSTICAS DA BACIA.....	34
4.7.1	SUB-BACIAS.....	35
4.7.2	CONDUTOS.....	36
4.7.3	NÓS.....	38
4.8	SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO.....	38
4.9	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	40
4.10	SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	41
5	RESULTADOS	42
5.1	DIMENSIONAMENTOS.....	42
5.2	RESULTADOS DIMENSIONAMENTO MANUAL.....	42
5.3	RESULTADOS DIMENSIONAMENTO SWMM.....	44
5.4	COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS.....	51
6	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Em uma sociedade marcada pelo advento de novas tecnologias e o rápido acesso às informações, é natural que ocorra modernização dos procedimentos convencionais, visando atender as necessidades da população. O dimensionamento de sistemas hidráulicos sofreu este efeito gradativamente: o que era anteriormente realizado de forma manual passou a ter um viés tecnológico, após o desenvolvimento de modelos computacionais que representassem modelos hidrológicos. Tal fato facilitou o dimensionamento, além de gerar dados com maior confiabilidade e menos erros associados.

Os modelos vêm ganhando espaço ao longo do tempo, devido a sua elevada capacidade de aplicações; no entanto, por serem complexos, requerem inúmeros parâmetros que devem ser medidos e estimados (COLLODEL, 2009).

Shinma (2011) afirma que a simulação computacional juntamente à modelagem matemática, é extremamente importante para o controle de inundações durante episódios chuvosos, pois efetua simulação sobre diversas condições, prevendo chance de ocorrência e facilitando os estudos. Os modelos consideram parâmetros como: topografia, características do solo local, vegetação, eventos chuvosos. Tendo como resultado uma melhor representação da realidade da bacia hidrográfica.

Os modelos hidrológicos têm aplicações viáveis, pois, são um importante aliado em estudos visando soluções para os mais diversos problemas de drenagem, como impermeabilização do solo, inundações. Estes modelos possuem aplicações para processos hidráulicos e hidrológicos, tendo uma ampla gama de funções dentre: explicar relação chuva-vazão, ocorrência de escoamento superficial do rio, realizar cálculos estatísticos, análise de frequência (SIQUEIRA, 2007; SMITH, 1992), prever e estimar para uma determinada bacia hidrográfica sua capacidade de escoamento (MARINHO FILHO et al., 2012).....

Os modelos tem a função de representar fenômenos físicos, através de equações matemáticas, com procedimentos que englobam parâmetros e variáveis, analisando impactos na utilização do solo e alterações posteriores em nossos ecossistemas (SILVA, 2007). São gerados resultados realistas, permitindo a implantação de soluções mais eficientes. Necessitando apenas dos parâmetros citados anteriormente relacionados à bacia hidrográfica. Escolheu-se para o trabalho, o software *Storm Water Management Model* (SWMM), devido à facilidade de obtenção (domínio público).

O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um software gratuito de simulação de sistema de drenagem criado em 1971, com aplicações em diversos ramos da drenagem. O SWMM vem sendo utilizado em muitos estudos e pesquisas para análise de escoamentos superficiais.

O trabalho desenvolvido visa realizar a comparação entre o dimensionamento de um canal feito por meio de equações matemáticas com o realizado por meio do software SWMM, destacando as vantagens e desvantagens de cada um.

A estrutura deste trabalho será dividida em: introdução, objetivos, revisão bibliográfica, materiais e métodos, resultados, conclusões, referências bibliográficas.

A introdução contextualiza o problema a ser abordado e a justificativa de escolha do tema; os objetivos são o que o trabalho visa realizar após sua conclusão; na revisão bibliográfica são analisados e discutidos artigos e trabalhos associados a utilização do software SWMM; o capítulo materiais e métodos descreve de forma mais detalhada sobre os conceitos base do trabalho como fórmulas hidráulicas e hidrológicas e funcionalidade do SWMM; no capítulo resultados são apresentados os dados obtidos no dimensionamento com e sem o software e por fim, nas conclusões são apresentadas as considerações finais do trabalho, comparando os dois métodos para dimensionamento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo avaliar a utilização do software *Storm Water Management Model* (SWMM) para dimensionamento de um canal de drenagem de águas pluviais, considerando vantagens e desvantagens. Os resultados obtidos serão comparados ao dimensionamento sem a utilização do software.

2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar o canal utilizando o software *Storm Water Management Model* (SWMM);
- Comparar dimensionamento com e sem a utilização do software;
- Avaliar as vantagens e desvantagens de cada método adotado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi organizada de maneira a abordar a importância da utilização dos modelos hidrológicos, tendo como foco o software SWMM. Inicialmente foram abordados os conceitos de hidráulica e hidrologia necessários para o dimensionamento, seguido de uma revisão de literatura, com enfoque no uso do modelo hidrológico SWMM.

3.1 CONCEITOS

3.1.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Uma bacia hidrográfica é o local em que ocorre captação de água natural, tendo, portanto, associação a fenômenos como precipitação, escoamento superficial, evaporação, dentre outros, sendo que os escoamentos convergem em um único ponto de saída, denominado o exutório (ENHS, 2019; FINKLER & OLIVEIRA, 2012).

A bacia é composta por uma rede de drenagem (cursos da água), superfície de solo, em que estes confluem até um leito único. Na delimitação manual de uma bacia hidrográfica, inicialmente, define-se o ponto inicial (exutório), localizado na parte mais inferior do trecho do curso d'água principal (FINKLER & OLIVEIRA, 2012).

As características associadas são: área, comprimento do rio principal, perfil longitudinal, declividades, dentre outros. A área tem importância na questão do potencial de geração de escoamento; o comprimento do rio principal é obtido medindo o comprimento do trecho referente à nascente (mais distante) e o exutório (ou ponto de interesse); o perfil longitudinal retrata a variação das cotas no trecho do rio principal. A declividade representa a relação entre a variação da altura e distância horizontal entre dois pontos; é um parâmetro importante, já que dela depende a velocidade do escoamento. (TUCCI, 2004; PAIVA & PAIVA, 2001).

Modelos hidrológicos visam facilitar a representação dos inúmeros fenômenos relacionados a bacias hidrográficas, além de terem a vantagem de apresentar uma melhor precisão, como possibilidade de prever fenômenos sob diferentes condições (MOREIRA, 2005).

O SWMM tem função para representação de sub-bacias, onde são conhecidos os valores dos parâmetros do canal, dentre eles área, largura, declividade, coeficiente de Manning, sendo possível a simulação de um sistema de drenagem pluvial, no qual as respostas à modelagem realizada são a vazão transportada e concentrações em um evento chuvoso (ENHS, 2019).

3.2 MODELOS HIDROLÓGICOS

Modelos hidrológicos são ferramentas importantes para o dimensionamento de estruturas de drenagem e para prever problemas como as inundações, auxiliando no planejamento de medidas não estruturais de controle de cheias. As primeiras versões de modelos computacionais surgiram a partir da década de 60, e, atualmente têm-se inúmeros modelos desenvolvidos visando análise de fenômenos relacionados aos escoamentos e drenagens (COLLODEL, 2009; SHINMA, 2011).

Há vários softwares disponíveis que simulam a ocorrência da água nas mais diversas fases do ciclo hidrológico. Dentro deste contexto existem os modelos de transformação chuva-vazão, que realizam a estimativa do escoamento em um sistema de drenagem, partindo de dados de um evento pluviométrico. Como foram desenvolvidos para atender a diversas finalidades, os softwares diferem em relação à quantidade de parâmetros solicitados para a entrada, conceitos adotados, simplificações utilizadas. Estas diferenças ocorrem devido às finalidades específicas observadas em cada modelo assim como em relação às diferentes formulações matemáticas empregadas na simulação do processo (COLLODEL, 2009; TUCCI, 1998; SOUZA, 2008; MACHADO, 1981).

Dentre os diversos softwares disponíveis para a área de hidrologia, podem ser citados: CHM, STORM, MOUSE, SWMM, ILLUDAS, IPHS, dentre outros.

- Método do Hidrograma de Chicago (CHM) - desenvolvido em 1959 por Tholin e Keifer (sendo um dos mais antigos), e tem aplicações em projetos de sistemas de esgotos;
- *Storage, Treatment, Overflow Runoff Model* (STORM) - desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano em 1974 e tem aplicações em drenagem urbana, simulando qualidade e quantidade de água, em eventos isolados ou em séries;
- *Modelling of Urban Sewer* (MOUSE) - desenvolvido em 1985, pelo DHI - Instituto de Hidráulica da Dinamarca, com aplicações em drenagem urbana, podendo simular variações de escoamento, profundidade da água, dentre outros parâmetros;
- *Storm Water Management Model* (SWMM) - desenvolvido em 1971, pelos pesquisadores Metcalf e Eddy, e simula eventos chuvosos ao longo de intervalos de tempo estabelecidos.
- Simulador de Drenagem Urbana de Illinois (ILLUDAS) - desenvolvido em 1962, pelo Laboratório de Pesquisas de Estradas. Possui um módulo de projeto, que gera hidrogramas e fornece os diâmetros para as galerias de águas pluviais; e um módulo de análise, que fornece hidrogramas dos condutos e dos nós;
- IPHS1 - desenvolvido por Tucci et al (1989), no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade do Rio Grande do Sul. É um sistema computacional modulado, onde são

gerados hidrogramas de projeto (COLLODEL, 2009; SHINMA, 2011; ENHS, 2019; TERSTRIEP & STALL, 1974; SANEAMENTO, 2008).

A escolha do modelo a ser utilizado depende de fatores como: o objetivo, conhecimento do operador, da área a ser modelada dentre outros fatores (SHINMA, 2011). Para este trabalho, será utilizado o software *Storm Water Management Model* (SWMM), obtido através do site do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, localizado em João Pessoa – PB, que é de livre, e é de fácil utilização.

A Tabela 3.2 apresenta alguns modelos hidrológicos existentes e suas características. Observa-se que o SWMM possui uma ampla gama de aplicações, o que justifica a sua escolha para a aplicação neste trabalho.

Tabela 3.2 – Dados referentes aos diferentes modelos hidrológicos

Capacidades de Simulação	Modelos				
	CHM	ILLUDAS	STORM	IPHS1	SWMM
Múltiplas Sub-bacias	x	x	-	x	x
Entrada de diversos Hietogramas	x	-	-	x	x
Evaporação	x	-	x	-	x
Degelo	-	x	x	-	x
Escoamento de Base	x	x	-	x	x
Escoamento de Superfície de Áreas Impermeáveis	x	x	x	x	x
Escoamento de Superfície de Áreas Permeáveis	x	x	x	x	x
Áreas Diretamente Conectadas	-	x	-	-	x
Balanço Hídrico entre Eventos	x	-	x	x	x
Escoamento entre Sarjetas	x	x	x	-	x
Propagação em Galerias	x	x	x	x	x
Múltiplas Seções Transversais	-	-	-	-	x
Escoamento Sob Pressão	-	-	-	-	x
Derivação	-	x	x	x	x
Estações Elevatórias	-	x	-	-	x
Armazenamento	-	x	x	x	x
Cálculo de Nível	-	x	-	x	x
Cálculo de Velocidades	-	x	-	x	x
Simulação Contínua	-	-	x	x	x
Escolha do Passo de Tempo	x	x	-	x	x
Cálculo de Projetos	x	x	-	x	x
Código Computacional Disponível	x	x	x	x	x

FONTE: Collodel (2009), modificado de Machado (1981) e Viessman & Lewis (2002).

NOTA: x permite a simulação; - não permite a simulação

3.3 ESTUDOS UTILIZANDO SWMM

Collodel (2009) realizou um estudo, na bacia do Córrego Gregório localizada no município de São Carlos - SP, onde analisou dados hidrológicos, geológicos, pedológicos, uso e ocupação do solo da referida bacia. Posteriormente, o software SWMM foi aplicado em três etapas: análise de calibração; de sensibilidade do modelo, onde foram analisados os erros tanto na vazão de pico do hidrograma como no volume total escoado; e validação, onde foi avaliada a eficiência do SWMM em simular os hidrogramas de cheia.

Segundo a autora, a determinação das áreas impermeáveis tem maior influência sobre a vazão de pico, e o modelo mostrou-se satisfatório na simulação do hidrograma.

Shinma (2011) desenvolveu um calibrador automático multiobjetivo para o SWMM, utilizando o método de otimização *Non Dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA II), sendo dividido em nove etapas: geração da população inicial, avaliação das funções objetivo, classificação da população inicial, cálculo da “distância de multidão”, seleção, recombinação, mutação, formação de população, finalização com critério de parada. O SWMM e o NSGA II foram calibrados a partir de dados de uma bacia hipotética (disponível no pacote do software SWMM) e da bacia hidrográfica do Córrego Gregório, no município de São Carlos - SP.

A análise de sensibilidade foi realizada antes da calibração, para se determinar quais parâmetros deveriam ser calibrados. A calibração foi desenvolvida em linguagem C, modificando o código original do SWMM. Após a validação, a autora verificou que o calibrador se mostrou adequado para ambas as bacias testadas.

Souza et al. (2012), realizaram o estudo na bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, localizada no município de Goiânia - GO, comparando o software *Storm Water Management Model* (SWMM) e o *Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) para a simulação de escoamento superficial, a partir de uma precipitação conhecida. No SWMM a simulação utilizou o módulo *Runoff*, enquanto no HEC-HMS o componente chamado *Meteorologic Model*. Para a simulação, foi adotado um período de retorno (T_R) igual a 5 anos, o que resultou em um índice pluviométrico de 53,410 mm.

Em relação ao evento de chuva, os modelos apresentaram valores similares. Após os casos hipotéticos simulados concluiu-se que, o modelo HEC-HMS tem uma aplicação mais adequada para o escoamento superficial em bacias rurais, enquanto o SWMM, sistema de drenagem de bacia urbana.

Rocha (2013) também usou o SWMM para o impacto da ocupação da bacia no Córrego Samambaia, no município de Goiânia – GO, que é utilizado para abastecimento público.

As etapas realizadas na modelagem englobaram a inserção de dados: nó, conduto,

sub-bacia, série temporal da chuva, e resultados, referente à infiltração e escoamento superficial em cada cenário e período. O módulo adotado foi o *Runoff*. O modelo hidrológico foi aplicado em três períodos distintos e em outros três cenários, visando conhecer as repostas hidrológicas em relação às diferentes ocupações e intervenções realizadas pelo meio urbano.

As variações hidrológicas observadas na bacia foram grandes e, segundo a autora, caso o índice de impermeabilização da bacia supere, 50%, esta pode tornar-se inviável para atender a demanda de água potável para consumo. Para a continuidade do abastecimento a autora propôs medidas o estudo de um planejamento mais adequado, construção de um parque que seja linear ao longo deste córrego, assim como índices novos de ocupação urbana.

Carvalho (2016) realizou um estudo na bacia do riacho Pajeú, localizada em Fortaleza - CE, em que se observam fenômenos de inundações durante o período chuvoso, utilizando o software - SWMM.

Os períodos de retorno adotados variavam dentre quatro valores distintos (5, 10, 20, 50 anos), para um evento de chuva simulado de 4 horas de duração. Foram analisados dois possíveis cenários: um sem a utilização de dispositivos chamados *Low Impact Development* (LID), e o outro se variando as aplicações de cisternas. O LID é uma técnica que visa o desenvolvimento urbano com baixo impacto, incentiva práticas como infiltração e reuso.

Ao final da análise foram quantificadas reduções de até 35% nas vazões de pico, através de construções de cisternas. O modelo se mostrou adequado, porém, a autora reforça a necessidade de estudos com séries temporais mais extensas para verificar os efeitos da adoção das cisternas.

Leite et al. (2016), avaliaram o impacto da utilização da técnica de telhados verdes na Universidade Federal de Mato Grosso, no campus de Cuiabá com a aplicação do software SWMM. Para a aplicação do modelo, foram necessários dados de entrada, tais como: tipos de solos, porosidade, declividade, coeficiente de Manning, dentre outros. No desenvolvimento do projeto, foram construídos quatro módulos experimentais, em duplicata, variando dentre situações com e sem o telhado verde. No SWMM gerou-se um mapa representando as sub-bacias.

Observou-se a redução de 18% do escoamento superficial em comparação aos valores anteriores sem a utilização da técnica do estudo. E recomendou-se para o melhor uso da tecnologia a uso de outros parâmetros para uma melhor calibração do software.

Castro, Barbosa e Bezerra (2017), estudaram a interface entre os softwares AutoCad e SWMM. Dentro do AutoCad existe um aplicativo chamado UFC8, para projetos de redes de drenagem urbana, que auxiliam a unificação de desenhos e cálculos em um só software. O UFC8 apresenta um comando de transferência de dados para o SWMM, mandando não

somente dados de rede como também o bloco de arruamento para uma melhor visualização, tornando tal alternativa satisfatória.

Silva et al. (2017) realizaram um estudo cujo objetivo era contribuir no planejamento e gestão da drenagem urbana no município de Belém - PA. Com o auxílio do SWMM, simulou-se três cenários de escoamento na sub-bacia 2 da Estrada Nova: o primeiro, somente com um canal parcialmente projetado; no segundo, o mesmo canal projetado, porém, sem a implantação de uma bacia de retenção; o terceiro, canal e a bacia de retenção implantados. Essa simulação foi realizada a partir de um evento chuvoso intenso ocorrido na cidade, com duração de 3 h e um índice pluviométrico de 61 mm.

A partir da simulação realizada, observou-se que nenhum dos 3 cenários evitariam enchentes e transbordamentos de pontos para o evento simulado, porém a presença da bacia de retenção diminuiria os níveis de alagamento. Os autores afirmam que a utilização do SWMM para diferentes cenários facilita o planejamento de um sistema de drenagem, auxiliando na escolha do melhor cenário possível.

Beloti (2018) realizou uma análise do comportamento do sistema de drenagem em águas pluviais na bacia hidrográfica do córrego Tabocas, localizada no município de Uberlândia - MG, utilizando o SWMM.

Na modelagem com o SWMM reproduziu-se a rede de drenagem implantada na bacia hidrográfica, consideraram-se parâmetros como: nós, coeficiente de Manning, tubulações, sub-bacias, impermeabilização, pluviômetro. O estudo foi realizado considerando-se 80% de áreas impermeabilizadas, em simulações de chuva com período de retorno em 20 anos.

A partir da simulação, o autor concluiu que para a configuração atual da bacia, esta não é adequada para o escoamento de vazão em alguns trechos, porém a falta de variáveis para a simulação pode ter causado resultados grosseiros, havendo necessidade de novos estudos. Outro fator apontado pela autora foi à escassez de informações na literatura nacional referentes à elaboração de modelos hidrológicos no SWMM, o que faz com que as simulações sejam baseadas no manual do software, e em tentativas empíricas.

Santini Junior (2018) estudou a sub-bacia do córrego Sem Nome, localizado em Ilha Solteira – SP, utilizando o SWMM em conjunto com o ArcGis para obtenção de dados. O levantamento de dados foi baseado em estudos realizados pela prefeitura, ensaios realizados em campo, instalação de sondas e pluviômetros na localidade e imagens de satélites.

As etapas da modelagem englobaram: análise de sensibilidade, calibração e validação do sistema. Os cálculos realizados abrangem 31 eventos ocorridos, através de 5 indicadores estatísticos. O autor concluiu que o modelo apresentou desempenho satisfatório, na simulação do hidrograma com um formato e tempo de pico adequados.

Porém, a vazão de pico teve erros mais elevados, possivelmente devido à resolução espacial das imagens utilizadas. O autor então propôs medidas a serem adotadas para uma possível continuidade deste trabalho, como também medidas para os órgãos que mantêm o sistema.

Rocha (2019) avaliou as respostas hidrológicas na bacia do rio Cocó, localizado no município de Fortaleza – CE, que tem características tanto rurais quanto urbanas, utilizando o SWMM. As condições adotadas foram uma precipitação moderada e uma influência da maré no exutório da bacia, utilizando-se o método harmônico. Para representação de mapas de uso e ocupação do solo da área de estudo foi utilizado o Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

A calibração do modelo foi realizada no módulo *Runoff*, e posteriormente foi feita a validação. Para os trechos de drenagem em sub-bacias rurais o SWMM apresentou um desvio médio de 8,6% em relação aos dados de vazões obtidos em campo. Nos trechos com influência marinhos o modelo se mostrou adequado, com boa precisão. Concluiu-se, que os resultados obtidos mostram potencial do SWMM no auxílio da gestão em sistemas integrados rurais e urbanos. A autora também propôs recomendações que podem ser adotadas em trabalhos futuros referentes a esta temática.

O levantamento bibliográfico em relação à utilização do modelo hidrológico SWMM evidencia que este modelo, difundido no mundo todo, também vem tendo o seu potencial explorado no Brasil, em uma ampla gama de aplicações.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foi feito o dimensionamento de um canal real, manualmente, partir dos conceitos de Hidráulica de Canais, além do dimensionamento utilizando o software SWMM.

4.1 CANAL

O canal é o Córrego de Toledo, localizado no município de Mogi Mirim - SP. Foram escolhidas 5 seções para o dimensionamento, cada uma com sua boca de contribuição, conforme mostra-se na Figura 1. A Coordenada superior (P1) obtida visualmente no Google Earth corresponde a Latitude: 22°26'01"S, Longitude: 46°56'37"W, enquanto a inferior (P5), Latitude: 22°25'44"S, Longitude: 46°57'06"W. Área total é de 79,35 ha.

A seção denominada P1 (ponto mais alto do trecho) está na cota 637,08m e a seção final (P5) na cota 606,07m. As cotas foram determinadas a partir das curvas de nível.

Figura 1 - Representação da área a ser dimensionada no SWMM



Fonte: cedido pelo autor do projeto

Na Figura 2 mostra-se a imagem da área, obtida no Google Earth, com a localização das 5 seções a serem dimensionadas. A área engloba os bairros Jardim Itapema, Jardim 31

de Marco, Jardim Elite, e pode-se que é uma área com elevado índice de urbanização, sendo necessário um cuidado na adoção dos valores do coeficiente de escoamento superficial para o cálculo adequado do hidrograma e da sua vazão de pico.

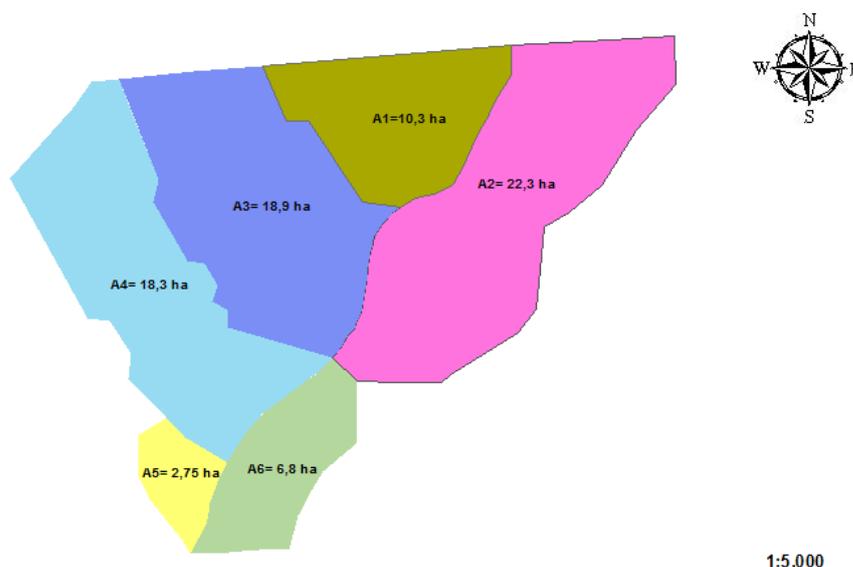
Figura 2 - Representação no Google Earth dos cinco pontos a serem dimensionados



Fonte: Elaborado pela Autora (2020).

As seis áreas são margeadas pelo Córrego de Toledo que deságua no Rio Mogi Mirim. O canal será dimensionado em cinco trechos, associados às áreas representadas na Figura 3. O comprimento total do curso d'água obtido foi de 1.217 m.

Figura 3 – Representação das áreas do dimensionamento no ArcMap



Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator – UTM. Datum: SIRGAS 2000

Fonte: Elaborado pela Autora (2020).

4.2 DIMENSIONAMENTO DE CANAL

A determinação da vazão de cheia para o dimensionamento do canal foi feita a partir do Método Racional (Equação 1) (CARVALHO, SILVA, 2006):

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{K} \quad (1)$$

Sendo:

Q a vazão (m³/s); C o Coeficiente de escoamento superficial; i a intensidade pluviométrica (mm/h); A área da bacia hidrográfica (ha); K = Constante para obter a vazão em m³/s.

Para pavimento asfáltico, o valor do coeficiente de escoamento superficial (C), varia de 0,70 a 0,95 (FERREIRA, 2004). Neste trabalho, o coeficiente C adotado foi 0,8 visando uma maior segurança no dimensionamento. Para este conjunto de bacias hidrográficas, o valor de i é 134 mm/h, enquanto K é 360.

Um parâmetro importante é a declividade, obtida a partir da Equação 2:

$$I_0 = \frac{\Delta H}{L} \quad (2)$$

Sendo:

I₀ a declividade (m/m); ΔH a diferença entre duas cotas (m); L o comprimento total do curso d'água (m).

Foi adotada uma declividade única para o trecho todo, 0,015 m/m, sendo a cota a diferença entre a cota maior (P1) pela menor (P2). Para a determinação da altura d'água usa-se uma equação obtida a partir da fórmula de Manning, mostrada na Equação 3 (PORTO, 2001).

$$K_2 = \frac{n \cdot Q}{b^{8/3} \cdot \sqrt{I_0}} \quad (3)$$

Sendo:

K₂ = Coeficiente para cálculo da altura d'água normal; n o Coeficiente de Manning; Q a vazão (m³/s); b a largura de fundo do canal (m); I₀ a declividade de fundo do canal (m/m).

Trabalhou-se com canais retangulares com base de 2,4 m. Os materiais do canal adotados foram: alvenaria e rocha sedimentar.

Visando prevenir o “envelhecimento” do canal, adotaram-se valores 15% maiores do que os disponibilizados na Tabela 8.5. Os valores adotados possibilitaram que todo o canal se encontre dentro dos limites de velocidade propostos para cada material adotado (PORTO, 2001).

O regime fluvial ao longo de todo canal dimensionado, foi confirmado através das equações do escoamento permanente e uniforme em canais (Equações 4 e 5), segundo Porto (2001).

$$q = \frac{Q}{b} \quad (4)$$

Sendo:

q a vazão específica (m³/s.m); Q a vazão (m³/s); b a largura de fundo do canal (m).

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (5)$$

Sendo:

y_c a altura crítica da lâmina d' água; q a vazão específica (m³/s.m); g a aceleração da gravidade (m/s²).

Para evitar erosões no leito e nos taludes do canal, cada trecho do deve estar dentro do limite de velocidade para seu respectivo material adotado (PORTO, 2001). A velocidade é calculada a partir da Equação da Continuidade (Equação 6).

$$V = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Sendo:

V a velocidade (m/s); Q a vazão (m³/s); A a área (m²).

É necessário também avaliar a não formação de ressalto hidráulico e curva de remanso. Segundo Porto (2001), o ressalto hidráulico é um fenômeno que ocorre na passagem de um escoamento supercrítico para um subcrítico; tem como característica uma elevação brusca do nível d'água em uma distância curta, com instabilidade na superfície devido à formação de ondulações e à entrada de ar, provocando perda de energia devido à grande turbulência.

O remanso ocorre quando os parâmetros hidráulicos variam de forma progressiva ao longo da corrente. Em um canal de drenagem, é importante que não haja ocorrência de remanso, para evitar o alagamento de uma região, ou, no caso de escoamento livre com seção de perímetro fechado, evitar que o escoamento passe para forçado, podendo provocar o rompimento da tubulação. A condição para não ocorrer remanso é a energia calculada no trecho 1 deve ser maior ou igual a energia crítica do trecho 2, conforme Equações 7 e 8. (PORTO,2001)

$$E_1 = y_1 + \frac{q_1^2}{2 * g * y_1^2} \quad (7)$$

Sendo:

E_1 a energia específica na seção 1 (m); y_1 a altura da lâmina d'água na seção 1 (m); q_1 a vazão específica ($m^3/s.m$); g a aceleração da gravidade (m/s^2).

$$E_c = \frac{2}{3} * y_c \quad (8)$$

Sendo:

E_c = energia crítica (m); y_c = altura crítica da lâmina d'água (m).

Considerando que a vazão em cada trecho do canal aumenta, pois estes recebem a vazão das bacias de contribuição, é necessário dimensionar um degrau (elevação no nível de fundo) para que a lâmina d'água não sofra elevação. A altura do degrau é determinada a partir da Equação 9.

$$E_2 + \Delta Z = E_1 \quad (9)$$

Sendo:

E_2 = energia específica na seção 2 (m); ΔZ a elevação de fundo do canal (m); E_1 a energia específica na seção 1 (m).

O software *Storm Water Management Model*, possibilita o dimensionamento e concepções de componentes e acessórios da rede de drenagem, apresentando eficiência no controle de inundações e na manutenção da qualidade da água (ENHS, 2019).

4.3 SWMM

O *Storm Water Management Model* – SWMM (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana - SWMM), é um software livre, desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA) em 1971, pelos pesquisadores Metcalf e Eddy, Water Resources Engineers e a Universidade da Flórida (SHINMA, 2011). O software simula eventos chuvosos ao longo de intervalos de tempo estabelecidos. O trecho a ser dimensionado é dividido em sub-bacias hidrográficas, e o percurso da água é simulado através de um sistema com tubulações e outros dispositivos, analisando a evolução da vazão e da altura de escoamento (ENHS, 2019).

O software é dividido em cinco blocos: “*Runoff*”, “*Transport*”, “*Extran*”, “*Storage/Treatment*”, “*Statistics*”, sendo que cada módulo pode ser simulado separadamente (SOUZA, et al, 2012).

A parcela do escoamento superficial é determinada a partir do bloco “*Runoff*” onde a chuva é transformada em vazão. O bloco “*Transport*” tem a função de realizar o transporte ao longo da rede de drenagem. O bloco “*Extran*” está associado a canais condutos sendo

responsável por realizar a modelagem hidrodinâmica adotando a equação de continuidade para os nós do sistema de drenagem, enquanto para condutos utiliza a equação do momento. O bloco “*Storage/ Treatment*”, tem como função a garantia da qualidade da água do sistema. O bloco “*Statistics*” realiza a separação do registro em duas formas: hidrograma e polutogramas, também realiza cálculos estatísticos e analisa dados de frequências (COLLODEL, 2009; GARCIA; PAIVA, 2006; SMITH, 1992).

O site do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, João Pessoa – PB disponibiliza o download do software e de um manual com um exercício de aplicação prático para dimensionamento. Com base nesse manual, foi implementado o canal proposto anteriormente.

4.4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

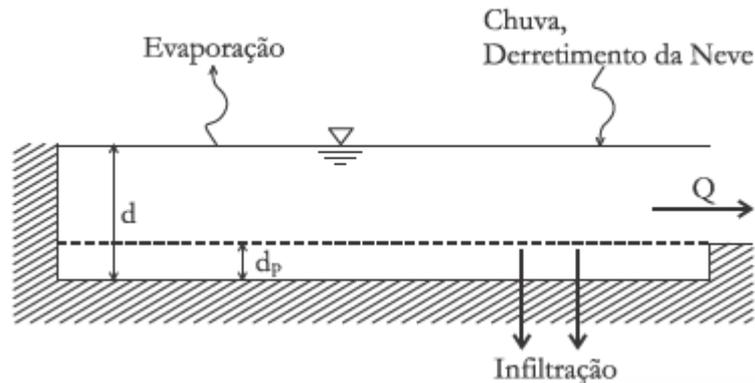
No modelo chuva-vazão a principal informação é a precipitação, que é uma parcela de grande importância do ciclo hidrológico, tendo como características associadas: localização, duração e intensidade. Esses parâmetros têm relevância são importantes já que tem influência no escoamento superficial em uma bacia. (MOREIRA, MINE e PEREIRA FILHO, 2007).

Essa modelagem objetiva estimar o escoamento em um sistema de drenagem através do evento pluviométrico, ou seja, visa reproduzir desde a precipitação de um ciclo hidrológico até a etapa final (escoamento no ponto interessado) (TUCCI, 1998). Os modelos que abordam esta metodologia podem ser simples como, o Método Racional, até ou mais complexos, em que a variação espaço-tempo de uma precipitação é considerada. Os mais complexos visam à representação da variação espacial da bacia, realizando-se balanços hídricos (ROCHA, 2019).

No SWMM, adota-se o método do reservatório não-linear para modelar o fluxo superficial. O método considera os seguintes parâmetros: entradas de fluxo na bacia (através da precipitação), perdas por infiltração e evaporação, volume (pode estar retido nas depressões da bacia). Como contribuições englobam as precipitações e outra sub-bacia localizada a montante. Em relação aos fluxos de saída: infiltração, evaporação, escoamento superficial (ENHS, 2019; ROCHA, 2019).

Na Figura 4 mostra-se a representação dos parâmetros do modelo, sendo a precipitação considerada chuva ou derretimento de neve. O escoamento superficial (Q) ocorre após o armazenamento em depressões (“ dp ”), com a lâmina de água do reservatório “ d ” (ENHS, 2019).

Figura 4 – Representação do Método Não-Linear



Fonte: ENHS (2019).

4.5 INFILTRAÇÃO

A infiltração é definida como o fenômeno em que ocorre a penetração da água da chuva na superfície do solo até a zona de não saturação da área permeável da sub-bacia. O SWMM possibilita a seleção entre três modelos de infiltração: Equação de Horton, Método Green-Ampt, Método do SCS. (SHINMA, 2011; ENHS, 2019).

Observa-se na literatura a preferência da adoção do Método de Horton em trabalhos desenvolvidos, optando-se assim pela utilização deste modelo visando facilitar comparações.

No Método de Horton, que é baseado em observações empíricas, demonstra que a infiltração apresenta um decréscimo exponencial, a partir de um valor inicial máximo até um valor mínimo em um evento de chuva. Os parâmetros de entrada necessários são a taxa de infiltração máxima e mínima, o coeficiente de decaimento e o tempo (para a secagem de um solo completamente saturado) (ENHS, 2019).

4.6 PROPAGAÇÃO DO ESCOAMENTO

O transporte de água através de um conduto é regido pelas equações da conservação de massa e da quantidade de movimento, para o a condição de fluxo gradualmente variado não permanente. O SWMM permite a escolha entre três modelos hidráulicos de transporte: Fluxo em Regime Uniforme, Onda Cinemática, Onda Dinâmica (ENHS, 2019).

O modelo de Fluxo em Regime Uniforme é uma representação mais simplificada do transporte de água e o dimensionamento é feito utilizando a Equação de Manning. Porém,

este modelo não considera o armazenamento de água produzido nos condutos, à ocorrência de remanso e ressalto hidráulico, as perdas na entrada e saída, e o escoamento sob pressão, sendo utilizado somente para análises preliminares em simulações contínuas de longo prazo (ENHS, 2019).

O Modelo de Onda Cinemática determina a vazão máxima a partir da Equação de Manning para a determinação da vazão máxima e permite a variação da vazão e área, no espaço e no tempo, no interior do conduto. Porém, não possibilita a simulação de ressalto hidráulico, perdas nas entradas e saídas, remanso, escoamento sob pressão. Sua utilização também é limitada a sistemas ramificados e é uma alternativa para modelos de transporte com tempos elevados de simulação (ENHS, 2019).

O Modelo de Onda Dinâmica apresenta resoluções de equações completas unidimensionais, gerando resultados de maior precisão. Representa o escoamento sob pressão, na condição de um conduto fechado completamente cheio, podendo a vazão circulante no meio ultrapassar o valor da vazão do tubo completamente cheio, obtida através de Manning. Este modelo considera a armazenagem nos condutos, a ocorrência de ressalto e remanso, as perdas na entrada e saída. Adequado para situações em que são importantes os fenômenos de ressalto e remanso (ENHS, 2019).

Visando a redução do tempo e número de simulações, e considerando que os fenômenos de ressalto e remanso não são relevantes, adotou-se o Método da Onda Cinemática. Os valores de infiltração foram calibrados a partir das faixas de valores propostas pelo Manual do SWMM (ENHS, 2019), somente valor de infiltração inicial mínimo, foi adotado o valor proposto por Silva (2003).

Os dados referentes à infiltração estão apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Valores associados à infiltração

Sigla	Parâmetro	Mínimo	Máximo
I_o (mm/h)	Capacidade de Infiltração Inicial	8	254
I_b (mm/h)	Capacidade de Infiltração Final	2,5	120
k (1/h)	Constante de Decaimento	2	7

Fonte: Collodel (2009); ENHS (2019); SILVA (2003).

4.7 CARACTERÍSTICAS DA BACIA

O SWMM aborda a representação do sistema de drenagem através da configuração composta por: bacias, nós, condutos. A determinação dos parâmetros adotados seria descrita nos itens a seguir, no entanto devido à calibração na simulação, alguns valores apresentados serão apenas estimativas iniciais.

Os dados a seguir expostos foram definidos através das figuras apresentadas no item 4.1 como também do dimensionamento manual realizado no item 5.1.

4.7.1 SUB-BACIA

Na Tabela, a caracterização das sub-bacias foi feita através dos parâmetros apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Parâmetros associados à sub-bacia

Parâmetro	Sigla	Unidade
Área	A	ha
Largura	W	m
Declividade	S	%
Áreas Impermeáveis	AI	%
Coeficiente de Rugosidade de Manning - Superfícies Impermeáveis	-	-
Coeficiente de Rugosidade de Manning - Superfícies Permeáveis	-	-
Capacidade de Armazenamento em Depressões - Superfícies Impermeáveis	DI	mm
Capacidade de Armazenamento em Depressões - Superfícies Permeáveis	DP	mm
Áreas Impermeáveis não conectadas	AINC	%

Fonte: Collodel (2009); ENHS (2019).

A área foi determinada a partir das figuras do item 4.1, e os parâmetros como largura e declividade de fundo foram obtidos no dimensionamento manual, descrito no item 5.2.

As áreas impermeáveis (AI) foram adotadas em um valor de 50%, baseado no exemplo teste proposto pelo Manual do SWMM.

Em relação aos coeficientes de Rugosidade de Manning (Superfícies Impermeáveis e Permeáveis) e a Capacidade de Armazenamento em Depressões (Superfícies Impermeáveis e Permeáveis), estes têm a obtenção após a calibração, os valores adotados se encontram dentro do intervalo proposto pelo Manual do SWMM, conforme apresentado na Tabela 4.8 (ENHS, 2009).

As áreas impermeáveis não conectadas (AINC) correspondem à fração de uma área impermeável que apresenta uma contribuição efetiva no escoamento superficial direto, sem ter a possibilidade de infiltração no solo ou passagem por superfícies permeáveis. Conclui-se então que este parâmetro corresponde à diferença entre área impermeável total e a área

diretamente conectada (GAROTTI et al., 2007).

Tabela 4.8 - Intervalos de valores para Rugosidade e Armazenamento

Sigla	Parâmetro	Mínimo	Máximo
NI	Coeficiente de Rugosidade de Manning - Superfícies Impermeáveis	0,01	0,04
NP	Coeficiente de Rugosidade de Manning - Superfícies Permeáveis	0,1	0,8
DI (mm)	Capacidade de Armazenamento em Depressões - Superfícies Impermeáveis	1,27	2,57
DP (mm)	Capacidade de Armazenamento em Depressões - Superfícies Permeáveis	2,54	7,62

Fonte: Collodel (2009); ENHS (2019).

Neste trabalho, adotou-se um valor de 25%, seguindo o proposto no exemplo didático apresentado no Manual do SWMM.

4.7.2 CONDUTOS

Os condutos podem ser tubulações ou canais onde ocorre o transporte de água de um nó para outro. Ou seja, são os dispositivos que permitem a propagação de água dentro de um sistema de drenagem. No SWMM as seções transversais dos condutos podem apresentar diversas geometrias, abertas ou fechadas (COLLODEL, 2009; ENHS, 2019). Na Figura 5 mostram-se as diferentes geometrias disponíveis no SWMM.

Neste trabalho, optou-se pela seção retangular aberto, estando, portanto, associado com os parâmetros largura e profundidade.

Para a caracterização dos condutos, o SWMM, necessita dos parâmetros mostrados na Tabela 4.9 (COLLODEL, 2009; ENHS, 2019).

As seções transversais dos condutos foram obtidas a partir da planta planialtimétrica da região. Observa-se que o Córrego Toledo é constituído por quatro trechos. Em relação aos valores de coeficientes de Manning dos canais estes foram determinados a partir de dados de Porto (2001), adotando o material adequado para trecho do canal cumprir com condições necessárias de segurança. A declividade foi adotada como sendo a mesma para todo o trecho do canal, obtendo-se 0,015 m/m, conforme será descrito no item 5.2. Vazão de

Base é um valor de entrada na condição em que o SWMM não foi calibrado ainda (COLLODEL, 2009). As vazões do canal foram calculadas através do Método Racional, descrito no item 5.2.

Tabela 4.9 – Parâmetros do SWMM para condutos

Parâmetro	Sigla	Unidade
Comprimento	L	m
Declividade	Sc	m/m
Rugosidade	Ncn /Ng,s	-
Seção Transversal	-	-
Vazão de Base	Q _b	m ³ /s
Offset de Saída	h _{off}	m

Fonte: Collodel (2009); ENHS (2019).

Figura 5 – Representação das diversas geometrias de conduto no SWMM

Nome	Parâmetros	Forma	Nome	Parâmetros	Forma
Circular	Profundidade		Circular Preenchimento	Profundidade, profundidade do escoamento	
Retangular Fechado	Profundidade, largura		Retangular Aberto	Profundidade, largura	
Trapezoidal	Profundidade, largura na parte superior, declividade lateral		Triangular	Profundidade, largura na parte superior	
Elipse Horizontal	Profundidade		Elipse Vertical	Profundidade	
Arco	Profundidade		Parabólica	Profundidade, largura na parte superior	
Potencial	Profundidade, Largura na parte superior, expoente		Retangular – Triangular	Profundidade, largura	
Retangular Arredondada	Profundidade, largura		Cesta de mão modificada	Profundidade, largura	
Oval	Profundidade		Colada de cavalo	Profundidade	
Gótico	Profundidade		Catenária	Profundidade	
Semi-elíptica	Profundidade		Cesta de mão	Profundidade	
Semicircular	Profundidade				

Fonte: ENHS (2019).

O *offset* de saída, é definido como a diferença entre a cota do fundo do conduto e o

nó de jusante, foi adotado como zero no caso de canais naturais (COLLODEL, 2009)

4.7.3 NÓS

Os nós são definidos como objetos presentes no sistema de drenagem em que são conectados diferentes trechos entre si. Podem ser representados por: canais superficiais naturais, poços de visita em um sistema de drenagem, elementos de conexão de tubulações. As contribuídas advindas chegam ao sistema através das conexões (ENHS, 2019). Os parâmetros de entrada necessários para os nós estão descritos na Tabela 4.10, e foram obtidos a partir da planta planialtimétrica.

Tabela 4.10 – Parâmetros do SWMM para os nós

Parâmetro	Sigla	Unidade
Coordenadas	x,y	-
Cota de Fundo	Z	m
Altura Máxima	$h_{m\acute{a}x}$	m
Vazão de Base	Q_b	m ³ /s
Altura Inicial de Escoamento	$h_{inicial}$	m

Fonte: Collodel (2009); ENHS (2019).

4.8 SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO

A Tabela 4.11 mostra um trecho dos dados de precipitação, de uma série histórica de 31 anos, permitindo a análise do evento de precipitação diária para toda a cidade de Mogi-Mirim.

Os dados referentes à precipitação foram obtidos no site do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), do posto Usina Esmeralda (D3-004), com coordenadas, latitude: 22°33'00", longitude: 46°58'00", abordando o período de chuvas mensais de 01/06/1962 a 30/05/1972, na cidade de Mogi-Mirim. Visando a minimização de erros de continuidade no fluxo, adotou-se uma discretização temporal em intervalos de cinco minutos, conforme o Manual do SWMM.

De acordo com o Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas (DAEE, 2005), para estimar a intensidade de precipitação de um projeto, inicialmente são definidos os parâmetros de período de retorno e a duração associados à precipitação. O período de retorno está relacionado ao risco assumido no dimensionamento de uma obra hidráulica. Na condição de uma obra de canalização a céu aberto, com seção geométrica retangular, o período de retorno (T_R) recomendado é de 100 anos.

Tabela 4.11 – Dados de Precipitação Mogi-Mirim 1972

Dia	jan/72	fev/72	mar/72	abr/72	mai/72
1	0,0	20,8	0,0	25,5	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	11,9	12,3	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	52,0	0,0
5	7,3	0,8	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	33,6	0,0	0,0
7	15,2	41,3	0,0	0,0	0,0
8	7,0	8,5	31,9	0,0	0,0
9	10,9	3,7	10,9	0,0	1,0
10	0,0	32,8	0,0	0,0	0,0
11	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	15,9	11,4	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	2,2	0,0	14,5	0,0
17	0,0	14,4	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,9	1,3	0,0	0,0	0,0
20	0,0	29,5	0,0	0,0	0,0
21	9,5	28,2	0,0	0,0	0,0
22	37,0	2,7	0,0	0,0	0,0
23	35,0	2,1	0,0	0,0	6,1
24	55,0	1,9	0,9	0,0	7,1
25	9,0	9,3	0,0	0,0	26,1
26	0,0	22,2	11,0	0,0	0,0
27	15,5	3,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0
29	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0
30	16,5	---	0,0	0,0	0,0
31	8,0	---	0,0	---	---

Fonte: DAEE (2020).

Em relação à duração da chuva crítica, em vários métodos como no Racional, esta duração é considerada igual ao tempo de concentração da bacia, cuja definição envolve o tempo que a partícula de chuva no ponto mais distante da bacia demora a chegar à seção de interesse. Para o cálculo deste parâmetro o DAEE recomenda a fórmula do “*California Culverts Practice*”, conforme Equação 10. (TUCCI, 1993):

$$t_c = 57 * \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (10)$$

Sendo:

t_c o tempo de concentração (min); L o comprimento do talvegue o (km); Δh o desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m).

Conforme Equação 10, a duração do evento de precipitação obtido foi de 20 min.

Devido ao município de Mogi-Mirim não apresentar Equação de Intensidade, a intensidade de precipitação foi calculada, realizando a transformação de 1 dia precipitação (mm) em intensidade (mm/h), considerando-se o período de retorno (100 anos). Obtendo-se para o período em questão uma intensidade de precipitação de 214 mm/h. Ressaltando que neste trabalho foi realizada uma aproximação para a obtenção da intensidade de precipitação, não sendo um parâmetro que apresenta relação de obtenção direta com a precipitação (mm).

4.9 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

A Calibração no SWMM permite a comparação entre os dados gerados em uma simulação com os medidos em campo, através de gráficos de séries temporais (ENHS, 2019). Os parâmetros calibrados no software estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Calibração no SWMM

Símbolo	Definição	Símbolo	Definição
DP	Capacidade de Armazenamento em Depressões - Superfícies Permeáveis	DI	Capacidade de Armazenamento em Depressões - Superfícies Impermeáveis
NP	Coeficiente de Rugosidade de Manning para Áreas Permeáveis	NI	Coeficiente de Rugosidade de Manning para Áreas Impermeáveis
Sc	Declividade da sub-bacia	AI	Percentual de Áreas Impermeáveis
W	Largura da sub-bacia	Ncn / Ng,s	Coeficiente de Rugosidade de Manning do conduto

Fonte: Adaptado de Rocha (2019).

Os critérios para adoção dos parâmetros relacionados à sub-bacia e condutos estão

descritos no item 4.7. Os dados foram obtidos com auxílio da planta planialtimétrica e com os valores propostos no exemplo do Manual do SWMM. A calibração manual do coeficiente de rugosidade de Manning do conduto foi realizada, tendo como referência de valores a Tabela apresentada por Porto (2001), procedimento descrito no item 5.2.

Este ajuste manual é realizado por tentativa e erro, repetindo-se as simulações no SWMM e analisando-se os resultados obtidos. Em cada tentativa, o hidrograma obtido é analisado em relação às vazões mínimas, picos de cheias, volume, tempo de ocorrência associados (ROCHA, 2019).

Como não há dados de medição contínua de vazão na área de estudo, foram adotados para ajuste dos parâmetros os valores de vazão utilizados no dimensionamento manual conforme descrito no item 5.2. Os dados levantados foram utilizados para a posterior etapa de validação do SWMM.

4.10 SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO

A etapa de validação visa à avaliação da eficiência do SWMM na simulação de hidrogramas que condizem com a realidade, assim como a análise de diferentes níveis de detalhamento de uma rede de drenagem (COLLODEL, 2009).

Utilizou-se o trecho do Córrego de Toledo alvo do dimensionamento, para a simulação de escoamento desta etapa.

5 RESULTADOS

5.1 DIMENSIONAMENTOS

O dimensionamento manual foi realizado utilizando-se conceitos de hidráulica conforme item 3.2. Também foi realizado o dimensionamento utilizando o software SWMM.

5.2 RESULTADOS DIMENSIONAMENTO MANUAL

O dimensionamento manual foi realizado conforme descrito no item 4.2. Inicialmente calcularam-se as vazões referentes a cada ponto da bacia; para o trecho inicial P1 - P2 foi adotada a vazão de 5 m³/s e, a partir daí, foram determinadas as vazões dos trechos consecutivos a partir da Equação 1.

O valor do coeficiente de Manning e de limite de velocidade por material foram adotados segundo Porto (2001). O valor de Manning adotado visou à adequação do trecho para o regime fluvial, manter uma velocidade dentro do limite estipulado para o material.

Para todo o trecho do canal, adotou-se um valor de largura de fundo (b) e o cálculo da lâmina d'água normal foi feito a partir da Equação 3. Para a confirmação que o trecho se encontra no regime fluvial, calculou-se a altura da lâmina d'água crítica através das Equações 4 e 5; segundo a definição esta deve ser menor que a lâmina d'água normal. A velocidade do escoamento foi calculada a partir da Equação 6, para verificar se esta se encontra dentro do limite proposto para o material adotado no trecho. Os resultados obtidos mostram-se na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Dimensionamento do canal

Trecho	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6
Vazão (m³/s)	5	8,07	20,34	25,78	28,63
Largura de fundo (m)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
y₀ (m)	0,97	1,40	2,93	3,58	3,91
y_c (m)	0,76	1,05	1,94	2,27	2,44
y₀ > y_c	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
n	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038
Material	Rocha Sedimentar	Rocha Sedimentar	Alvenaria	Alvenaria	Alvenaria
Limite de Velocidade (m/s)	1,83 a 2,44	1,83 a 2,44	2,44 a 3,05	2,44 a 3,05	2,44 a 3,05
Velocidade (m/s)	2,14	2,41	2,90	3,01	3,05

Fonte: A autora (2020).

Segundo Porto (2001) a condição para o escoamento ser fluvial ($y_0 > y_c$) e os limites de velocidade foram satisfeitos em todos os trechos dimensionados. O trecho todo se encontra em somente regime fluvial evitando-se a ocorrência de ressalto hidráulico.

Visando, manter uma lâmina d'água constante ao longo de todo o trecho do canal, adotou-se degraus, calculados conforme o item 5.2, e apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Energia de cada trecho do canal

Trecho	ΔZ (m)	Energia (m)
P1 - P2 (E1)	0,43	1,45
P2 - P3 (E2)	1,53	1,88
P3 - P4 (E3)	0,65	3,41
P4 - P5 (E4)	0,33	4,06
P5 - P6 (E5)	-	4,39

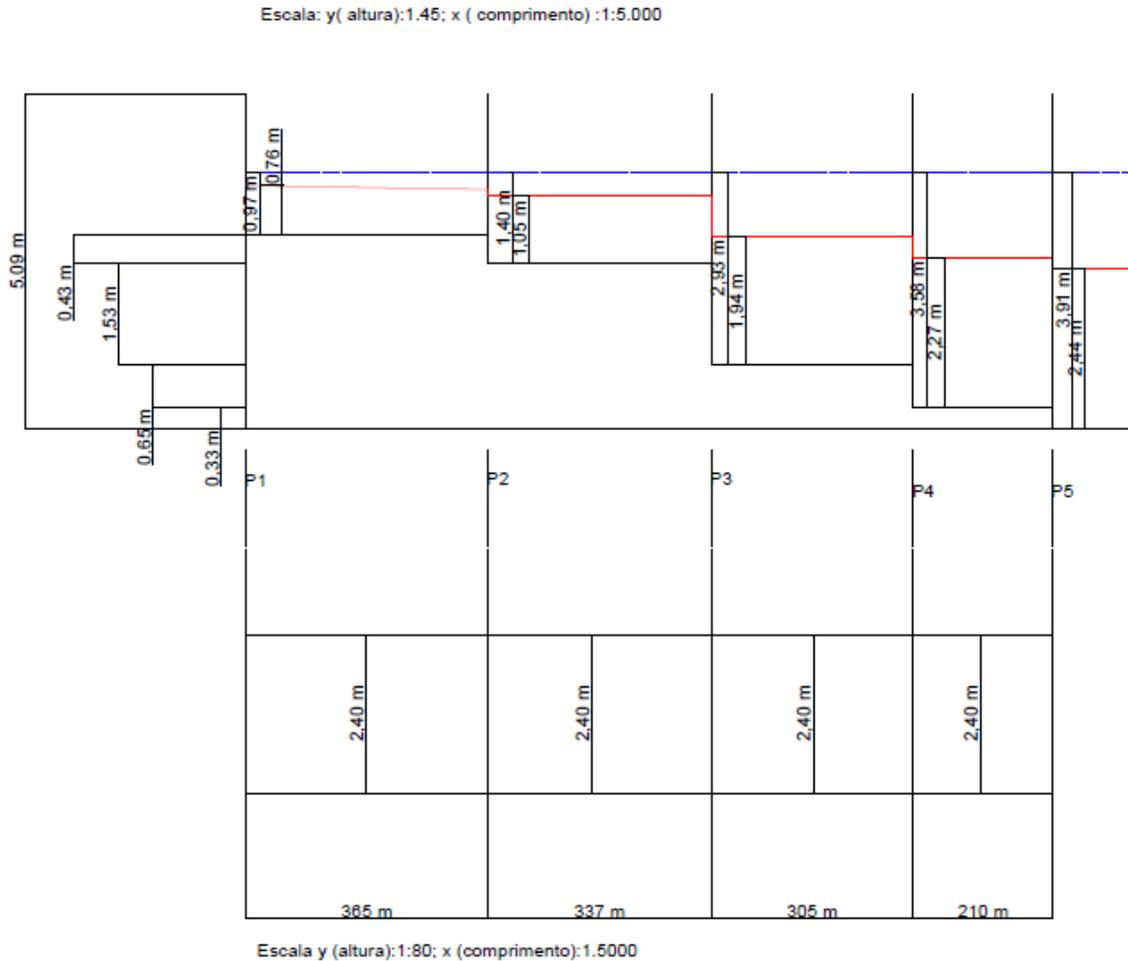
Fonte: A autora (2020).

Na Figura 6 mostra-se o canal dimensionado em planta e perfil com suas seções. Observa-se que em azul está retratada a lâmina d'água normal (y_0), enquanto em vermelho a lâmina d'água crítica (y_c). Outra recomendação de Porto (2001), em canais abertos deve ter uma folga ou revanche de 15% a 30% da altura d'água máxima do projeto, sendo um fator de segurança. Para o dimensionamento realizado, foi proposto uma folga de 30%, com objetivo de uma maior segurança contra uma sobrelevação do canal em relação ao nível d'água em uma curva ou uma diminuição da seção dentre outros problemas que possam ocorrer. A altura d'água máxima do projeto foi de 3,91 m, sendo assim a altura adotada foi de 5,09 m. De acordo com Porto (2001), dentro do possível para canais urbanos, devem ser evitadas profundidades superiores a 4 m, devido a questões como custo de escavação, segurança, estéticas.

Outro fator observado envolve a questão da altura dos degraus obtidos que foram adotados para efeito didático, no entanto na condição de um dimensionamento real, deveria ocorrer ajuste dos parâmetros, para obtenção de valores mais condicentes com a realidade.

Segundo a definição de remanso, utilizando-se as Equações 4 a 8, observou-se que a condição $E1 \geq E_{C2}$ foi cumprida em todos os trechos do canal, indicando assim a ausência de remanso.

Figura 6 – Representação do canal dimensionado no AutoCAD



Fonte: A autora (2020).

5.3 RESULTADOS DIMENSIONAMENTO SWMM

O dimensionamento foi realizado conforme a descrição no item 5.2, em que os dados referentes às Tabelas 5.2 e 5.3 são inseridos no software SWMM. Como referência para os valores de Manning, limites de velocidade por material, utilizou-se Porto (2001).

Com os dados apresentados na Tabela 5.2, iniciou-se a simulação no SWMM. Inicialmente conforme Manual são inseridos os valores de parâmetros pré-definidos nas sub-bacias, apresentados na Tabela 5.4 (ENHS, 2019).

Os valores adotados na Tabela 5.3 estão dentro do intervalo de valores adequados apresentados no item 4.7.1. O método de cálculo adotado foi Horton conforme abordado no item 4.5.

Em relação aos parâmetros pré-definidos para nós/trechos, adotou-se na maioria os valores estabelecidos pelo SWMM, sendo alterados somente os valores apresentados na Tabela 5.5.

Posteriormente ao estabelecimento dos parâmetros pré-definidos, desenhou-se o sistema representativo da área dimensionada, segundo a Figura 7, em que se observam as sub-bacias, pluviômetro, nós associados ao sistema.

Tabela 5.4 – Configurações Pré-Definidas Sub-bacias no SWMM

Parâmetros	Sigla	Valor
Área	A	79,35 ha
Largura	W	2,4 m
Declividade	S	0,015 m/m
% Área Impermeável	AI	50%
Manning (área impermeável)	NI	0,038
Manning (área permeável)	NP	0,1
PA-impermeável	DI	1,5
PA-permeável	DP	1,5
% Área Impermeável sem armazenamento em depressão	AINC	25%
Método de cálculo para infiltração	-	Horton

Fonte: A autora (2020).

Tabela 5.5 - Configurações Pré-Definidas Nós no SWMM

Parâmetro	Sigla	Valor
Comprimento do Conduto	L	1217 m
Forma e Tamanho do Conduto	-	Retângulo Aberto
Método de Propagação do Fluxo	-	Onda Cinemática

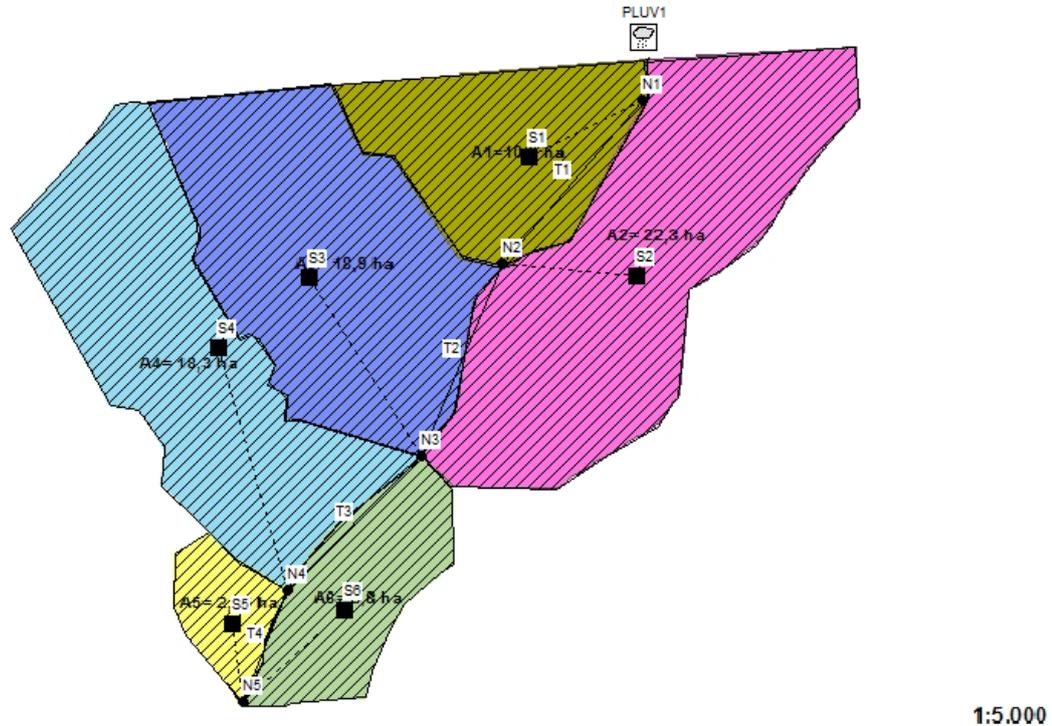
Fonte: A autora (2020).

A etapa de calibração foi concluída com os parâmetros citados nas Tabelas 5.4 e 5.5. O procedimento seguinte envolve a simulação e validação.

Para determinar um evento de precipitação, foi criada uma série temporal associada ao pluviômetro (PLUV1), com os valores descritos no item 4.8. Na simulação do SWMM, o período de duração do evento de precipitação obtido (20 min) era insuficiente, não se adequando para gerar uma simulação, considerou-se então um intervalo de 1 h gerando uma precipitação de 214 mm, pois, não foram encontrados dados da distribuição da precipitação em intervalos de horas, somente valores diários, realizou-se a aproximação

exposta na Tabela 5.6 apresenta os valores utilizados na série temporal.

Figura 7 – Representação do canal apresentando: sub-bacias, nós, pluviômetro



Fonte: A autora (2020).

Tempo (h)	Precipitação (mm)
0	0
1	214
2	0

Fonte: A autora (2020).

Na determinação das condições da análise, adotaram-se os valores propostos no exemplo prático do manual SWMM, gerando uma simulação para 12 h de duração. Seguente a isto, executou-se a simulação. A Figura 8 retrata um fragmento do relatório do estado, neste encontram-se aspectos como, a qualidade da simulação, que foi relativamente boa, com erros praticamente desprezíveis na equação do balanço de massa (continuidade) com valores de respectivamente -0,06%, -1,55% para o escoamento e a propagação de fluxo, indicando que os dados de entrada foram informados corretamente. Em relação aos 214 mm de precipitação sob a área, 104,233 mm sofrem infiltração no terreno e o restante é convertido em escoamento.

Com a simulação realizada, foram gerados gráficos de séries temporais apresentando a distribuição de: vazão, escoamento, profundidade, na área alvo de dimensionamento, conforme mostra-se nas Figuras 9 a 12.

Figura 8 – Fragmento do Relatório do Estado

Balanco Hídrico	Volume hectare*m	Altura mm

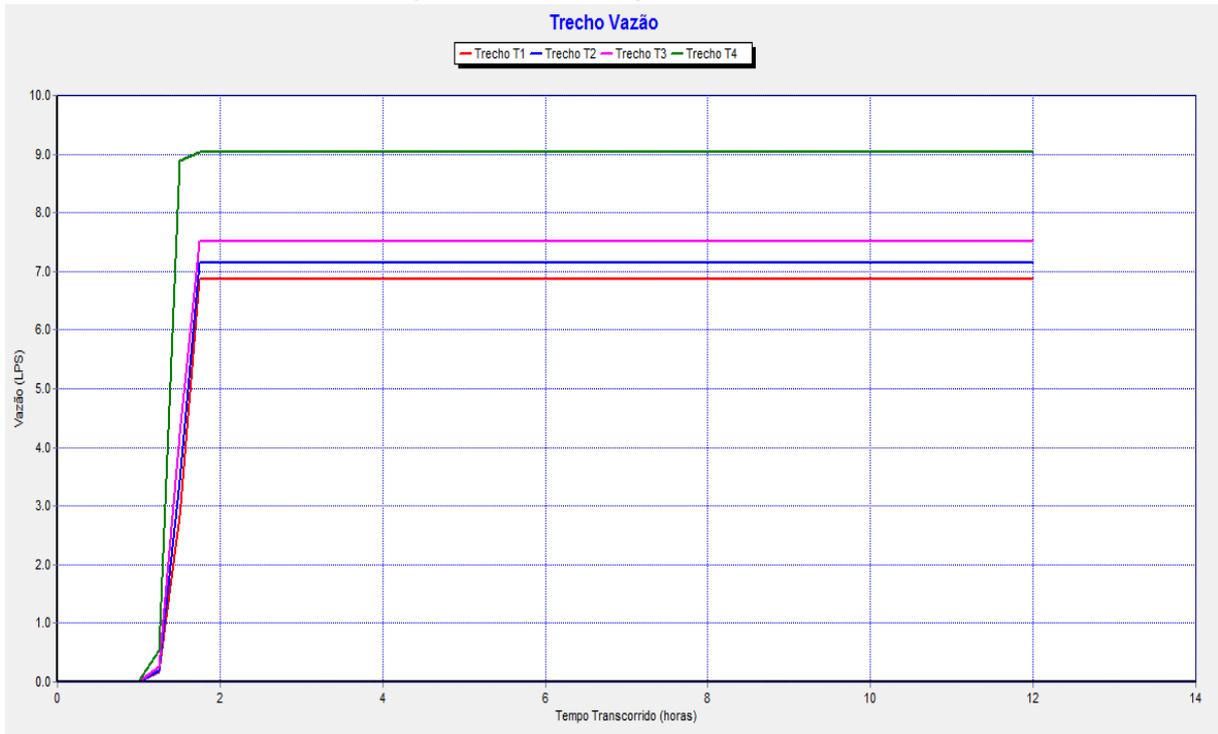
Precipitação Total	16.981	214.000
Perdas por Evaporação	0.000	0.000
Perdas por Infiltração	8.271	104.233
Escoamento Superficial	5.355	67.486
Armazenamento Superficial Final	3.365	42.409
Erro de Continuidade (%)	-0.060	

Continuidade da Propagação de Fluxo	Volume hectare*m	Volume 10^6 L

Afluência Período de Tempo Seco	0.000	0.000
Afluência Período Chuvoso	5.332	53.324
Afluência Águas Subterrâneas	0.000	0.000
Afluência RDII	0.000	0.000
Afluência Externa	0.000	0.000
Efluência Externa	0.961	9.614
Efluência Interna	4.365	43.648
Perdas por Armazenamento	0.000	0.000
Volume Inicial Armazenado	0.000	0.000
Volume Final Armazenado	0.089	0.891
Erro de Continuidade (%)	-1.553	

Fonte: A autora (2020).

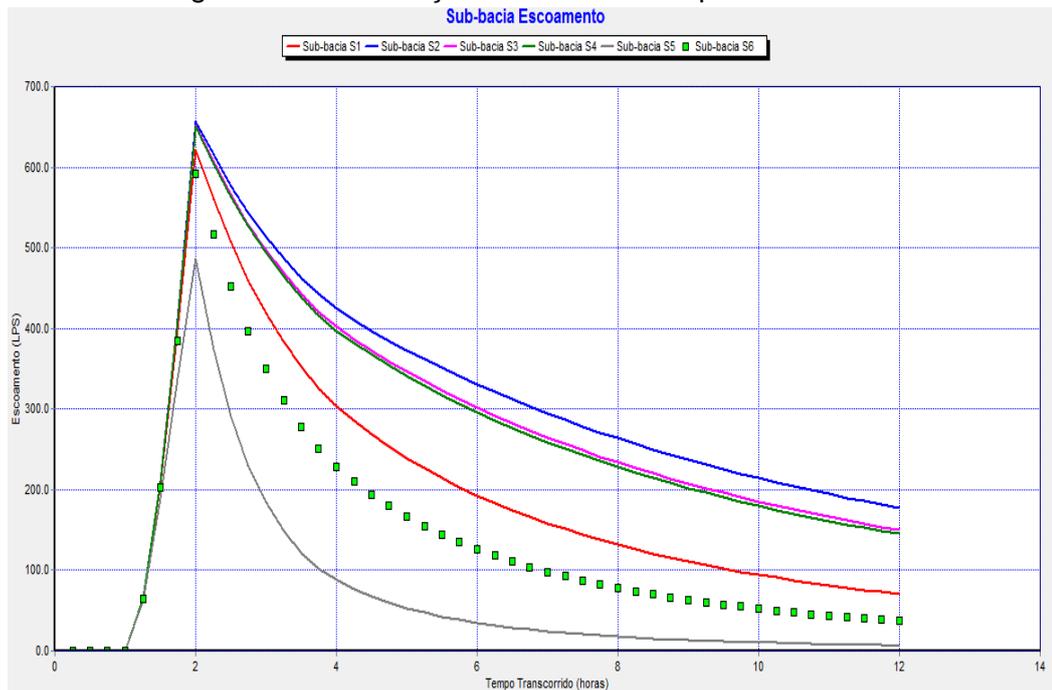
Figura 9 – Distribuição das Vazões



Fonte: A autora (2020).

Na Figura 9, observa-se que a vazão após, a precipitação de 214 mm, atinge seu valor máximo, estabilizando no período perto de 2 h de simulação, o trecho 4 apresenta maior vazão, trecho 1 menor vazão.

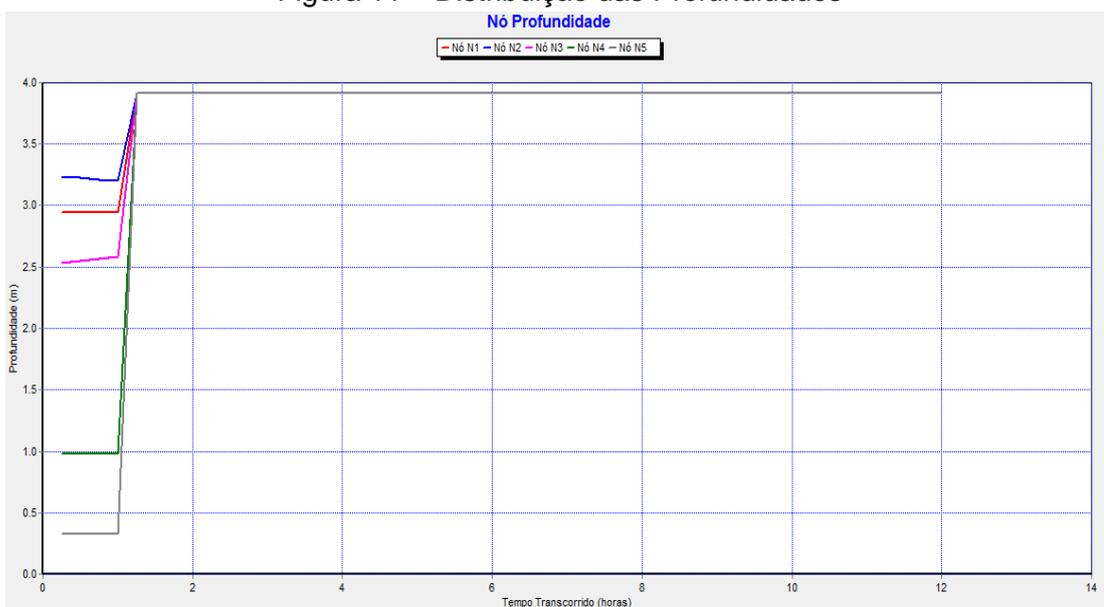
Figura 10 – Distribuição do Escoamento por Sub-Bacias



Fonte: A autora (2020).

Na Figura 10, a precipitação no período de 2 h, acarreta o escoamento máximo para cada sub-bacia, após este período de tempo observa-se o decaimento contínuo do escoamento, na sub-bacia 5 este tendo a zero no tempo final de simulação, enquanto a sub-bacia 2 apresenta o maior escoamento para este mesmo tempo.

Figura 11 – Distribuição das Profundidades

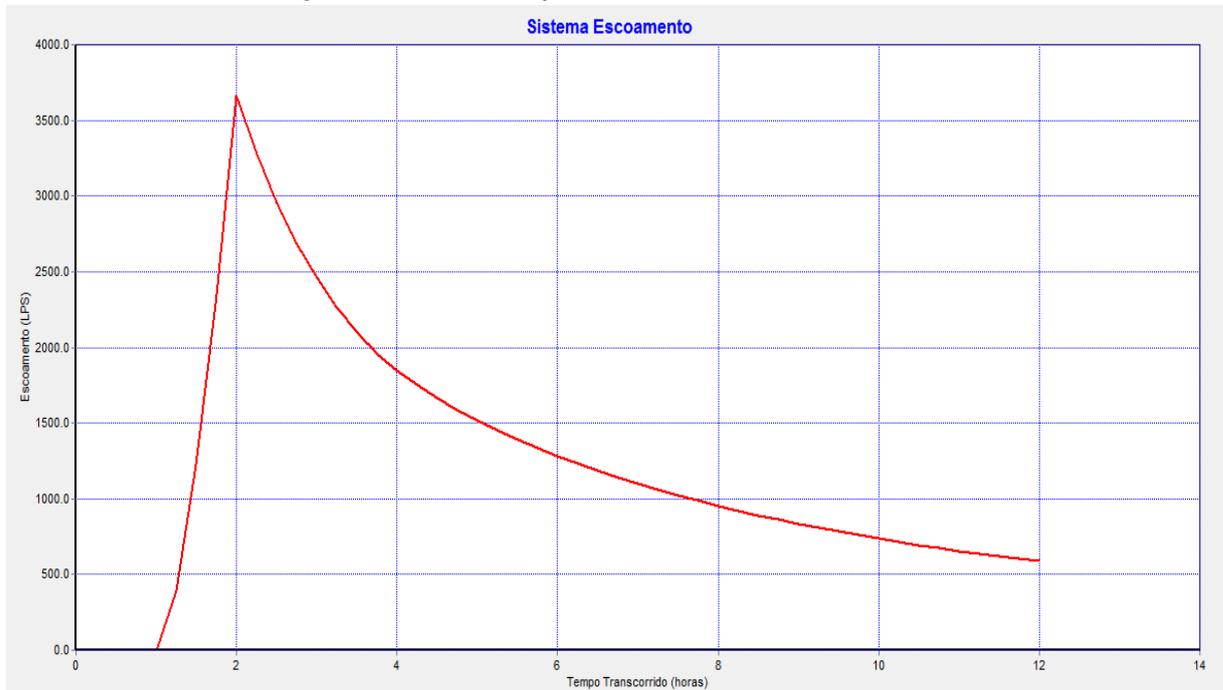


Fonte: A autora (2020).

Na Figura 11, como limitou-se a profundidade máxima conforme valor de lâmina d'água obtido no dimensionamento manual, observa-se que após a precipitação todos os nós do sistema estabilizaram nesta profundidade máxima ao longo de toda a simulação.

Observa-se que a profundidade inicialmente tem valor inferior em N5 (exutório), localizado na cota inferior do terreno, enquanto N1 apresenta maior valor, localizado na cota superior do terreno.

Figura 12 – Distribuição do Escoamento no Sistema



Fonte: A autora (2020).

Na Figura 12, observa-se que após a precipitação o sistema atinge o máximo de escoamento, decaindo continuamente, até atingir estabilidade perto do intervalo de tempo final da simulação.

O SWMM possibilita gerar gráfico apresentando o perfil longitudinal que retrata a evolução do nível d'água ao longo do trecho composto por nós, com conexão entre si (ENHS, 2019). A Figura 13 apresenta o perfil longitudinal do canal dimensionado.

Na Figura 13, observa-se que adotar degraus gerou estabilidade na lâmina d'água, na condição desta dimensionada o perfil de água em todos os nós é totalmente preenchido.

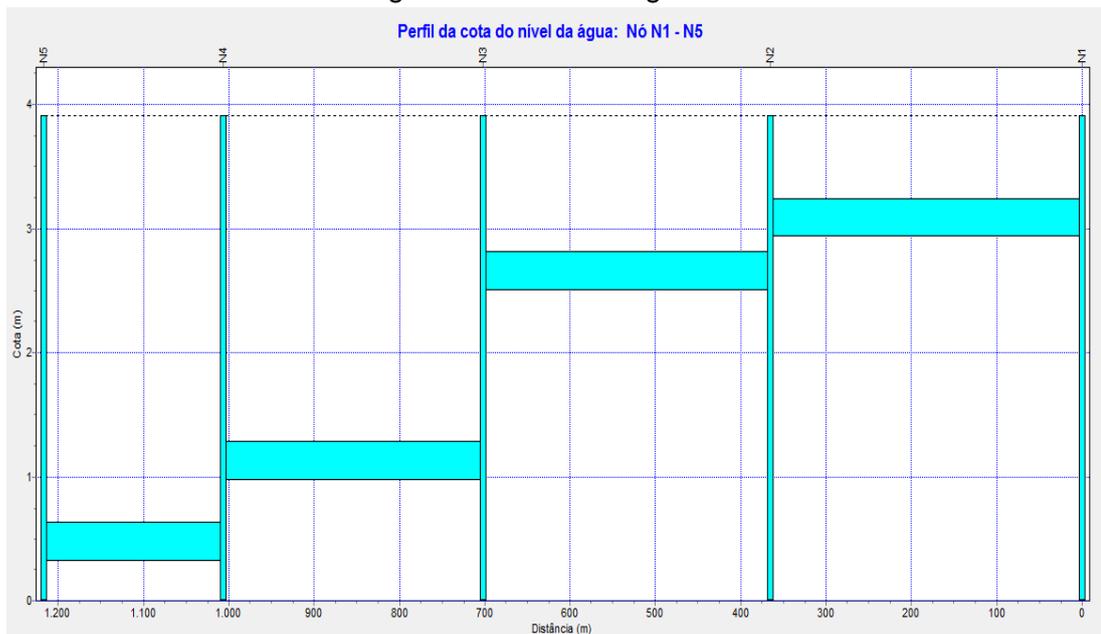
Um fato a ser analisado antes de comparar os métodos é a questão da unidade utilizada pelo SWMM que é o LPS (litro por segundo), devendo ser convertida, $1 \text{ LPS} = 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sistema Internacional). A Tabela 5.7 apresenta a distribuição das vazões associadas à precipitação de 214 mm ao longo do tempo para cada trecho.

Tabela 5.7 – Valores de Vazão em m^3/s

Intervalo de Tempo (H:M)	Vazão por Trecho (m^3/s)			
	T1	T2	T3	T4
01:15	0,00016	0,0002	0,00025	0,00054
01:30	0,00283	0,00344	0,00422	0,00889
01:45	0,00686	0,00714	0,0075	0,00904

Fonte: A autora (2020).

Figura 13 – Perfil Longitudinal



Fonte: A autora (2020).

Analisa-se que para o evento chuvoso estudado, este gerou vazões praticamente desprezíveis para cada trecho, o trecho 4, apresenta a maior vazão pois, acumula a vazão dos trechos anteriores.

A Tabela 5.8 apresenta os valores de escoamento para cada sub-bacia com valores devidamente convertidos, como após o período das 2 h ocorre decaimento no escoamento, retratou-se intervalo até o valor máximo e na condição de menor valor (12 h).

Tabela 5.8 – Valores de Escoamento em m³/s

Intervalo de Tempo (H:M)	Escoamento por Sub-bacia (m ³ /s)					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
01:15	0,06522	0,06559	0,06554	0,06562	0,0634	0,06488
01:30	0,20678	0,2105	0,20992	0,20979	0,18946	0,20332
01:45	0,39765	0,41163	0,40941	0,40894	0,33786	0,38506
02:00	0,6223	0,65718	0,65157	0,65037	0,48642	0,59191
12:00	0,07061	0,17713	0,15003	0,14497	0,00668	0,03706

Fonte: A autora (2020).

Observa-se que a sub-bacia 2 apresenta os maiores valores de escoamento pois, apresenta a maior área (22,3 ha), enquanto a sub-bacia 5 gerou as menores vazões, apresenta menor área (2,75 ha). Concluindo-se que um maior escoamento está diretamente relacionado a uma maior área.

O valor máximo do escoamento é observado no intervalo de 2 h, posteriormente ocorre decaimento contínuo até o período final. Comparado a Tabela 5.8, o escoamento no sistema apresenta valores mais significativos que os analisados em cada sub-bacia.

Tabela 5.9 – Valores de Escoamento no Sistema em m³/s

Intervalo de Tempo (H:M)	Escoamento (m³/s)
01:15	0,5
01:30	2
01:45	3
02:00	3,7
12:00	0,6

Fonte: A autora (2020).

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

Quando comparados os dois métodos, podem ser citadas vantagens e desvantagens de cada método. Inicialmente analisando-se o SWMM:

Vantagens:

- Inúmeras possibilidades análises a partir dos dados de entrada (como: qualidade da água, inundação, vazão, escoamento, dentre outras);
- Facilidade de utilização;
- Dados obtidos são confiáveis, menos sucessíveis a erros;
- Permitir representação de fenômenos hidrológicos e hidráulicos do sistema;
- Requer poucos dados de entrada;
- Gerar relatório de estado, apresentando um panorama geral do sistema;
- Representar eventos de precipitação;
- Compatibilidade com software como: AutoCad, ArcGis;
- Possibilitar análises mais complexas;
- Obter diversos gráficos;
- Apresenta os erros associados à análise gerada;
- Resultados obtidos são mais realistas;
- Permitir associar diferentes seções geométricas para um mesmo canal;

Desvantagens:

- Estimar os dados de entrada parâmetros (como: largura, Manning, comprimento, área, profundidade máxima.);
- Para gerar resultado necessita da distribuição pluviométrica de um fenômeno;
- Limitação de seções geométricas disponíveis para simulação;
- A profundidade não pode ser simulada livremente, necessita de um valor máximo;

Conforme apresentado, pode-se afirmar que o SWMM apresenta várias vantagens para as mais diversas análises.

Em relação ao dimensionamento manual:

Vantagens:

- Possibilidade de ser realizado sem necessitar computadores, podendo ser feito no papel com auxílio de uma calculadora;
- Não necessita da distribuição pluviométrica para ser realizado;
- Não tem limitação em relação a seção geométrica;

Desvantagens:

- Maior suscetibilidade a erros;
- Dificuldade em executar análises mais complexas;
- Requer maior quantia de dados;
- Maior dificuldade de ser realizado;
- Gráficos e perfis são mais difíceis, pois, são desenhados a mão em papel milimétrico ou no AutoCad;

O dimensionamento manual possui mais desvantagens, perdendo no quesito qualidade do produto obtido quando comparado ao SWMM. Portanto, recomenda-se o SWMM para análises deste tipo, devido à facilidade e ao resultado obtido.

Em relação às lâminas d'água obtidas em cada método, observa-se que nos dois métodos a lâmina d'água manteve estabilizada em todos os trechos do canal, devido ao fato de ter sido adotado degraus em ambos, assim como a profundidade máxima na simulação do SWMM ter sido o valor de 3,91 m.

Os valores de vazões para cada trecho obtidos na simulação do SWMM divergiram dos calculados pelo método racional do dimensionamento manual.

Em relação ao Coeficiente de Escoamento Superficial, na simulação realizada no SWMM como foi adotado o Método de Horton, os valores obtidos em cada sub-bacia divergiram do valor adotado para o dimensionamento manual (0,8). Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 5.10, no entanto, observa-se que para a condição da localidade alvo deste dimensionamento estes não se adequariam a uma área com um elevado índice de urbanização.

As questões observadas em relação às vazões e ao Coeficiente de Escoamento Superficial, ocorreram devido a fatores como a utilização do método de Horton para o cálculo da infiltração, o fato dos dados utilizados na calibração foram os utilizados no exemplo do Manual do SWMM, assim como a não obtenção da distribuição pluviométrica em Mogi – Mirim, acarretando na aproximação para uma precipitação não muito elevada o que justifica as vazões obtidas pelo Método de Horton. No caso, de implementação de um dimensionamento real, muitos valores de parâmetros adotados, deveriam sofrer modificação, tendo sido realizado, portanto uma aproximação para finalidade didática.

Tabela 5.10 – Coeficiente de Escoamento Superficial (Runoff)

Sub-Bacia	Coeficiente de Escoamento Superficial (C)
S1	0,377
S2	0,266
S3	0,290
S4	0,295
S5	0,517
S6	0,429

Fonte: A autora (2020).

Os valores de Coeficientes de Escoamento Superficiais (C), apresentados na Tabela 5.10, quando adotados nas condições iniciais propostas no dimensionamento manual, acarretam em diferenças como a redução nos valores de vazão, assim como a lâmina d'água máxima que passa de 3,19 m para 2,19 m, e o canal para esta condição simulada continua no regime fluvial. A lâmina d'água varia, portanto seria necessária utilização de

degraus visando evitar a sobrelevação da lâmina d'água.

Tabela 5.11 – Dimensionamento do Canal com valores do Coeficiente de Escoamento Superficial de Horton

Trecho	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6
Vazão (m³/s)	5	6,02	10,47	12,48	14,31
y₀ (m)	0,97	1,12	1,71	1,96	2,19
y_c (m)	0,76	0,86	1,25	1,40	1,54
y₀ > y_c	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Fonte: A autora (2020).

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma comparação entre os resultados obtidos na modelagem realizada no SWMM com o de um canal feito por meio de equações matemáticas, no Córrego de Toledo, localizado no município de Mogi Mirim - SP.

A partir de um evento de precipitação e dos dados de entrada (obtidos a partir de equações matemáticas), realizou-se uma análise no SWMM envolvendo: escoamento, vazão, precipitação, para o canal englobando 6 sub-bacias, adotando-se um período de retorno de 100 anos, intensidade de precipitação de 214 mm, duração do evento 1 h.

A simulação foi bem sucedida com erros praticamente desprezíveis na equação do balanço de massa (continuidade) com valores de respectivamente -0,06%, -1,55% para o escoamento e a propagação de fluxo, possibilitou obter um panorama geral dos parâmetros já citados. As estimativas iniciais adotadas do Exemplo do Manual do SWMM funcionaram neste dimensionamento proposto.

Um problema encontrado foi, a não obtenção da distribuição da precipitação para o município de Mogi-Mirim, acarretando em aproximar a série temporal a partir do índice pluviométrico obtido. No caso desta simulação para fins didáticos foram realizadas simplificações, no caso de uma implementação real do canal, necessitaria uma maior quantidade de estudos na área alvo deste trabalho. Quando comparados os métodos o SWMM se destacou com inúmeras vantagens, portanto sua utilização é justificada para a finalidade proposta neste trabalho.

REFERÊNCIAS

Finkler, R., & Oliveira, F. C. da C. (2012). Planejamento, Manejo e Gestão de Bacias Hidrográficas. *Agência Nacional de Águas- ANA*, 5–8.

BELOTI, Camila Forigo. **ESTUDO DE DRENAGEM URBANA DA AVENIDA PROFESSORA MINERVINA CÂNDIDA DE OLIVEIRA EM UBERLÂNDIA–MG COM USO DO PROGRAMA SWMM**. 2018. 112 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <http://200.19.146.153/bitstream/123456789/23515/1/EstudoDrenagemUrbana.pdf>. Acesso em: 21 maio 2020.

CASTRO, Marco Aurelio Holanda de; BARBOSA, João Marcelo Costa; BEZERRA, Alessandro de Araújo. UMA INTERFACE GRÁFICA ENTRE O AUTOCAD E O SWMM PARA PROJETOS DE REDES DE DRENAGEM URBANA. In: XV SEMINÁRIO IBEROAMERICANO DE REDES DE AGUA Y DRENAJE, 15., 2017, Bogotá. **Anais [...]**. Fortaleza: Serea, 2017. p. 1-9. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3113036. Acesso em: 21 maio 2020.

CARVALHO, Daniel Fonseca de, SILVA Leonardo Duarte Batista da. **Hidrologia**. UFRRJ, 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2020.

CARVALHO, Taís Maria Nunes. **AVALIAÇÃO DO USO DE CISTERNAS NA BACIA DO PAJEÚ PARA ATENUAÇÃO DE PICOS DE CHEIA UTILIZANDO O SWMM**. 2016. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/36361/1/2016_tcc_tmncarvalho.pdf. Acesso em: 21 maio 2020.

COLLODEL, Milena Gardai. Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão. 2009. 225 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-14102009-182636/publico/COLLODEL.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

DAEE – Portal do Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Banco de Dados Hidrológicos**. Disponível em:< <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>>. Acesso em: 04 nov. 2020.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **GUIA PRÁTICO PARA PROJETOS DE PEQUENAS OBRAS HIDRÁULICAS**. São Paulo,SP; DAEE, 2005. 20 p. Disponível em: <http://201.55.6.68/outorgaefiscalizacao/guia/capitulo01.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2020.

ENHS- Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. **Download SWMM**. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/?page_id=1019> .Acesso em: 16 ago. 2020.

FERREIRA, Marcilene Dantas. **ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS ACELERADOS EM ÁREAS URBANAS E DAS TÉCNICAS DE CONTROLE E RECUPERAÇÃO - CÓRREGO DE TUCUM (SÃO PEDRO/SP)**. 2004. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-08072008-110310/publico/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

FINKLER, R., & OLIVEIRA, F. C. da C. (2012). Planejamento, Manejo e Gestão de Bacias Hidrograficas. *Agência Nacional de Águas- ANA*, 5–8.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. **Monitoramento Hidrológico E Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela –RS**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V.11 n.4, p.99-108, Out/Dez 2006.

GAROTTI, L. M.; IMOTO, T. S.; BARBASSA, A. P.. Uso da área impermeabilizada diretamente conectada como base para estimação do coeficiente de escoamento superficial e comparação com outras estimativas. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP. 2007.

LEITE, Bruna Pereira; FUJIMURA, Jéssika Mayumi; FERNANDES, Jhenifer Stéfani de Araújo. Avaliação dos impactos na drenagem com a implantação de telhados verdes na UFMT – Campus Cuiabá utilizando o software SWMM. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6., 2016, Cuiabá. **Anais...**. Mato Grosso: Embrapa Informática Agropecuária/inpe, 2016. p. 354 - 363. Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2016/cd/pdf/p32.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

MACHADO, E. S. (1981). Modelo Hidrológico Determinístico para Bacias Urbanas. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 286 p.

MARINHO FILHO, Gilberto Milhomem et al. Modelos Hidrológicos: Conceitos e Aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 6, n. 2, p.35-47, 2012. Disponível em: <<https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/268/761>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

MOREIRA, Adilson; MINE, M. R. More; PEREIRA FILHO, A. J.. Modelagem Hidrológica Chuva-Vazão com dados de radar e pluviômetros. **Ingeniería del Agua**, Paraná, v. 14, n. 2, p. 1-14, mar. 2007. Disponível em:

MOREIRA, I. A. 2005. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 81p.

PAIVA, J.B.D.de.; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 625 pp.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica básica**. 2. ed. São Carlos: EESC-USP, 2001.

ROCHA, Maria de Jesus Delmiro. **Aplicação do SWMM para Modelagem Hidrológico-Hidráulica em uma Grande Bacia de um Rio Costeiro**. 2019. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/50566>. Acesso em: 21 maio 2020.

ROCHA, Nayda. **PLANEJAMENTO URBANO DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA (GOIÂNIA - GO) UTILIZANDO O SWMM – STORM WATER MANAGEMENT MODEL**. 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Meio Ambiente, Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/2927/5/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Nayda%20Rocha.pdf>. Acesso em: 21 maio 2020.

Saneamento, A. E. E. (2008). *APLICAÇÃO DO IPHS1 PARA ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA VAZÃO NO RIO AMAPARI-AP: ENERGIA E SANEAMENTO Leandro Rodrigues de Souza 1 , Alan Cavalcanti Cunha 2 e Luis Aramis dos Reis Pinheiro³ 1. Xv.*

SANTINI JUNIOR, Mauricio Antonio. **MODELAGEM HIDRÁULICA/HIDROLÓGICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL COM A UTILIZAÇÃO DO SWMM INTEGRADO AO SIG: O EXEMPLO DE ILHA SOLTEIRA-SP**. 2018. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Faculdade de Engenharia - Unesp, Ilha Solteira, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/153972>. Acesso em: 21 maio 2020.

SILVA, K. A. Análise da Variabilidade Espacial de Precipitação e Parâmetros Hidrológicos em Bacia Experimental: Estudo da Transformação da Chuva em uma Pequena Bacia Hidrográfica Urbana. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 419 p. 2003.

SILVA, L. P. E. 2007. **Modelagem e Geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá - João Pessoa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), UFPB/CT, 114p.

SILVA, Narjara Rúbia Lima da; VINAGRE, Marco Valério de Albuquerque; BELLO, Leonardo Augusto Lobato; CUNHA, Mariane de Andrade. APLICAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO DE DRENAGEM URBANA (SWMM) NA SUB-BACIA 2 DA ESTRADA NOVA EM BELÉM DO PARÁ. **Sustentare**, Três Corações, v. 1, n. 1, p. 1-17, dez. 2017. Disponível em: http://periodicos.unincor.br/index.php/sustentare/article/view/4043/pdf_3. Acesso em: 21 maio 2020.

SIQUEIRA, E. Q. **Complexity and Uncertainty in Hydrological Modeling for Urban Areas of Varying Database Quality**. 2003. 117f. Tese (Doutorado), University of Guelph, Canada. 2003.

SHINMA, Taís Arriero. **Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-18072011-135212/publico/TaisShinma.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

SMITH, J. A. Precipitation. In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of Hydrology**. 1. ed. New York: McGraw-Hill. Cap.3, p.3.1-3.47,1992.

SOUZA, Rávila Marques de; CRISPIM, Diogo Coelho; FORMIGA, Klebber T. M.. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS SWMM E HEC-HMS PARA SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL - CASO DE ESTUDO BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás, v. 5, n. 2, p.1-11, 18 out. 2012. Semestral. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/20176/12136>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

SOUZA, T. F. (2008). **Drenagem Urbana Sob Cenários de Longo Prazo Visando Incentivos Ambientais**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 253 p.

TERSTRIEP, M. L.; STALL, J. B. The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS. Illinois State Water Survey Bulletin 58. 1974.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, Editora da

Universidade, ABRH, EDUSP, 1993, 943p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Modelos hidrológicos**. 1 Ed, Porto Alegre, 1998, 668 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciencia e aplicacao**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DO ESTADO

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 (Build 5.0.022)
 Tradução para Português (Brasil) - LENHS UFPA - 2011
 Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento

 NOTA: O Resumo estatístico mostrado neste relatório é baseado
 em resultados encontrados a cada passo de tempo de processamento,
 não apenas para resultados para cada passo de tempo do relatório.

 Opções de Análise

 Unidades de Vazão..... LPS
 Processos Modelados:
 Chuva/Vazão SIM
 Degelo da Neve NÃO
 Águas Subterrâneas NÃO
 Propagação de Fluxo SIM
 Permitir Alagamento ... NÃO
 Qualidade da Água NÃO
 Método de Infiltração HORTON
 Modelo de Propagação de Fluxo ... KINWAVE
 Data de Início AUG-04-2020 00:00:00
 Data Final AUG-04-2020 12:00:00
 Dias Antecedentes sem Chuva 0.0
 Passo de Tempo do Relatório 00:15:00
 Passo de Tempo do Período Chuvoso 00:05:00
 Passo de Tempo do Período Seco ... 01:00:00
 Passo de Tempo de Propagação de Fluxo ... 60.00 sec

ADVERTÊNCIA 04: Diferença de cota muito pequena para o trecho %s T1

ADVERTÊNCIA 04: Diferença de cota muito pequena para o trecho %s T2

ADVERTÊNCIA 04: Diferença de cota muito pequena para o trecho %s T3

ADVERTÊNCIA 04: Diferença de cota muito pequena para o trecho %s T4

*****	Volume	Altura
Balanco Hídrico	hectare*m	mm
*****	-----	-----
Precipitação Total	16.981	214.000
Perdas por Evaporação	0.000	0.000
Perdas por Infiltração	8.271	104.233
Escoamento Superficial	5.355	67.486
Armazenamento Superficial Final	3.365	42.409
Erro de Continuidade (%)	-0.060	

*****	Volume	Volume
Continuidade da Propagação de Fluxo	hectare*m	10^6 L
*****	-----	-----
Afluência Período de Tempo Seco	0.000	0.000
Afluência Período Chuvoso	5.332	53.324
Afluência Águas Subterrâneas	0.000	0.000
Afluência RDII	0.000	0.000
Afluência Externa	0.000	0.000
Efluência Externa	0.961	9.614
Efluência Interna	4.365	43.648
Perdas por Armazenamento	0.000	0.000
Volume Inicial Armazenado	0.000	0.000
Volume Final Armazenado	0.089	0.891
Erro de Continuidade (%)	-1.553	

Índices da Maior Instabilidade de Fluxo

Todos os trechos são estáveis.

```

*****
Resumo do Passo de Tempo de Propagação
*****
Passo de Tempo Mínimo      : 60.00 seg
Passo de Tempo Médio      : 60.00 seg
Passo de Tempo Máximo     : 60.00 seg
Porcentagem em Regime Permanente : 0.00
Média de Iterações por Passo : 1.04

```

```

*****
Síntese do Escoamento Superficial por Sub-bacia
*****

```

Sub-bacia	Precip Total mm	Aflu Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Runoff Total mm	Runoff Total 10 ⁶ L	Pico Runoff LPS	Coef Runoff
S1	214.00	0.00	0.00	103.39	80.65	8.31	622.30	0.377
S2	214.00	0.00	0.00	105.26	56.86	12.68	657.18	0.266
S3	214.00	0.00	0.00	104.96	62.07	11.73	651.57	0.290
S4	214.00	0.00	0.00	104.89	63.09	11.55	650.37	0.295
S5	214.00	0.00	0.00	95.86	110.61	3.04	486.42	0.517
S6	214.00	0.00	0.00	101.75	91.81	6.24	591.91	0.429

```

*****
Síntese da Profundidade de Água dos Nós
*****

```

Nó	Tipo	Prof. Média Metros	Prof. Máxima Metros	Piez. Máxima Metros	Instante Max Ocorrência dia h:min
N1	JUNCTION	3.83	3.91	3.91	0 01:04
N2	JUNCTION	3.83	3.91	3.91	0 01:04

N3	JUNCTION	3.79	3.91	3.91	0	01:04
N4	JUNCTION	3.65	3.91	3.91	0	01:05
N5	JUNCTION	3.61	3.91	3.91	0	01:01
E1	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0	00:00

 Síntese do Fluxo de Entrada nos Nós

Nó	Tipo	Fluxo		Instante da		Volume	
		Máximo Lateral LPS	Máximo Total LPS	Max Ocorr. dia	h:min	Lateral 10 ⁶ L	Total 10 ⁶ L
N1	JUNCTION	622.30	622.30	0	02:00	8.282	8.280
N2	JUNCTION	657.18	664.04	0	02:00	12.617	12.872
N3	JUNCTION	651.57	658.71	0	02:00	11.678	11.945
N4	JUNCTION	650.37	657.88	0	02:00	11.494	11.775
N5	JUNCTION	1078.34	1087.38	0	02:00	9.269	9.614
E1	OUTFALL	0.00	0.00	0	00:00	0.000	0.000

 Síntese da Sobrecarga no Nó

Sobrecarga ocorre quando a água ultrapassa a geratriz superior do conduto mais alto.

Nó	Tipo	Horas Sobrecarga	Altura Max.	Prof. Min.
			Acima Crista Metros	Abaixo Borda Metros
N1	JUNCTION	10.97	0.665	0.000
N2	JUNCTION	10.97	0.665	0.000
N3	JUNCTION	10.97	1.095	0.000
N4	JUNCTION	10.95	2.625	0.000

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
T1	CONDUIT	6.86	0 01:38	0.01	1.00	1.00
T2	CONDUIT	7.14	0 01:37	0.01	1.00	1.00
T3	CONDUIT	7.50	0 01:35	0.01	1.00	1.00
T4	CONDUIT	9.04	0 01:31	0.01	1.00	1.00

 Síntese da Sobrecarga nos Condutos

Condutos	----- Horas (cheio) -----			Horas Fluxo Acima Normal	Horas Capacid. Limitada
	Ambas Extrem.	Montante	Jusante		
T1	10.40	10.97	10.40	10.40	10.97
T2	10.42	10.97	10.42	10.42	10.97
T3	10.45	10.97	10.45	10.45	10.97
T4	10.52	10.95	10.52	10.52	10.95

Início da Análise: Thu Nov 05 18:12:49 2020
 Término da Análise: Thu Nov 05 18:12:49 2020
 Tempo total decorrido: < 1 seg