

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MARCUS VINÍCIUS OLIVEIRA TRISTÃO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA REDE DE DRENAGEM DA CIDADE DE
GOIANDIRA-GO COM USO DO PROGRAMA *SWMM***

**Uberlândia - MG
2021**

MARCUS VINÍCIUS OLIVEIRA TRISTÃO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA REDE DE DRENAGEM DA CIDADE DE
GOIANDIRA-GO COM USO DO PROGRAMA *SWMM***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Carlos Eugênio Pereira

**Uberlândia - MG
2021**

MARCUS VINÍCIUS OLIVEIRA TRISTÃO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA REDE DE DRENAGEM DA CIDADE DE
GOIANDIRA-GO COM USO DO PROGRAMA SWMM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em: ____/____/____.

Banca examinadora:

Prof. Doutor Carlos Eugênio Pereira
Orientador
(FECIV/UFU)

Prof. Doutor Iridalques Fernandes de Paula
(FECIV/UFU)

Prof. Doutora Maria Lyda Bolaños Rojas
(FECIV/UFU)

Situação: _____

Dedico este trabalho aos meus familiares

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus Pai, Todo Poderoso, que me deu forças, sabedoria e capacitação para ter chegado a essa fase da graduação, me dando provisão e proteção para enfrentar as desventuras da vida.

À minha família que me concedeu toda a estrutura financeira e emocional para estar me formando na graduação.

Às Igrejas Presbiterianas de Goiandira, Central de Araguari e Terceira de Uberlândia que contribuíram para o meu crescimento profissional e espiritual.

Aos meus amigos que nunca me abandonaram nos momentos de crise emocional por estar longe da família.

Ao Professor Doutor Carlos Eugenio Pereira por me oferecer a oportunidade de estar sendo seu orientando neste trabalho e por todas as experiências vividas juntas.

Aos professores da FECIV que me deram todo o conhecimento mínimo necessário para ser um profissional de excelência no mercado de trabalho.

RESUMO

O crescimento caótico e a urbanização afetam diretamente os sistemas de drenagem e as inundações urbanas. Com o desenvolvimento das cidades, o solo fica impermeável, e a água que penetra no solo ou fica retida nas plantas passa a fluir pelas tubulações, o que gera um escoamento maior. Este modelo computacional matemático SWMM pode fornecer respostas a diferentes situações devido a possíveis medidas de projeto, tornando-se assim uma importante ferramenta de análise. Se inundações são repetidamente estabelecidas em uma bacia hidrográfica urbanizada, e há um sistema de drenagem existente, essas ferramentas de cálculo podem realizar simulações de rede, localizando pontos-chave durante a precipitação do projeto. No caso de cidades do interior do nosso país, os sistemas de drenagem são precários ou inexistentes, não contando com qualquer projeto e/ou documentação comprobatória. Nesse contexto, este trabalho de conclusão de curso buscou analisar o comportamento do sistema de drenagem de águas pluviais de uma bacia hidrográfica urbana, localizada no município de Goiandira, Goiás, com uso da ferramenta computacional *SWMM*. Como a cidade escolhida tem população de, aproximadamente, 5000 habitantes, toda a cidade será usada no estudo, que foi construída próximo ao rio Veríssimo que faz parte da Bacia do Rio Paranaíba.

Palavras-Chave: Urbanização, drenagem urbana, impermeabilização, escoamento, precipitação, bacia hidrográfica urbana, *SWMM*.

ABSTRACT

Chaotic growth and urbanization directly affect drain age systems and urban flooding. With the development of cities, the soil becomes impermeable, and the water that penetrates the soil or retained in the plants starts to flow through the pipes, which requires greter drainage. This mathematical model can provide answers to diferente situations due to possible design measures, thus becoming na importante analysis tool. If floods are repeatedly common in na urbanized watershed, and there is an existing drainage system, these calculation tools can perform network simulations, locating key points during a Project recovery. In the case of cities in the interior o four country, the drainage systems are precarious or non-existent, not counting o any Project and/or supporting documents. In this contexto, this course conclusion work sought to analyze the behavior of the rain water drainage system of na urban hydrographic basin, located in the municipality of Goiandira, Goiás, using the SWMM computational tool. As the chosen city has a population of approximatey 5000 inhabitants, the entire city will be used in the study, which was built next to the Veríssimo River that is part of the Paranaíba River Basin

Keywords: Urbanization, urban drainage, waterproofing, runoff, precipitation, hydrographic basin, SWMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema simplificado para entendimento das diferenças entre enchente, inundação e alagamento	155
Figura 2 – Fenômeno do escoamento no SWMM	25
Figura 3 – Valores pré-definidos dos Identificadores ID	332
Figura 4 – Mapa da Área de Estudo após importação do arquivo ‘.inp’	344
Figura 5 – Formulário de Opções do Mapa	355
Figura 6 – Detalhes do lançamento dos objetos da rede	36
Figura 7 – Editor de Propriedades do trecho	39
Figura 8 – Editor de forma dos trechos	400
Figura 9 - Alinhamento dos coletores pelas geratrizes superiores	411
Figura 10 – Escoamento preferencial nos lotes	422
Figura 11 - Traçado das áreas contribuintes do sistema de drenagem urbana.....	433
Figura 12 – Editor de Propriedades das sub-bacias.....	444
Figura 13 – Alteração método de cálculo para a infiltração.....	47
Figura 14 – Parâmetros infiltração	47
Figura 15 – Editor de infiltração.....	48
Figura 16 – Editor de propriedades pluviômetro.....	49
Figura 17 – Editor de propriedades da série temporal	511
Figura 18 – Opções gerais de simulação	533
Figura 19 – Opções de datas de simulação	544
Figura 20 – Opções de passo de tempo da simulação	555
Figura 21 – Estado da simulação	556
Figura 22 – Série temporal da precipitação do sistema	557
Figura 23 – Série temporal do escoamento e alagamento do sistema.....	557
Figura 24 – Mapa capacidade x alagamento	558
Figura 25 – Mapa da vazão nos trechos	59
Figura 26 – Mapa profundidade trechos e nós	59
Figura 27 – Detalhes do trecho 231	60
Figura 28 – Perfil longitudinal trecho 231	61
Figura 29 – Perfil longitudinal trecho Sub-bacia 03	61
Figura 30 – Fluxo dos trechos principais Sub-bacia 03.....	62
Figura 31 – Perfil longitudinal trecho Sub-bacia 01	62

Figura 32 – Fluxo dos trechos Sub-bacia 01	63
Figura 33 – Perfil longitudinal trecho Sub-bacia 02	63
Figura 34 – Fluxo dos trechos Sub-Bacia 02.....	64
Figura 35 – Perfil longitudinal trecho Sub-bacia 04	64
Figura 36 – Fluxo dos trechos Sub-bacia 04	65
Figura 37 – Velocidade nos trechos	66
Figura 38 – Número de Froude nos trechos.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fases das águas urbanas	188
Tabela 2 - Grupos hidrológicos dos solos	26
Tabela 3 – Curva número do SCS ¹	277
Tabela 4 - Coordenadas Geográficas do Município de Goiandira (GO).....	30
Tabela 5 – Dados das precipitações máximas anuais	31
Tabela 6 – Coeficiente de Manning n para condutos fechados.....	400
Tabela 7 – Coeficiente n de Manning (escoamento à superfície livre).....	455
Tabela 8 – Armazenamento em depressões.....	455
Tabela 9 – Propagação do escoamento.....	46
Tabela 10 – Formatos de precipitação	50
Tabela 12 – Distribuição pluviométrica do evento chuvoso adotado.....	500

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

SÍMBOLOS

Q	- Escoamento superficial por unidade de área
W	- Largura da sub-bacia
N	- Coeficiente de rugosidade de <i>Manning</i>
d	- Profundidade da lâmina d'água
dp	- Profundidade do armazenamento em depressão
S	- Declividade da sub-bacia
D	- Declividade do trecho
CM	- Cota de fundo do coletor a montante
CJ	- Cota de fundo do coletor a jusante
d	- Comprimento do trecho
n	- Coeficiente de rugosidade de <i>Manning</i>
A	- Área da seção transversal
R _h	- Raio hidráulico
S	- Declividade
CN _w	- Número CN corrigido
CN _p	- Número CN tabelado
F	- Porcentagem da área impermeabilizada
i	- Intensidade
Tr	- Período de retorno
t	- Tempo de concentração da bacia

SIGLAS

SWMM	- <i>Storm Management Water Model</i>
CAD	- <i>Computer Aided Design</i>
SCS	- <i>Soil Conservation Service</i>
CN	- <i>Curve Number</i>
USDA	- <i>United State Department of Agriculture</i>
SiBCS	- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
LID	- Low

Sumário

1 Introdução	14
2 Objetivo	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 Conceitos Gerais e Revisão da Literatura	17
3.1 Aspectos Históricos da Evolução da Drenagem.....	17
3.2 Hidrologia Urbana e os Impactos da Urbanização	19
3.3 Modelos hidrológicos computacionais	20
4 Modelagem Computacional – Modelo <i>SWMM</i>	23
4.1 escoamento superficial	24
4.2 Infiltração.....	25
4.2.1 Método <i>SCS</i>	26
4.3 Propagação do escoamento.....	28
5 Caracterização da Área de Estudo.....	30
5.1 Localização	30
5.2 Coordenadas Geográficas.....	30
5.3 Relevo, Vegetação e Solo	30
5.3 Clima	31
6 Metodologia.....	32
6.1 Etapas preliminares à modelagem da rede de drenagem	32
6.2 Modelagem computacional.....	33
6.2.1 Caracterização do nós.....	36
6.2.2 Caracterização dos trechos.....	38
6.2.3 Caracterização das sub – bacias	41
6.2.4 Pluviômetro	49
6.2.5 Simulação.....	51
7 Análise de Resultados.....	56
7.1 Capacidade	57
7.2 Velocidade.....	65
7.2 Número de Froude	66

8 Considerações Finais	67
Referências	69
Apêndice A – Dados de entrada dos nós	72
Apêndice B – Dados de entrada sub-bacias	74
Anexo A – Parte do relatório da simulação no <i>SWMM</i>	75

1 Introdução

Depois da metade do século passado, o Brasil experimentou um crescimento populacional urbano gigantesco, que conseqüentemente levou à expansão urbana, afetando a infraestrutura estabelecida e à degradação do meio ambiente. (ANDRADE, 2011)

Como consequência desse processo de urbanização intensificado, surgiram problemas de drenagem urbana. Os locais que contribuía para o armazenamento de água de chuva e infiltração natural tornaram-se impermeáveis e levaram ao escoamento superficial em excesso, trazendo o aumento de inundações com perda de posses materiais pela população. (SHINMA, 2011)

A intensa urbanização desordenada dessas áreas ocasiona também a falta de determinados cuidados sanitários, por exemplo, a disposição inadequada dos resíduos sólidos, muitas vezes obstrui bocas de lobo e demais mecanismos de drenagem, além dos prejuízos sanitários, aumentando a probabilidade de doenças nessas regiões.

Seguindo a política de saneamento do início do século XX, os métodos tradicionalistas de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas incluem a coleta e retirada da água da fonte de escoamento o mais rápido possível por meio de sistemas de drenagem eficientes, com o objetivo de minimizar os problemas. No entanto, com a disseminação de doenças, nos últimos anos, questiona-se o impacto da rápida evacuação da água a jusante. (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012)

A Lei 14.026 de 2020 define drenagem e manejo de águas pluviais urbanas como um conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas. (BRASIL, 2020)

Tratando-se do tema drenagem urbana, alguns termos e conceitos são utilizados de forma incorreta e necessita-se de esclarecimentos. São eles: inundação, enchentes ou cheia, alagamento e enxurrada. O Blog da Defesa Civil de São Bernardo do Campo (SP) apresenta um plano simplificado no sentido de esclarecer esses conceitos ao público conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema simplificado para entendimento das diferenças entre enchente, inundação e alagamento

✓ Enchente, inundação e alagamento;

SÃO PREOCUPANTES PORQUE CAUSAM **EFEITOS IMEDIATOS (DIRETOS) E EFEITOS POSTERIORES (INDIRETOS)** À SAÚDE HUMANA;



Fonte: <<http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>>

Já a enxurrada de acordo com o Ministério das Cidades (2007) corresponde ao escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais.

Ele ocorre devido à excessiva impermeabilização do solo através de telhados, de ruas, de calçadas, entre outros, fazendo com que a água que em um cenário de pré-urbanização infiltrava no solo, recarregava o lençol freático ou percolava até encontrar um corpo hídrico receptor, passa a escoar por condutos. Porém, se esses condutos estiverem subdimensionados, a água irá se acumular na parte superior do poço de visita, causando alagamento e escoando superficialmente, podendo reentrar no sistema de drenagem quando a capacidade do mesmo permitir.

Devido às chuvas intensas, os moradores de cidades, com uma estrutura de escoamento de água pluvial precária ou inexistente, sofrem com as chuvas intensas e de curta duração.

No Brasil, a maior cidade do país, São Paulo, sofre anualmente com temporais que alagam as vias, colocam a vida de pessoas em risco e causam prejuízos.

A capital do país, Brasília, apesar de ser uma cidade planejada e com uma urbanização estrategicamente organizada, vem apresentando um aumento no número de pontos de alagamento. (COSTA, 2013)

Esses episódios ocorrem também em cidades menores com mais de 50 mil habitantes como em Patos de Minas, no Alto Paranaíba, em que os setores de ocupação urbana que margeiam o Córrego do Monjolo sofrem com as enchentes no período da chuva. (CAIXETA, 2013)

Segundo Léo Arcoverde (2018) entre janeiro e setembro deste ano o Ministério das Cidades repassou aos municípios de todo o país para a adoção de medidas de controle de “enchentes” o valor mais baixo para o período dos últimos sete anos. Somente para os municípios paulistas houve aumento de 28% nos repasses.

Portanto, entende-se que a drenagem urbana não é considerada prioridade para as nossas lideranças políticas, sendo um problema que está longe de ser resolvido.

Este cenário aponta para a necessidade de ferramentas que auxiliem na previsão do comportamento da drenagem durante eventos chuvosos. A simulação computacional aliada à modelagem matemática constitui ferramenta de suma importância nessa avaliação, por permitir a reprodução do comportamento dos sistemas de drenagem sob condições variadas e assim possibilitar a previsão de alagamentos e facilitar estudos de planejamento. (SHINMA, 2011)

Para o estudo da drenagem urbana é feita a utilização de modelos de simulação desenvolvidos para a representação da transformação chuva-vazão, propagação em redes de condutos e canais abertos e transporte de poluentes pelo escoamento. Eles são compostos por duas parcelas: o modelo hidrológico onde transforma-se a precipitação em escoamento superficial e, o modelo hidráulico para a propagação do escoamento através de redes de condutos e canais. (SHINMA, 2011).

Este estudo, será desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Veríssimo, uma das sub-bacias do Rio Paranaíba.

Dentre todos os programas, foi escolhido o *SWMM* devido à sua ampla capacidade de simulação, por ser de domínio público, ser bastante utilizado pelos pesquisadores na atualidade, pela simplicidade da interface gráfica e pela possibilidade de interação com outros programas.

2 Objetivo

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo estudar a rede de drenagem de águas pluviais, que já está executada, da cidade de Goiandira – GO aplicando o modelo computacional *SWMM*.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos consistem em:

- Reunir informações sobre o programa *SWMM* – *Storm Water Management Model*;
- Aplicar o modelo matemático *SWMM* e verificação do comportamento hidráulico da rede de drenagem diante de uma precipitação de projeto;

3 Revisão da Literatura

3.1 Aspectos Históricos da Evolução da Drenagem

Os primeiros sistemas de drenagem de que há registro datam de mais de 5.000 anos representando a primeira fase das águas urbanas, porém, somente nos últimos 150 anos pôde-se observar progressos devido ao aumento populacional nas cidades e o crescimento industrial. (MATOS, 2013)

No começo do século XVIII, inicia-se uma nova relação com a água, o “limpo” hierarquiza-se, a pobreza e a sujeira são vistas como os proliferadores das epidemias da época. (MATOS, 2013)

Ao longo dos séculos XVIII e XIX em Paris foram desenvolvidas obras significativas de drenagem das águas residuais, porém, na Alemanha, Hamburgo foi a primeira cidade a ser dotada de um plano nacional de drenagem de águas residuais (um sistema do tipo unitário). (MATOS, 2013)

A segunda fase inicia-se no século XX, período marcado pelo crescimento urbano acelerado pós Segunda Guerra Mundial, ocorrendo crescimento acentuado

populacional, chamado de *baby boomer*. Ao mesmo tempo ocorreu a urbanização acelerada, levando uma alta parcela da população para as cidades, resultando novamente em colapso do ambiente urbano em razão dos efluentes sem tratamento. (TUCCI, 2008)

Na fase higienista o conjunto de elementos de drenagem devem recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escorrem sobre sua superfície e, conduzi-las rapidamente para um corpo d'água receptor distante das pessoas. Em uma visão simplista, o problema é apenas de calcular vazões e dimensionar os condutos e galerias para transportá-las. (SOUZA, 2013)

No início da década de 1970 houve a aprovação do "Clean Water Act" (Lei de Água Limpa) nos Estados Unidos marcando a fase corretiva e definindo que todos os efluentes deveriam ser tratados para recuperação e conservação dos rios e a canalização de rios naturais como obra de drenagem para aumento do escoamento era injustificável passando-se a utilizar sistemas de amortecimento em detrimento de canalização marcando a fase corretiva das águas urbanas. (TUCCI, 2008)

Após a década de 1990, surge a fase denominada desenvolvimento sustentável na qual o uso do solo na implementação da urbanização deve preservar os caminhos naturais do escoamento e priorizar a infiltração. (TUCCI, 2008)

As fases das águas urbanas, suas características e consequências podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 – Fases das águas urbanas

Fase	Características	Consequências
Pré-higienista: até início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: antes de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Fonte: Tucci, 2008

No Brasil, ocorreram em 1864 as primeiras canalizações de esgoto no estado do Rio de Janeiro e anos mais tarde preocupou-se com o sistema de drenagem de

águas pluviais. Em 1912, adotou-se o sistema separativo, onde os sistemas de esgoto sanitários e de drenagens pluviais passaram a ser projetados e construídos independentemente e a generalização do emprego de tubos de concreto. A drenagem passou a ser um elemento obrigatório dos projetos de urbanização. (DRENAGEM URBANA, 2010)

3.2 Hidrologia Urbana e os Impactos da Urbanização

A hidrologia urbana é compreendida como o estudo da dinâmica da água no meio urbano, ou seja, o estudo dos processos hidrológicos em áreas de urbanização. (TASSINARI, 2014)

O ciclo hidrológico é responsável pelos fluxos de entradas e saídas de água na bacia hidrográfica. Este ciclo, que compreende os estados da água: líquido, gasoso e sólido ocupa diferentes ambientes. No contexto de bacia hidrográfica a função da hidrologia é a de transformar a precipitação (volume concentrado no tempo) em escoamento, distribuída no tempo (TUCCI, 1997).

A precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico constituindo um fator importante para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração e recarga de aquíferos. (VILLELA; MATTOS, 1975)

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto da bacia, seu exutório ou foz. É composta de um conjunto de áreas com declividade no sentido de determinada seção transversal de um curso d'água, medidas as áreas em projeção horizontal. (VILLELA; MATTOS, 1975)

Ela pode ser considerada um sistema físico onde o volume de água da chuva é a entrada e o volume de água decorrente do escoamento para o exutório (com as perdas de evaporação, transpiração e infiltração) é a saída. Em um evento específico, podem ser desconsideradas as perdas, e a análise da precipitação pode ser realizada pela transformação da chuva em vazão, cuja representação corresponde ao hietograma (entrada) e hidrograma (saída). (NOGUEIRA, 2017; SILVEIRA, 1997)

Segundo Lou (2010) o balanço hídrico numa bacia urbana altera-se devido à impermeabilização e canalização. A alteração do balanço pode ser observada nos

volumes dos principais processos hidrológicos do ciclo da água e no hidrograma que caracteriza a dinâmica temporal das vazões de saída.

Com a impermeabilização do solo, aquele escoamento superficial lento, que ficava retido pelas plantas, passa a escoar através de canais artificiais, condutos, sarjetas, entre outros ocorrendo o aumento do volume do escoamento superficial. E, com a redução da infiltração ocorre a redução da vazão em pequenos rios no período de estiagem em função dos aquíferos não serem recarregados pela diminuição do escoamento subterrâneo. (LOU, 2010; TUCCI, 1995)

Assim, os principais efeitos da urbanização quanto ao escoamento da água da chuva são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial. (TUCCI, 1995)

Em relação à população os impactos causados pelas inundações são: perdas materiais e humanas, interrupção da atividade econômica das áreas inundadas, contaminação da água e da população por doenças de veiculação hídrica. (TUCCI, 2005)

3.3 Modelos hidrológicos computacionais

Para compreender os fenômenos que ocorrem em uma bacia hidrográfica de forma a reproduzir o comportamento do sistema através de modelagem matemática são realizadas simulações hidráulica-hidrológicas por meio de modelos computacionais. (SHINMA, 2011)

Segundo Lou (2010) os primeiros modelos tratavam de descrever os processos de componentes do ciclo hidrológico como infiltração, por Horton na década de 30 (HORTON, 1933), o escoamento em rios, por MACCARTHY (1939), com o Modelo Muskingun, e o escoamento em reservatório, por Puls (PULS, 1928).

Com a necessidade de se obter séries hidrológicas mais longas e representativas de vazões para diferentes projetos de recursos hídricos surgiram os modelos hidrológicos. As séries de precipitação, normalmente, são mais longas que as de vazão. (TUCCI, 2005)

Partindo da precipitação, é possível determinar ou estimar as vazões desconhecidas para os novos cenários existentes ou previstos para as bacias. (LOU, 2010)

Com a invenção do computador, nas décadas de 50 e 60 surgiram os primeiros modelos hidrológicos computacionais que reuniam os vários processos para descrever a transformação da precipitação em vazão. (COLLODEL, 2009)

Os modelos hidrológicos diferem em função de alguns fatores que se devem às finalidades específicas de cada modelo e às diferentes formulações matemáticas empregadas para simular os processos. Assim, segundo Garcia (2005), Collodel (2009), Moreira (2005) e Tucci (1998), citados por SHINMA (2011, p. 34-35) os critérios de classificação citados por tais autores estão resumidos a seguir:

- segundo a função: os modelos de comportamento descrevem o comportamento de um sistema, prognosticando a resposta deste quando estiver sujeito a diferentes entradas ou a modificações em suas características. Os modelos de otimização são utilizados para obtenção das melhores soluções para problemas específicos da Engenharia de Recursos Hídricos. Por fim, os modelos de planejamento buscam soluções hidráulicas, hidrológicas e econômicas, englobando também considerações socioeconômicas e ambientais;
- segundo o tipo de variáveis utilizadas na modelagem: os modelos estocásticos envolvem pelo menos uma variável aleatória, enquanto os determinísticos não consideram os conceitos da probabilidade. Moreira (2005) ressalta que uma variável de entrada pode ser aleatória, mas o modelo ainda assim é determinístico quando cada valor de entrada produz um único valor de saída;
- segundo o tipo de relações entre as variáveis: os modelos empíricos utilizam relações baseadas apenas em observações, sendo bastante simples e específicos para cada região e situação. Os modelos conceituais simulam todos os processos que envolvem os fenômenos hidráulico-hidrológicos sendo mais complexos e simulando diversas situações;
- segundo a forma de representação dos dados: os modelos contínuos representam os fenômenos continuamente no tempo, e os discretos quando as mudanças de estado ocorrerem em intervalos de tempo discretos;
- segundo a existência das relações espaciais: nos modelos concentrados a estimativa da vazão máxima pode ser realizada pela análise da

probabilidade das enchentes ou por modelos matemáticos hidrológicos a partir da precipitação máxima sendo usado para quantificação do escoamento de uma bacia na qual a ocupação não está definida. Os modelos semi-distribuídos e distribuídos, por sua vez, devem ser utilizados quando os espaços estão definidos, ou seja, conhecem-se o projeto pluvial (projetado ou existente) que detalham a bacia e os condutos. Esse tipo de modelo é suficientemente detalhado para estudar-se a capacidade de escoamento da rede e verificarem-se as condições de projeto.

- segundo a existência da dependência temporal: os modelos estacionários descrevem o fenômeno em um determinado momento, enquanto os modelos dinâmicos têm suas variáveis dependentes do tempo;
- segundo a propagação do escoamento: os modelos de armazenamento consideram somente os efeitos do armazenamento na atenuação e deslocamento da onda de cheia, desprezando os efeitos de atrito levados em conta pela equação da quantidade do movimento. Os modelos hidrodinâmicos utilizam as equações de *Saint Venant* e podem ser subdivididos em:
 - simplificados: utilizam algum método de propagação na rede baseando-se em simplificações dos termos das equações do escoamento ou análise simplificada do escoamento sob pressão. Um exemplo de modelo hidrodinâmico simplificado é o modelo da onda cinemática. O modelo do *MIT* utiliza o método da onda cinemática, resolvido mediante um esquema de diferenças finitas, para a propagação do fluxo nos condutos à superfície livre;
 - completos: resolvem as equações completas de *Saint Venant* e são capazes de representar a maioria dos fenômenos que ocorrem na propagação do escoamento em condutos, especialmente em condições críticas, tais como escoamentos sob pressão e efeitos de jusante. Um exemplo de modelo completo é o método da onda dinâmica. O modelo *ISS (Illinois Storm Sewer System Simulation Model)* propaga nos condutos, utilizando as

equações completas de Saint Venant, mas não pode representar fluxo sob pressão.

Entre os modelos hidrológicos à disposição dos profissionais da área de recursos hídricos, podem ser citados diversos softwares como: *SWMM*, série *IPH*, série *HEC*, *MOUSE*, *SMAP*, *ILLUDAS*, etc.

Para alcançar os objetivos deste trabalho será utilizado programa específico, entre os vários utilizados para estudar áreas com a probabilidade de inundações, dependendo da precipitação e topografia.

O programa a ser utilizado, o *Storm Water Management Model (SWMM)*, é amplamente utilizado para planejamento, análises e projetos de sistemas de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas e sistemas coletores de águas residuárias. O *SWMM* considera distintos processos hidrológicos que produzem escoamentos procedentes de áreas urbanas e é muito utilizado para a concepção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem para controle de inundações.

3.4 Modelagem Computacional – Modelo *SWMM*

O *Storm Water Management Model (SWMM)* é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas, podendo ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso, ou para uma simulação contínua de longo prazo. (ROSSMAN, 2010)

O *SWMM* é um modelo distribuído e dinâmico completo, desenvolvido nas décadas de 70 e 80 pela *U.S. EPA Environmental Protection Agency* para a simulação de sistemas de drenagem urbana. A versão 5.0, de 2005, corresponde a uma reestruturação completa do programa, compatível com o *Windows* e a criação de um ambiente simples e integrado para edição e introdução de dados, corrida de simulações hidrológicas, hidráulicas e de qualidade da água, e visualização de resultados. (CAMBEZ; PINHO; DAVID, 2008)

O modelo é dividido em vários blocos diferentes que podem ser simulados separadamente. (COLLODEL, 2009).

De acordo com Garcia e Paiva (2005), citados por SOUZA, CRISPIM e FORMIGA (2012, p. 4) dentre os módulos computacionais estão o bloco “*Runoff*” que refere-se à transformação de chuva em vazão que gera o escoamento superficial, o

bloco “*Transport*”, que é o transporte do escoamento na rede de drenagem pelo método da onda cinemática, o bloco “*Extran*” responsável pela modelação hidrodinâmica em condutos e canais e o bloco “*Storage/Treatment*” de qualidade das águas.

Os outros blocos são módulos computacionais auxiliados pelos módulos de serviço: “*Statistics*” que separa o registro em hidrograma e polutogramas para eventos de chuva independentes, além de fazer cálculos estatísticos e realizar análises de frequência (SMITH, 1992), o bloco “*Graph*” que através de gráficos apresenta os dados de saída, o “*Combine*” que possibilita a combinação de arquivos de interface, o “*Rain*” que avalia os dados de entrada de precipitações e o “*Temperature*” que verifica os dados de entrada de temperatura. (SOUZA; CRISPIM; FORMIGA, 2012; SHINMA, 2011)

Este bloco gera hidrogramas a partir de dados meteorológicos (chuva e evaporação) e de um conjunto de parâmetros que descrevem as características físicas (área, largura, inclinação) e hidrológicos (porcentagem de área impermeável, armazenamento em depressão, coeficiente de rugosidade de *Manning*, e os parâmetros de infiltração) da bacia. (SOUZA et al. 2012)

James et al. (2008) (apud COLLODEL, 2009, p. 38) descreveram os modelos utilizados pelo *SWMM* para explicar os diversos processos físicos que resultam na transformação chuva-vazão: escoamento superficial, infiltração, contribuição de águas subterrâneas, derretimento de gelo, propagação da vazão, acúmulo superficial e propagação da qualidade da água. Os processos de maior interesse estão descritos a seguir: escoamento superficial, infiltração e propagação da vazão.

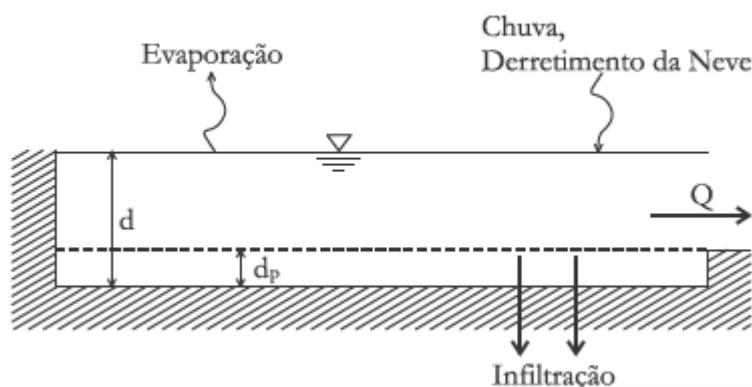
3.4.1 Escoamento superficial

O escoamento superficial é uma das fases do ciclo hidrológico e sua quantificação depende de fatores como: topografia, regime, distribuição e intensidade das chuvas, tipo e cobertura do solo. Seu estudo é muito importante para o dimensionamento de obras de engenharia e manejo agrícola. (SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ, 2005)

Para a geração do escoamento superficial, cada sub-bacia é tratada como um reservatório não-linear (Figura 2). As entradas de vazão resultam da precipitação e de sub-bacias à montante. Existem diversas saídas de vazão: infiltração, evaporação e

escoamento superficial. A capacidade deste “reservatório” é a capacidade máxima de armazenamento em depressões, resultante de alagamentos, umidificações e interceptações. (ROSSMAN, 2010)

Figura 2 – Fenômeno do escoamento no SWMM



Fonte: Rossman (2010)

A vazão de saída é calculada quando o armazenamento deste reservatório é excedido, utilizando da equação de *Manning* (Equação 1). (SHINMA, 2011)

A lâmina de água no reservatório “d” na sub-bacia é recalculada de forma contínua, no tempo, mediante a resolução numérica do balanço hídrico na sub-bacia. (ROSSMAN, 2010)

$$Q = W \cdot \frac{1}{n} \cdot (d - d_p)^{5/3} \cdot S^{1/2}$$

Em que:

Q = escoamento superficial por unidade de área

W = largura da sub-bacia (m), representa a largura média de escoamento;

n = coeficiente de rugosidade de *Manning*;

d = profundidade da lâmina d’água (m);

dp = profundidade do armazenamento em depressão (m);

S = declividade da sub-bacia (m/m).

3.4.2 Infiltração

A infiltração é o fenômeno pelo qual a água da chuva penetra na zona não saturada do solo da área permeável da sub-bacia. O *SWMM* permite selecionar três

modelos de infiltração: Equação de *Horton*, Método *Green-Ampt* e o modelo de infiltração baseado na Curva Número (CN) do Método *SCS*. Para prever o escoamento superficial e simular o processo de infiltração neste trabalho, foi escolhido o Método *SCS*. (ROSSMAN, 2010)

3.4.2.1 Método SCS

Segundo Sartori et al. (2005) foram criados vários modelos chuva-vazão sendo o mais utilizado o método do Serviço de Conservação do Solo (*SCS*) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (*USDA*).

A metodologia do *SCS* classificou mais de 4000 solos dos Estados Unidos para verificar seu potencial de escoamento (*runoff*) e os reuniu em quatro grandes grupos, conforme sua capacidade de infiltração e produção de escoamento, sendo a cada um deles atribuído uma letra, A, B, C e D, nesta mesma ordem, representando o acréscimo do escoamento superficial e conseqüentemente a diminuição da taxa de infiltração de um grupo para outro. (TOMAZ, 2011; SOUZA, 2013)

Considera-se que a capacidade total de infiltração do solo pode ser obtida da tabela de Curva-Número (CN). (ROSSMAN, 2010)

O número da curva de escoamento (CN) é o índice que combina todos os fatores que afetam a geração do escoamento podendo ser determinado de três maneiras: características do solo, pesquisas feitas no país ou pela capacidade mínima de infiltração no solo. (SOUZA, 2013; TOMAZ, 2011)

No Brasil existem solos que não se enquadram nas definições norte-americanas dos grupos hidrológicos do Método do CN o que leva pesquisadores como Sartori (2004) a propor uma classificação hidrológica dos solos brasileiros a partir de trabalhos como de Lombardi Neto et al (1989), de Oliveira (1999) e da nova nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) proposto pela EMBRAPA em 1999. (SOUZA, 2013)

Tabela 2 - Grupos hidrológicos dos solos

Grupo	Significado	Condutividade Hidráulica Saturada (cm/h)
A	Escoamento superficial potencialmente baixo. Solos com uma taxa de infiltração alta, mesmo quando completamente saturados e principalmente profundos; areia drenada excessivamente ou cascalhos.	$\geq 1,143$

B	Solos com uma taxa de infiltração moderada, quando completamente saturado e, principalmente, com profundidade moderada a profundo; solos moderadamente drenados a bem drenados; solos com textura moderadamente fina a moderadamente grosseira. Por exemplo, solo lemo-arenoso.	0,762 – 0,381
C	Solos com taxa de infiltração lenta quando completamente saturados e consistindo, principalmente, de solos com uma camada que impede o movimento descendente de água ou solos com uma textura moderadamente fina a textura fina. Por exemplo, solo lemo argiloso, argilo arenoso com profundidade rasa.	0,381 – 0,127
D	Potencial de escoamento superficial alto. Solos com taxa de infiltração muito lenta, quando completamente saturados e consistindo, principalmente, de solos argilosos com um alto potencial de expansão; solos com um lençol freático permanente alto; solos com camada de argila na, ou próxima à, superfície, e solos rasos sobre material quase impermeável.	0,127 – 0,00

Fonte: Rossman (2010)

Tabela 3 – Curva número do SCS¹

Descrição do Uso de Terra	Classes Hidrológicas do Solo - NRCS			
	A	B	C	D
Terra cultivada				
• Sem tratamento para conservação	72	81	88	91
• Com tratamento para conservação	62	71	78	81
Pastagem				
• Condição ruim	68	79	86	89
• Condição boa	39	61	74	80
Campo				
• Condição boa	30	58	71	78
Floresta				
• Densidade baixa, coberturas pobres, sem cobertura	45	66	77	83
• Boa cobertura ²	25	55	70	77
Espaços abertos, gramados, parques, campos de golfe, cemitérios etc.				
• Condição boa: cobertura de grama em 75% ou mais da área	39	61	74	80
• Condição justa: cobertura de grama em 50-75% da área	49	69	79	84
Áreas comerciais e de negócios (85% impermeáveis)	89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeáveis)	81	88	91	93
Residencial ³				
Tamanho médio do lote (% impermeáveis ⁴)				
• 0,05 ha ou menos (65)	77	85	90	92
• 0,10 ha (38)	61	75	83	87
• 0,13 ha (30)	57	72	81	86
• 0,20 ha (25)	54	70	80	85
• 0,40 ha (20)	51	68	79	84
Estacionamento pavimentado, telhados, calçadas etc. ⁵	98	98	98	98
Ruas e estradas				
• Pavimentada com meio fio e drenagem ⁵	98	98	98	98
• Em cascalho	76	85	89	91
• Sujas	72	82	87	89

¹Condição de umidade antecedente II; Fonte: SCS Urban Hydrology for Small Watersheds, 2nd Ed., (TR-55), June 1986.

²Cobertura boa é aquela sem pastagem, sem serrapilheira e nem sub-bosque.

³Curvas Números são determinadas assumindo que o escoamento a partir da casa e da garagem é conduzido para a rua, com uma parte mínima da água do telhado conduzida para gramados onde pode infiltrar.

⁴As áreas permeáveis remanescentes (gramados) são consideradas em bom estado de conservação para estas Curvas Números.

⁵Para alguns climas mais quentes, um número de curva 95 pode ser utilizado.

Fonte: Rossman (2010)

3.4.3 Propagação do escoamento

De acordo com Rossman (2010), o transporte de água em um conduto é regido pelas equações de conservação de massa e da quantidade de movimento existindo três modelos hidráulicos de transporte: o fluxo em regime uniforme, a onda cinemática e a onda dinâmica.

O modelo de fluxo em regime uniforme representa a forma mais simples de transporte da água (não há propagação de vazões). Para isto, considera-se que em cada intervalo de tempo de cálculo o escoamento é uniforme e permanente. Desta forma, o modelo simplesmente transfere o hidrograma de entrada no nó de montante do conduto para o nó de jusante, sem atraso ou mudança na sua forma. Para relacionar a vazão com a área e a profundidade no conduto emprega-se a equação de *Manning*. (ROSSMAN, 2010)

Optou-se por utilizar o modelo da onda cinemática que resolve a equação da continuidade junto com uma forma simplificada da equação da quantidade de movimento em cada um dos condutos. Ele requer que a declividade da superfície livre da água seja igual à declividade do fundo do conduto. (ROSSMAN, 2010)

A vazão máxima que pode fluir pelo interior de um conduto é a vazão do tubo cheio, determinada pela equação de *Manning*. Qualquer excesso de vazão acima deste valor, no nó de entrada do conduto, é perdida para o sistema ou pode alagar a superfície do nó de entrada, reentrando posteriormente no sistema quando a capacidade do conduto o permitir. (ROSSMAN, 2010)

O modelo da onda cinemática permite que a vazão e a área variem no espaço e no tempo no interior do conduto. Isto pode resultar em amortecimento e defasagem nos hidrogramas de saída com respeito aos hidrogramas de entrada nos condutos.

No entanto, neste modelo de transporte não se podem simular efeitos como o ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas, o efeito de remanso ou o fluxo pressurizado. (ROSSMAN, 2010)

O método da onda dinâmica utiliza equações mais completas da teoria da quantidade de movimento, proporcionando resultados mais precisos, entretanto em uma comparação com a onda cinemática é somente significativa para a representação de fenômenos como remanso, fluxo sob pressão, fluxo inverso e distribuição não ramificadas do sistema. (ROSSMAN, 2010)

3.5 Caracterização da Área de Estudo

3.5.1 Localização

O município de Goiandira localiza-se na região sudeste do estado de Goiás. Sua população é estimada em, 5.650 habitantes (IBGE, 2021) e uma área de 568,789 km², sendo 219 km² de área urbana. (IBGE,2021)

3.5.2 Coordenadas Geográficas

Como informações específicas são complicadas de se obter em sites de prefeituras municipais de cidades do interior, os dados da tabela 4 foram obtidos do site do IBGE.

Tabela 4 - Coordenadas Geográficas do Município de Goiandira (GO)

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM - SAD69 (m)		
18°08'06,72" S	48°05'04,91" W	E 808.494,7199	N 7.992.405,0478	H 848,5

Fonte: IBGE (2021)

3.5.3 Relevo, Vegetação e Solo

O município de Goiandira está numa área com duas formas de relevo distintas: os planaltos ondulados, do tipo mares de morro do oeste e uma área de chapada, mais plana e mais alta, a nordeste. As altitudes variam entre 650 e 1.200 metros. O relevo é bastante compartimentado, com depressões nos vales dos rios São Marcos e Paranaíba, uma chapada a nordeste e mares de morro no restante do município. Apesar de pequenas áreas onde há remanescentes de mata atlântica, o domínio morfoclimático típico é o dos Cerrados, caracterizando-se por ser uma unidade de relevo tabular, levemente ondulado, com altitude inferior a 900 m. (GOIANDIRA, 2021)

O município de Goiandira encontra-se quase que exclusivamente no complexo dos cerrados: vegetação de cerrado típico, campo cerrado, cerradão, veredas, além de manchas eventuais de mata atlântica. (GOIANDIRA, 2021)

3.5.4 Clima

O município de Goiandira está sob a influência de circulação dos sistemas atmosféricos tropicais. O clima é controlado pelas massas de ar continental (Equatorial e Tropical) e Atlântica (Polar e Tropical). Os deslocamentos dessas massas de ar são responsáveis pela marcante alternância de estações úmidas e secas. Segundo a classificação de *Koppen*, adotada universalmente e adaptada ao Brasil, o clima de Goiandira tem a classificação *Cwa* (Clima temperado úmido). (Goiandira, 2021)

A cidade de Goiandira não tem uma estação meteorológica para medir as precipitações diárias, por isso fora utilizado os dados da estação da cidade de Catalão que está a 14 quilômetros da cidade estudada, como base de dados. Os dados foram obtidos pelo site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de forma a obter a série de máximas anuais, indicadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados das precipitações máximas anuais

Estação	Ano	Precipitação diária máxima anual (mm) - 24h
Catalão	2008	73,2
Catalão	2009	93,4
Catalão	2010	99,4
Catalão	2011	55,7
Catalão	2012	85,6
Catalão	2013	120
Catalão	2014	85,6
Catalão	2015	50,5
Catalão	2016	73,5
Catalão	2017	57,9
Catalão	2018	88,5
Catalão	2019	55,9
Catalão	2020	75,7
Média - μ		78,07
Desvio-padrão - S		16,01

Fonte: Autor (2021)

Ainda não existem, na cidade, estudos que comprovem a quantidade necessária de precipitação acumulada por período de tempo para se inundar os pontos mais susceptíveis já comprovados por episódios. Porém, há recorrência de alagamentos no perímetro urbano em vários pontos da cidade.

A análise climática no estudo de inundações urbanas tem papel fundamental ao se identificar períodos de maior probabilidade de ocorrência de precipitações severas em curtos períodos de tempo. Esse tipo de precipitação satura rapidamente o solo, fazendo com que a água não infiltrada escoe superficialmente ou sobrecarregue os condutos do sistema de drenagem causando os alagamentos e trazendo riscos a população nas bacias urbanas. (ANDRADE, 2011)

Para o município é muito importante o estudo para analisar a motivação dos problemas de alagamento que acontecem na cidade.

4 Materiais e Métodos

O bloco utilizado neste estudo foi o bloco “*Runoff*” para a simulação do escoamento superficial da área de estudo.

Para prever o escoamento superficial e simular o processo de infiltração neste trabalho, foi escolhido o Método SCS. (ROSSMAN, 2010)

4.1 Etapas preliminares à modelagem da rede de drenagem

Na literatura, foram encontrados trabalhos apresentando apenas resultados utilizando o programa *SWMM*, portanto, para a inserção de dados no mesmo foi utilizado o manual “*SWMM – 5.0 – Manual do usuário*” escrito por Rossman (2010) e traduzido para o português pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, BRASIL.

O *SWMM* utiliza diversos tipos de objetos (nós, trechos, condutos, LID) para a modelagem de uma área de drenagem que podem ser inseridos manualmente. Outra opção é trabalhar com arquivos de projeto utilizando a extensão ‘*.inp*’. (Rossman, 2010)

A prefeitura de Goiandira não tinha o arquivo mapeado da rede de drenagem, sendo o mesmo feito neste trabalho seguindo as orientações do professor orientador e com os conhecimentos aprendidos em PIC II, O arquivo saiu em “*.dwg*”, o formato nativo de arquivo para o *software AutoCad®* da *Autodesk*.

Foi necessário desativar algumas informações do novo arquivo ‘*.dwg*’ deixando apenas os condutos, bocas de lobo, caixas de ligação e poços de visita e este arquivo foi salvo com a extensão ‘*.dxf*’ no *AutoCad®*.

O próximo passo foi a conversão do arquivo *.dxf* em arquivo *.inp* utilizando o programa *EpaCAD*. Este programa reconhece as linhas com sendo um trecho de tubulação e as extremidades das linhas como sendo um nó.

4.2 Modelagem computacional

Antes de abrir o arquivo *.inp* é necessário estabelecer as Configurações pré-definidas que podem ser salvas para novos projetos e assim simplificar posteriormente a entrada de dados.

Para este trabalho foi alterada somente a aba identificadores inserindo-se os prefixos para os objetos pluviômetros, sub-bacias, nós, e condutos conforme Figura 3.

Figura 3 – Valores pré-definidos dos Identificadores ID

Configurações Pré-definidas

Identificadores Sub-bacias Nós/Trechos

Objeto	Prefixo do ID
Pluviômetros	Pluvio
Sub-bacias	Sub
Nós	Nó
Exutório	Ex
Divisores	Div
Unidades de Armazenamento	Arm
Condutos	Cond
Bombas	Bomb
Reguladores	Reg
Incremento do ID	1

Salvar as configurações pré-definidas para novos projetos

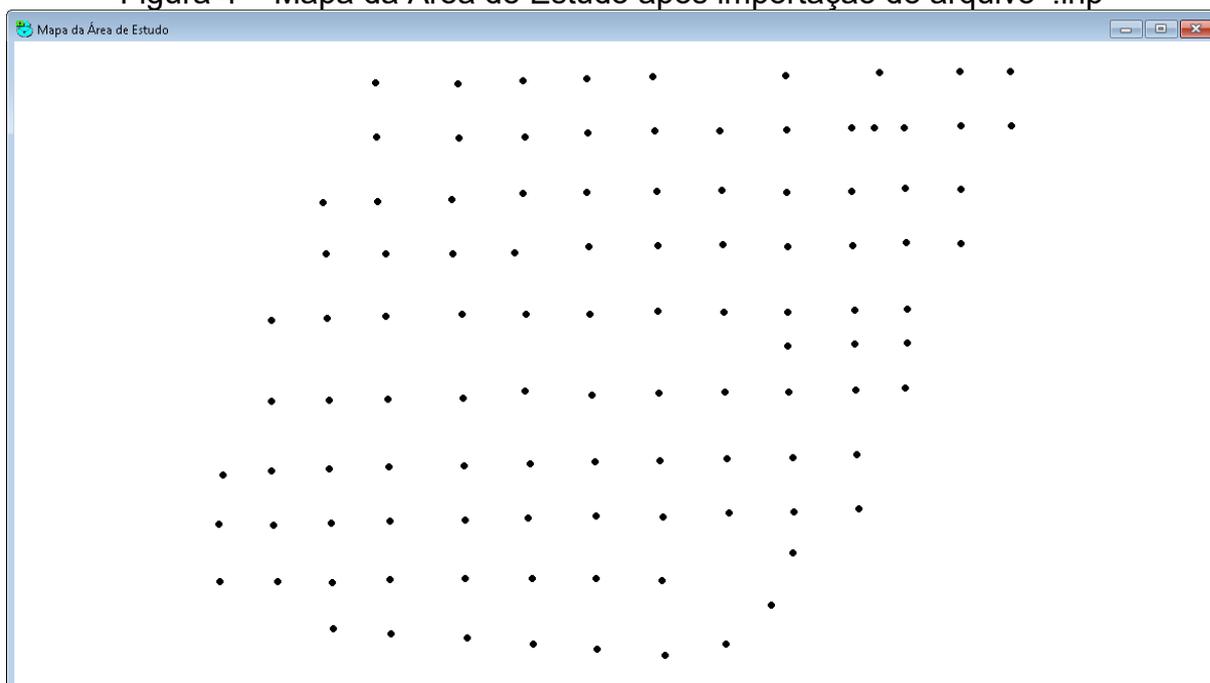
OK Cancelar Ajuda

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

O próximo passo é abrir o arquivo *.inp* gerado no programa *EpaCad*. Foram feitas várias tentativas para abrir o arquivo através do menu principal, porém, o mapa da área de estudo continuava em branco. Somente através do ícone abrir da barra de ferramentas padrão foi possível importar o arquivo.

Apesar da transformação do arquivo *CAD* em um arquivo compatível com o *SWMM*, ao abri-lo no programa o mesmo não reconheceu os condutos. Como pode ser visto na Figura 4, foram criados somente os nós que poderiam representar bocas de lobo, poços de visita, caixas de ligação ou exutórios da bacia hidrográfica.

Figura 4 – Mapa da Área de Estudo após importação do arquivo ‘.inp’



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Outra configuração importante é a fixação de algumas opções de apresentação do mapa para que sejam mostrados os identificadores com o nome dos elementos e os símbolos na aba Anotações (Figura 5).

Figura 5 – Formulário de Opções do Mapa

The image shows a software dialog box titled "Opções do Mapa". On the left, there is a vertical list of tabs: "Sub-bacias", "Nós", "Trechos", "Rótulos", "Anotações" (which is highlighted in blue), "Símbolos", "Setas de Fluxo", and "Fundo do Mapa". The main content area on the right contains several options:

- A group of checkboxes: ID do Pluviômetro, ID da Sub-bacia, ID do Nó, ID do Trecho, Valores da Sub-bacia (highlighted in blue), Valores do Nó, and Valores do Trecho.
- A checkbox for "Texto Transparente" which is unchecked.
- A "Tamanho da Fonte" (Font Size) spinner box set to 7.
- A "Zoom de:" (Zoom) spinner box set to 100.

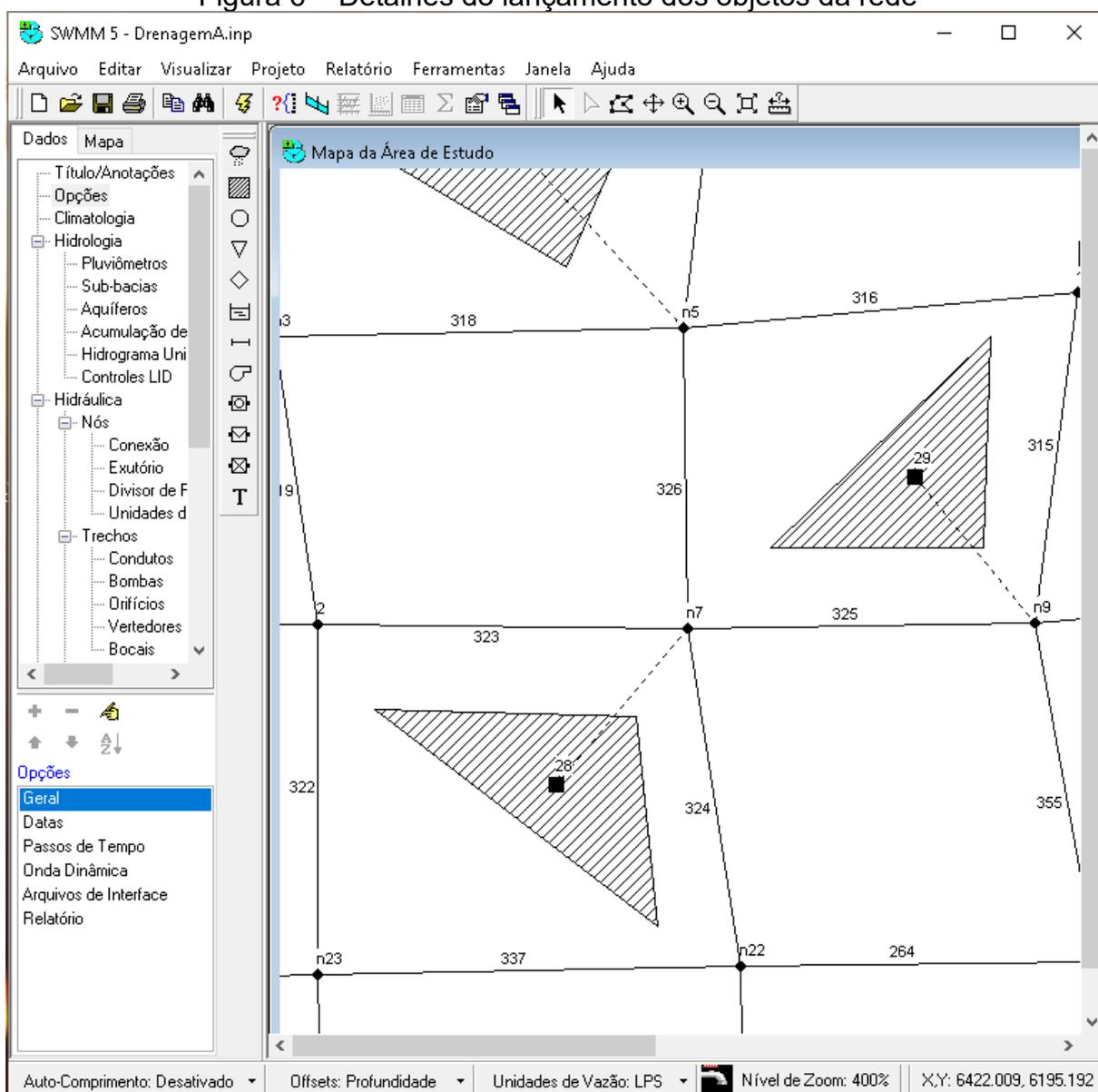
At the bottom of the dialog, there are three buttons: "OK", "Cancelar", and "Ajuda".

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

O lançamento dos trechos foi feito manualmente no programa *SWMM* utilizando a opção conduto na Barra de Ferramenta de Objetos (barra vertical) e com o auxílio do arquivo em *AutoCad* para a identificação dos trechos conectados a cada nó foram traçados os condutos.

Simultaneamente, foi feito o lançamento das sub-bacias referente as áreas de drenagem de cada boca de lobo conectada a um poço de visita ou caixa de ligação. Como é inviável inserir as reais dimensões das sub-bacias, o programa permite desenhar polígonos para representá-las, sendo o triângulo a forma escolhida. A Figura 6 mostra detalhes dos objetos lançados.

Figura 6 – Detalhes do lançamento dos objetos da rede



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

A entrada dos dados das propriedades dos objetos foi introduzida juntamente com o lançamento deles e serão detalhados nos próximos itens. Também foi feita uma planilha para o controle dos trechos executados facilitando possíveis correções (Apêndice A).

4.2.1 Caracterização do nós

Segundo Rossman (2010) os nós de conexão são objetos do sistema de drenagem onde se conectam trechos entre si e por onde entram no sistema as contribuições externas, podendo ser eles:

- Poço de visita: dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem mudança de direção e de declividade, e ainda, inspeção e limpeza das canalizações;
- Bocas-de-lobo: dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação de águas pluviais;
- Caixas de ligação ou de passagem: dispositivos não visitáveis que são utilizados quando se faz necessária a locação de bocas-de-lobo intermediárias ou para se evitar a chegada de mais de quatro tubulações em um mesmo poço de visita;

Para os nós os parâmetros de entrada introduzidos foram a cota do radier e a profundidade máxima que é entendida como sendo a distância da cota do radier até o fundo do conduto.

Para os nós a determinação da cota do radier foi feita utilizando as curvas de nível do terreno do arquivo *CAD*, pois a prefeitura não tinha disponibilidade desta informação.

Para a determinação da profundidade máxima deve-se considerar o recobrimento mínimo (*h*), que tende a dar segurança aos coletores da microdrenagem em relação aos esforços transmitidos pelo pavimento à estrutura de sua fundação, oriundos do tráfego da via em que se encontra. Foi adotado $h \geq 0,8$ m para tubos de concreto simples e que a declividade dos condutos acompanharia a declividade do terreno.

Portanto, a profundidade máxima se deu pela soma do recobrimento e do diâmetro da tubulação.

Em algumas situações a cota a jusante do trecho era maior que a cota a montante. Nestes casos a declividade do conduto se difere da declividade do terreno. Assim, devido à falta de informações, adotou-se um valor mínimo de 0,5% para a declividade do terreno. Portanto, para a determinação da declividade foi usada a Equação 2.

$$D = \frac{CM - CJ}{d} \quad (2)$$

Onde:

D = Declividade do trecho

CM = Cota de fundo do coletor a montante

CJ = Cota de fundo do coletor a jusante

d = Distância entre os nós (comprimento do trecho)

Com uso da equação apresentada anteriormente, encontra-se o valor da cota de fundo do nó a montante do trecho.

4.2.2 Caracterização dos trechos

Os objetos condutos são as tubulações que transportam a água de um nó para o outro.

O *SWMM* emprega a equação de *Manning* (Equação 3) para estabelecer a relação entre vazão que escoar pelo conduto (Q), o coeficiente de rugosidade de *Manning* (n), a área da seção transversal (A), o raio hidráulico (R_h) e a declividade (S), tanto para canais abertos, como para condutos fechados parcialmente cheios. (Rossman, 2010)

$$Q = \frac{1,49}{n} \cdot A \cdot R \cdot h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S} \quad (3)$$

Para a caracterização dos trechos foram consideradas as seguintes propriedades: forma, profundidade máxima, comprimento, coeficiente de *Manning* e *offset* de entrada e saída, que serão explicadas a seguir e inseridas no editor de propriedades do trecho (Figura 7).

Figura 7 – Editor de Propriedades do trecho

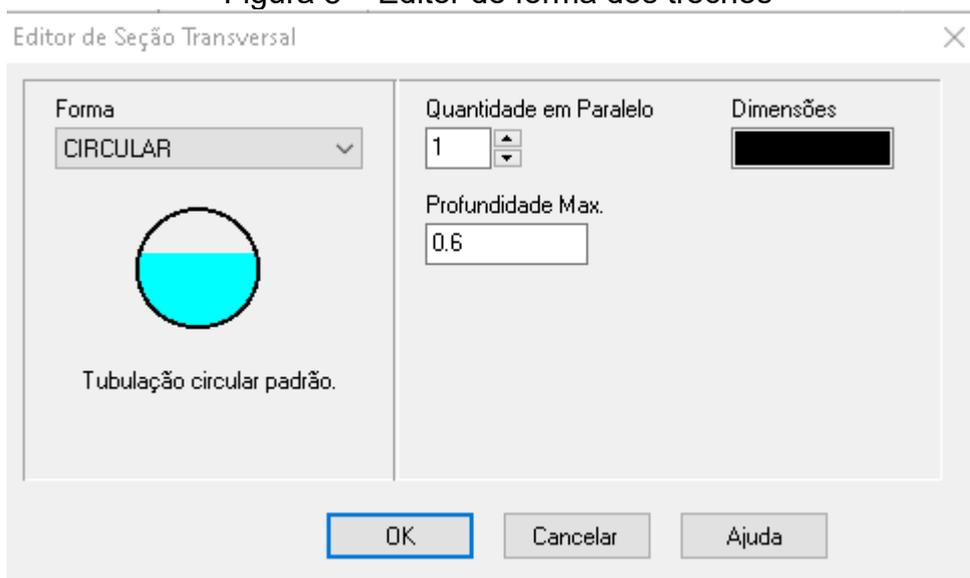
Conduto 314 ✕

Propriedades	Valor
Identificador	314
Nó de entrada	n55
Nó de saída	n9
Descrição	
Etiqueta	
Forma	CIRCULAR ⋮
Profundidade Max.	0.6
Comprimento	103.28
n-Manning	0.013
Offset de entrada	0
Offset de saída	0
Fluxo inicial	0
Fluxo Máximo	0
Coef. Perda na Entrada	0
Coef. Perda na Saída	0
Coef. Perda Média	0
Dispositivo de Retenção	NO
Código do Bueiro	

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Conforme a Figura 8, para a edição da seção transversal foi escolhida a forma circular padrão e a quantidade em paralelo que especifica quantos condutos paralelos idênticos existem entre seus nós, por não existir nenhum, foi mantido o valor mínimo que o programa permite.

Figura 8 – Editor de forma dos trechos



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

O comprimento foi preenchido manualmente utilizando-se a ferramenta distância no arquivo *CAD* para cada trecho. Para a determinação do coeficiente de *Manning* (n) utilizou-se a Tabela 6, disponível no próprio manual do programa, encontrando-se o valor $n = 0,013 \text{ m}^{-1/3} \times s$ correspondente à média aritmética entre os valores superior e inferior em tubulações de concreto.

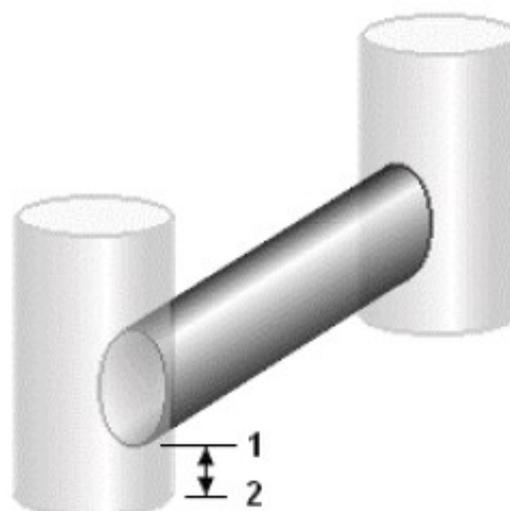
Tabela 6 – Coeficiente de *Manning* n para condutos fechados

Material	<i>Manning</i> n
Tubulação cimento-amianto	0,011 – 0,015
Tijolo	0,013 – 0,017
Tubulação de ferro	0,011 – 0,015
Cimento forrado e revestido	
Concretos (Monolítico)	
Formas lisas	0,012 – 0,014
Formas rugosas	0,015 – 0,017
Tubulação de concreto	0,011 – 0,015

Fonte: Autor (2021)

Para o *offset* de entrada e saída que corresponde à distância entre a cota de fundo do nó de conexão e a geratriz inferior do conduto após o poço de visita deve-se adotar um degrau de 5 cm conforme Figura 9. (ROSSMAN, 2010)

Figura 9 - Alinhamento dos coletores pelas geratrizes inferiores.



Fonte: Rossman (2010)

4.2.3 Caracterização das sub – bacias

Os objetos sub-bacias são unidades hidrológicas de terreno cuja topografia e elementos do sistema de drenagem conduzem o escoamento diretamente para um único ponto de descarga. (Rossman, 2010)

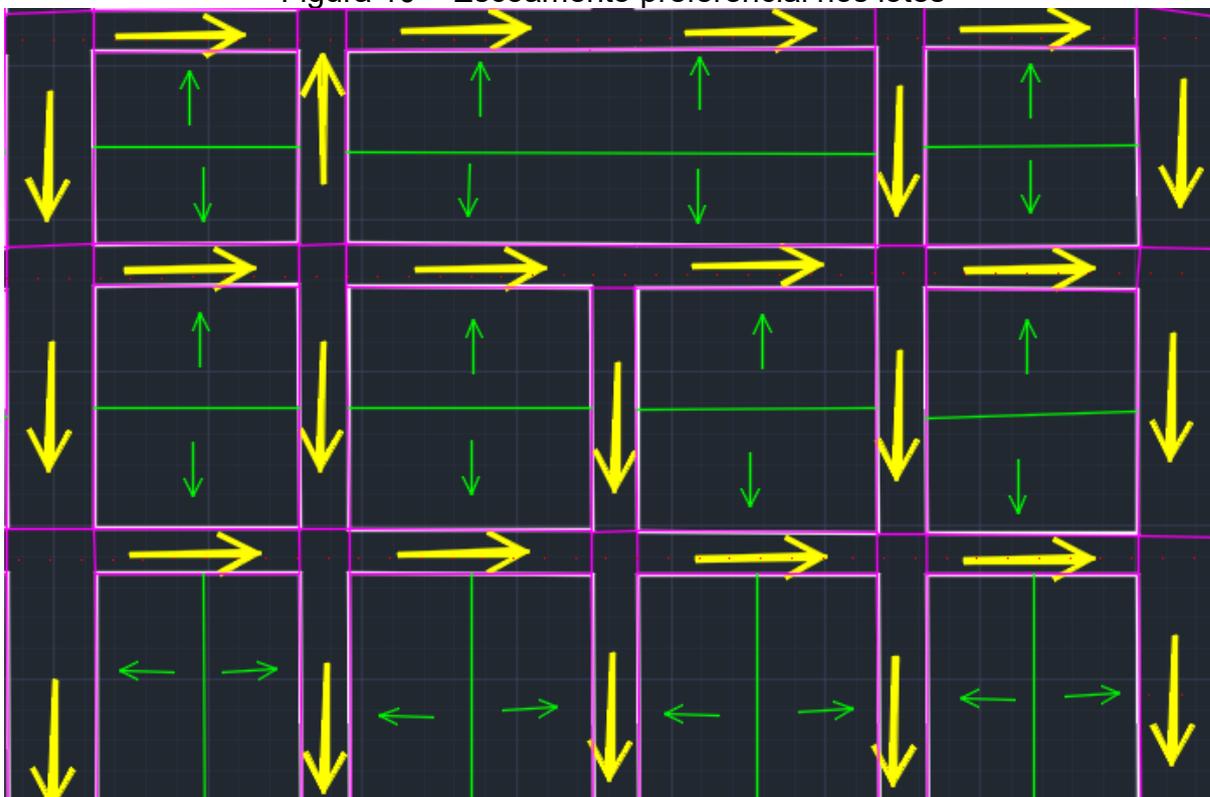
Para a caracterização das sub-bacias não foram consideradas a presença de águas subterrâneas e acumulação de neve por não serem aplicáveis à área do estudo. Também foram desconsiderados controles LID, configuração inicial e comprimento de meio fio, pois se tratam de características para estudo da propagação de poluentes e qualidade dos escoamentos, informações que não integram os objetivos de estudo deste presente trabalho de conclusão de curso.

Com as sub-bacias delineadas e o conhecimento da topografia local, o projeto de drenagem é iniciado nos pontos que contém as maiores cotas, portanto, traçaram-se as áreas contribuintes de cada trecho, relativas a cada quadra da urbanização estabelecida.

O sentido preferencial de escoamento da água pela sarjeta em cada trecho é determinado a partir da declividade natural do terreno que irá receber o sistema de drenagem, sendo que o sentido de escoamento dentro dos lotes, inicia-se desde sua divisa de fundo deslocando-se no sentido de seu alinhamento frontal.

Tanto os sentidos de escoamentos na sarjeta, como os sentidos de escoamentos internos aos lotes podem ser verificados na Figura 10.

Figura 10 – Escoamento preferencial nos lotes

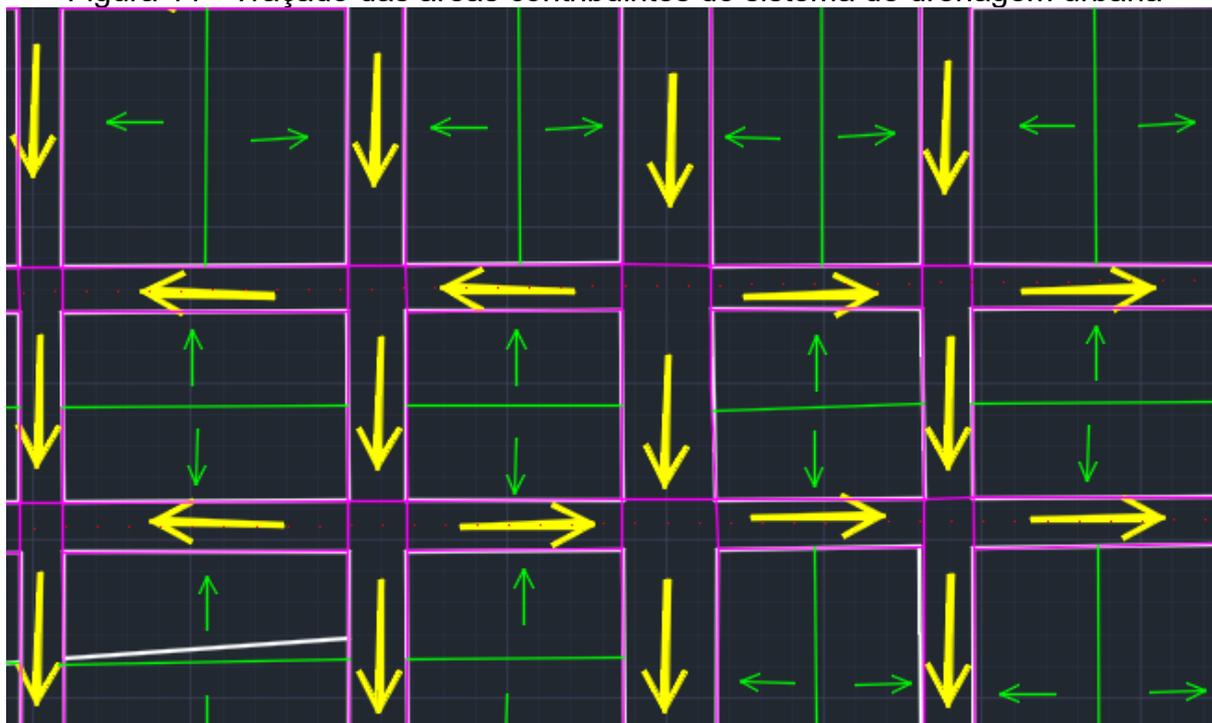


Fonte: Autor (2021)

O cálculo da área de contribuição de cada trecho na verdade é o delineamento destas áreas e subsequente medição de seu valor. Para isso, foi padronizado este delineamento, quanto ao direcionamento da declividade dos lotes envolvidos na contribuição, levando-se em consideração as ruas coletoras frontais denominando-as de ruas internas da área a ser drenada.

O valor das áreas de contribuição mostradas na Figura 11 foram determinadas utilizando a ferramenta área do programa *AutoCad*®.

Figura 11 - Traçado das áreas contribuintes do sistema de drenagem urbana



Fonte: Autor (2021)

A largura diz respeito a uma propriedade individual de cada sub-bacia e corresponde à largura característica do escoamento superficial, em metros, ou seja, a distância percorrida da água superficial do ponto mais longe de cada área de contribuição até seu deságue nas bocas de lobo. Foi feita uma planilha (Apêndice B) para o controle desses dados inseridos facilitando possíveis correções também.

Juntamente com a inserção das sub-bacias no programa, foram atribuídas manualmente, no Editor de Propriedades (Figura 12), os valores referentes à área e à largura das mesmas. Para a determinação da área de contribuição foi utilizado o arquivo .'.dwg'.

Figura 12 – Editor de Propriedades das sub-bacias

Propriedades	Valor
Identificador	11
Coordenada X	6582.769
Coordenada Y	6592.483
Descrição	
Etiqueta	
Pluviômetro	1
Exutório	n15
Área	1.471
Largura	500
% Declividade	0.5
% Impermeável	25
n-Impermeável	0.01
n-Permeável	0.1
PA-Impermeável	0.05
PA-Permeável	0.05
% A. imp s/ arm.	25
Propag. Escoamento	OUTLET
% Propagada	100
Infiltração	CURVE_NUMBER

Identificador da sub-bacia escolhida pelo usuário

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Devido aos valores das outras propriedades aplicarem-se à todas as sub-bacias, foi utilizado o atalho Editar Grupo para atribuir essas propriedades a todas elas ao mesmo tempo.

Ainda com o auxílio do *software* AutoCad® e o projeto eletrônico disponibilizado, foram determinadas as declividades das sub-bacias.

Posteriormente, foram determinados os coeficientes *n* de *Manning* para os escoamentos superficiais nas parcelas impermeáveis nas sub-bacias tomando como base a Tabela 7 extraída do manual do usuário. Foi considerado, para as áreas impermeáveis, o coeficiente $n = 0,012 \text{ m}^{-1/3} \times s$ que equivale ao coeficiente mediano entre os valores para concreto com acabamento normal e asfalto liso. Nas áreas permeáveis, foi adotado $n = 0,015 \text{ m}^{-1/3} \times s$, correspondendo à situação de gramados curtos.

Tabela 7 – Coeficiente n de *Manning* (escoamento à superfície livre)

Superfície	n
Asfalto liso	0,011
Concreto liso	0,012
Concreto normal	0,013
Madeira	0,014
Tijolo com cimento	0,014
Cerâmica	0,015
Ferro fundido	0,015
Tubos de metal ondulado	0,024
Cimento com superfície de pedregulho	0,024
Solo em pousio	0,05
Solos cultivados	
• Cobertos de resíduos < 20%	0,06
• Cobertos de resíduos > 20%	0,17
Campo (natural)	0,13
Gramma	
• Curta, pradaria	0,15
• Densa	0,24
• Gramma-bermudas	0,41
Floresta	
• Vegetação rasteira leve	0,40
• Vegetação rasteira densa	0,80

Fonte: McCuen, R. et al. (1996), Hydrology, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC apud Rossman (2010)

Outros parâmetros alterados foram: PA-Impermeável e PA-Permeável que correspondem às profundidades de armazenamento em depressão, medidos em milímetros, para as parcelas impermeáveis e permeáveis das sub-bacias, respectivamente.

Entende-se como armazenamento em depressão o volume a ser preenchido sobre a superfície da bacia para que enfim comece a ocorrer o escoamento superficial em um evento chuvoso (Rossman, 2010). Utilizando a Tabela 8, foi adotado a situação mais crítica, na qual o escoamento é iniciado em menor tempo, para os dois itens, sendo PA-Impermeável = 1,27 mm e PA-Permeável = 2,54 mm.

Tabela 8 – Armazenamento em depressões

Superfícies Impenetráveis	1,27 – 2,54 mm
Gramados	2,54 – 5,08 mm
Pastagem	5,08 mm
Serrapilheira	7,62 mm

Fonte: ASCE, (1992). Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems, New York, NY apud Rossman (2010)

O próximo parâmetro determinado foi a “% A imp s/ arm.” que é caracterizada como sendo a porcentagem da área impermeável em que não ocorrem armazenamento em depressão. (Rossman, 2010)

Após pesquisas não foi possível encontrar na literatura a forma de se mensurar a ocorrência ou não do armazenamento em depressão, adotou-se arbitrariamente o valor de 98%.

A próxima propriedade determinada refere-se ao modo como os escoamentos nas sub-bacias propagam por entre as áreas permeáveis e impermeáveis podendo ocorrer das três formas apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Propagação do escoamento

Propagação do Escoamento	Permite escolher o modo de propagação do escoamento superficial entre áreas permeáveis e impermeáveis: IMPERVIOUS : escoamento a partir da área permeável para a área impermeável, PERVIOUS : escoamento a partir da área impermeável para a área permeável, OUTLET : escoamento a partir de ambas as áreas diretamente para o exutório da sub-bacia.
---------------------------------	---

Fonte: Rossman (2010)

A modo de propagação escolhido foi o *OUTLET* já que as bocas de lobo recebem contribuições tanto das áreas permeáveis quanto das impermeáveis.

Outro parâmetro que também é necessário a definição nesta parte do trabalho é a percentagem do escoamento superficial que é efetivamente propagada entre as áreas. Foi definido então, que o valor usado seria 100% no campo “% Propagada”, sendo esta a situação mais crítica.

Por último, definiu-se o método adotado para o cálculo da taxa de precipitação que infiltra na zona superior do solo nas áreas permeáveis das sub-bacias. Três modelos diferentes de infiltração são disponibilizados pelo *SWMM*, sendo eles: *Horton*, *Green-Ampt* e *Curva Número*.

Devido ao programa ser de origem norte-americana, para este trabalho, serão utilizadas as Tabelas 2 e 3 contidas no manual de Rossman (2010) para encontrar o número CN.

O método selecionado foi o chamado *Curva Número*, este corresponde ao método proposto pelo *SCS* explanado no capítulo da revisão bibliográfica. Para a aplicação desse método a todas as sub-bacias deve-se ir nas Configurações Pré-definidas (Figura 13) do programa e na aba Sub-bacias alterar o método de cálculo para a infiltração.

Figura 33 – Alteração método de cálculo para a infiltração

Propriedades	Valor Pré-Definido
Área da sub-bacia	5
Largura característica	500
Declividade	0.5
% Área impermeável	25
Manning('n') - área impermeável	0.01
Manning('n') - área permeável	0.1
PA-impermeável	0.05
PA-permeável	0.05
% de área impermeável sem ar	25
Método de cálculo para a infiltr	CURVE_NUMBER

Salvar as configurações pré-definidas para novos projetos

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Após a definição do modelo, é necessária a alteração de dois parâmetros: Tempo Seco e Número-Curva. A mudança desses parâmetros deve ser feita através da janela Editar Grupo apresentada na Figura 14.

Figura 14 – Parâmetros infiltração

Para objetos do tipo: Infiltração

com Etiqueta igual a

editar a propriedade: Número-Curva

substituindo ela por: 95

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

O parâmetro “Tempo Seco” é definido como sendo o número de dias que leva um solo totalmente saturado para secar. Foi adotado arbitrariamente a média dos valores típicos indicados por Rossman (2010) no manual do usuário – 2 a 14 dias –, tempo de secagem igual a 7 dias.

Para a determinação do Número-Curva foi definido a classificação hidrológica do solo do município de Goiandira com predominância de latossolo vermelho distrófico e de acordo com a Tabela 2 ele pertence ao grupo D.

Com o grupo definido, utilizou-se a Tabela 3 para encontrar o valor de CN = 95 considerando um elevado grau de urbanização da cidade.

Para a área urbana existe sempre uma parcela do solo que é impermeável e quando a porcentagem total de área impermeabilizada é superior a 30% é necessário fazer a correção do CN utilizando Equação 4.

$$CN_w = CN_p \cdot (1 - f) + f \cdot (98) \quad (4)$$

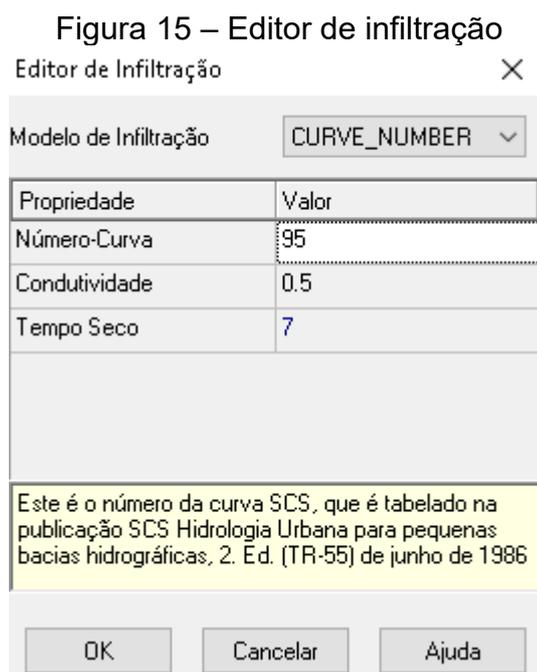
Em que:

CN_w = número CN corrigido

CN_p = Número CN tabelado

f = Porcentagem da área impermeabilizada

Portanto, o valor de CN corrigido foi inserido no programa *SWMM* como mostra a Figura 15.



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

4.2.4 Pluviômetro

Para executar a simulação do comportamento hidráulico da rede de drenagem perante um evento chuvoso foi inserido um pluviômetro em um ponto qualquer sendo ele aplicado à todas sub-bacias.

As propriedades aplicadas ao pluviômetro ilustradas na Figura 16 foram: formato de precipitação, intervalo de precipitação, origem dos dados e a série temporal.

Figura 16 – Editor de propriedades pluviômetro

Propriedades	Valor
Identificador	1
Coordenada X	6298.576
Coordenada Y	6521.791
Descrição	
Etiqueta	
Formato de Precipitação	VOLUME
Intervalo de Precipitação	0:10
Fator Neve	1.0
Origem de Dados	TIMESERIES
SÉRIE TEMPORAL:	
- Nome	ST1
ARQUIVO:	
- Nome	*
- Nº Estação	*
- Unidade de Precipitação	MM
Unidade para os valores de precipitação no arquivo	

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

O formato de precipitação pode ser definido de três formas conforme a Tabela 10. Sendo que o escolhido foi o de *Volume* devido aos dados de precipitação serem fornecidos em altura pluviométrica por cada intervalo de tempo.

Tabela 10 – Formatos de precipitação

Formato da Precipitação	<p>Formato em que os dados de precipitação são fornecidos:</p> <p>INTENSITY: cada valor de precipitação é a taxa média em polegadas/hora (ou mm/hora) no intervalo gravado.</p> <p>VOLUME: cada valor de precipitação é a altura de precipitação que caiu no intervalo de registro (em polegadas ou milímetros).</p> <p>CUMULATIVE: cada valor de precipitação representa a precipitação acumulada desde o início da última série de valores não nulos (em polegadas ou milímetros).</p>
--------------------------------	---

Fonte: Rossman (2010)

O intervalo de precipitação que corresponde ao intervalo entre as leituras do pluviômetro deve ser menor ou igual do que o intervalo entre os valores na série histórica usada no mesmo, portanto, foi adotado 10 minutos e inserido o valor de 0:10 no programa.

O fator neve corrige as leituras para queda de neve sendo mantido como unitário não alterando a simulação.

Para a origem de dados da precipitação poderia ser *Times Series* para dados fornecidos pelo usuário ou *File Arquivo* para um arquivo de dados externos, sendo escolhido o primeiro.

A precipitação é um dado hidrológico de entrada para a simulação. Para este trabalho foi adotado o evento chuvoso determinado por Oliveira (2004) em seu artigo científico. A equação intensidade-duração-frequência para a cidade de Catalão representada pela Equação 5.

$$i = \frac{101,8591 \cdot Tr^{0,1323}}{(t + 12)^{0,76}} \quad (5)$$

Em que a intensidade (i) é dada em mm/min, período de retorno (Tr) em anos e tempo de concentração da bacia (t) em minutos.

Para este trabalho no evento chuvoso adotado (Serie1) o tempo de retorno escolhido foi para o período de 20 anos e a distribuição pluviométrica está ilustrada na Tabela 11 com volume acumulado de precipitação igual a 80,64 mm.

Tabela 11 – Distribuição pluviométrica do evento chuvoso adotado

t (min)	Precipitação (mm)	Precipitação acumulada (mm)
10	14,45	14,45
20	10,87	25,32
30	8,84	34,16
40	7,52	41,68
50	6,58	48,25
60	5,87	54,12
70	5,32	59,44

80	4,87	64,31
90	4,50	68,81
100	4,19	73,01
110	3,93	76,94
120	3,70	80,64
TOTAL		80,64

Fonte: Autor (2021)

Durante a inserção de tal série temporal na ferramenta *SWMM*, na coluna “valor” da planilha presente no Editor de Série Temporal foi inserido os volumes precipitados e os intervalos de tempo, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Editor de propriedades da série temporal

Editor de Série Temporal

Nome da Série Temporal:

Descrição:

Utilizar arquivo de dados externo. Nomeado a seguir:

Inserir os dados da série temporal da tabela abaixo

Dados sem data se referem ao início da simulação

Data (D/M/Y)	Tempo (H:M)	Valor
	0:10	14.45
	0:20	25.32
	0:30	34.16
	0:40	41.68
	0:50	48.25
	1	54.12
	1:10	59.44
	1:20	64.31
	1:30	68.81

Visualizar... OK Cancelar Ajuda

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

4.2.5 Simulação

Para a realização da simulação é necessário estabelecer algumas opções para determinar em que condições a análise será realizada.

Na aba geral, existem quatro grupos de especificações a serem definidas, entretanto apenas três deles foram utilizados, sendo eles: a definição dos modelos de processos físicos, infiltração e propagação de fluxo (Figura 18).

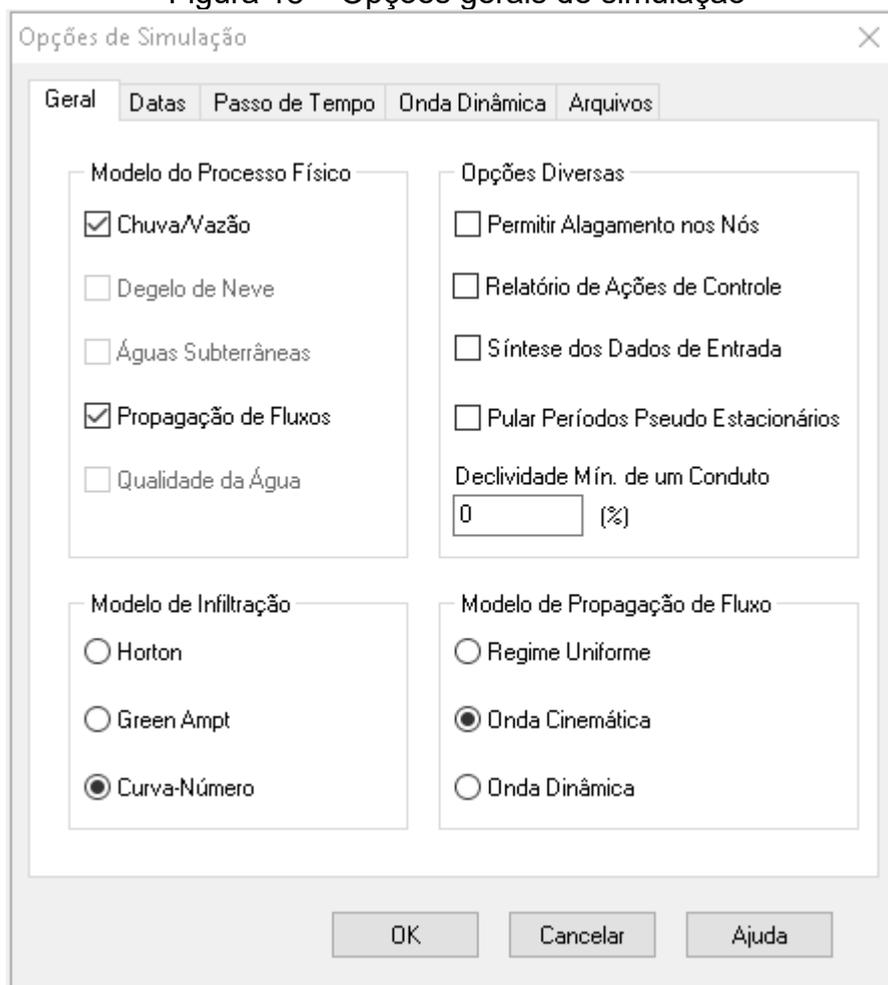
Com relação aos modelos do processo físico a serem simulados, uma vez que o objetivo deste trabalho é a verificação do comportamento hidráulico de uma rede de drenagem sob influência de um evento chuvoso específico, foram utilizados apenas os seguintes processos físicos: transformação da precipitação em vazão e a propagação dos fluxos por todo o sistema.

O modelo de infiltração escolhido foi o Curva-número, proposto pelo SCS. Toda a problemática com relação à adoção do método de infiltração para este trabalho foi discutida em capítulos anteriores.

No *SWMM*, a inundação ocorre quando o nível d'água no nó excede o valor máximo definido pela profundidade do nó. Normalmente este excesso do nível d'água é uma perda no sistema.

Para a etapa da definição do método a ser utilizado na propagação de fluxos, Rossman (2010) explana que o método do regime uniforme somente deve ser utilizado em análises preliminares de simulação devido ao fato de ser um modelo simplificado, entretanto os métodos de onda cinemática e dinâmica, por aplicarem a equação da continuidade adjunto a da quantidade de movimento, proporcionam resultados satisfatórios na análise de uma rede de drenagem.

Figura 18 – Opções gerais de simulação



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

A segunda aba utilizada foi a de datas (Figura 19), referente as opções das datas de simulação, ou seja, o período determinado a ocorrer a verificação do sistema de drenagem de águas pluviais.

O manual de Rossman (2010) especifica que o fim da análise deve ocorrer após 12 horas para evitar que ocorra o erro 191 descrito no manual, além disso, o período de 12 horas foi suficiente para esta simulação, pois não havia escoamento pela rede ao final dele.

Figura 19 – Opções de datas de simulação

	Data (M/D/A)	Hora (H:M)
Início da Análise	07/21/2021	00:00
Início do Relatório	07/21/2021	00:00
Fim da Análise	07/21/2021	12:00
Início da Variação	01/01	
Fim da Variação	12/31	
Dias Antecedentes sem Chuva	0	

Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Outra etapa importante é a definição do passo de tempo, conforme é apresentado na Figura 20, sendo determinados os passos do relatório, escoamento seco, escoamento do período chuvoso e da propagação de fluxo.

O intervalo de tempo para a apresentação dos resultados calculados (passo do relatório) e para o cálculo do escoamento superficial da sub-bacia durante períodos chuvosos (passo do escoamento em período chuvoso), foram determinados arbitrariamente em 05 minutos.

Para o intervalo de cálculo do escoamento em período sem precipitação, ou seja, escoamento seco, foi definido que se manteria o valor pré-definido pelo *SWMM*, sabendo-se que esse parâmetro está relacionado ao estudo qualitativo dos escoamentos e que não se aplica a este trabalho de conclusão de curso.

O passo de tempo para a propagação de fluxo está diretamente relacionado à precisão da simulação para uma mesma modelagem, à medida que se diminui o valor do passo de tempo da propagação, são encontrados menores erros nos resultados

calculados. Para esta simulação em questão foi definido o valor de 1 segundo para se obter resultados satisfatórios (Figura 22).

Figura 20 – Opções de passo de tempo da simulação

The image shows a software dialog box titled 'Opções de Simulação' with a close button (X) in the top right corner. It has five tabs: 'Geral', 'Dados', 'Passo de Tempo', 'Onda Dinâmica', and 'Arquivos'. The 'Passo de Tempo' tab is selected. The dialog contains the following settings:

	Dias	Hr:Min:Seg
Relatório	0	00:05:00
Escoamento: Período de Tempo Seco	0	01:00:00
Escoamento: Período Chuvoso	0	00:05:00
Propagação (Fluxo)	1	Segundos

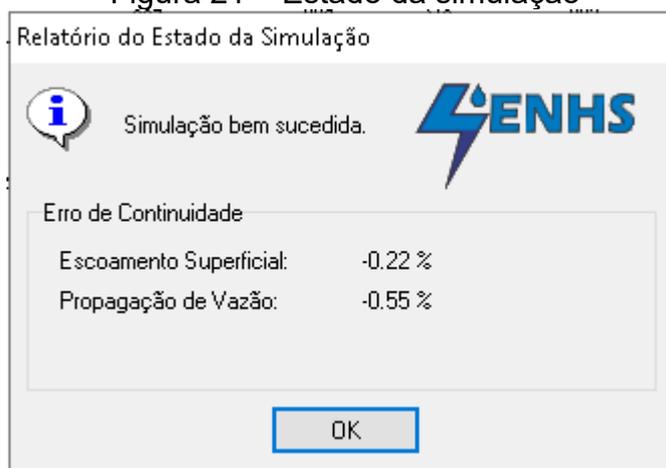
At the bottom of the dialog are three buttons: 'OK', 'Cancelar', and 'Ajuda'.

Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Após a inserção de todos os valores solicitados pelo *SWMM* foi possível executar a simulação. Uma mensagem com o relatório do estado da simulação é mostrada na tela, sendo ela uma simulação bem-sucedida com percentagem de erros aceitáveis (Figura 21).

Segundo Rossman (2010) tais erros “representam a diferença, em percentagem, entre a quantidade armazenada inicialmente, mais o fluxo que entra, e a quantidade armazenada no final mais ou fluxo que sai” e apresenta ainda que não sejam consideradas simulações com erro maior que 10%.

Figura 21 – Estado da simulação



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

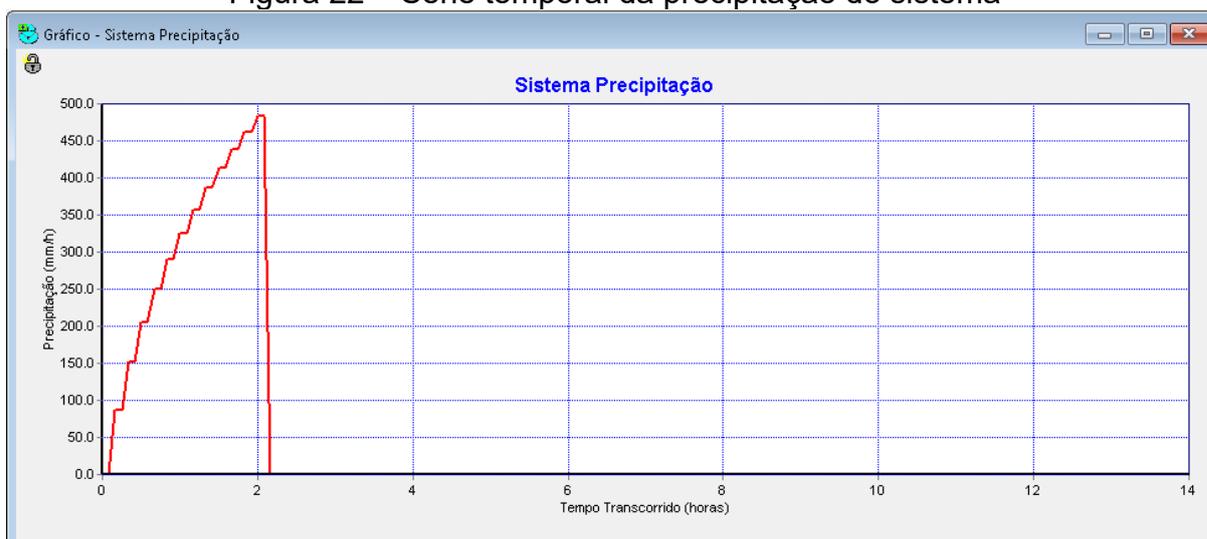
5 Análise de Resultados

O *SWMM* proporciona diferentes maneiras de apresentação dos resultados obtidos para as simulações, porém neste trabalho de conclusão de curso utilizou-se apenas três modos: relatório de estado, gráfico da série temporal e perfis longitudinais.

No relatório de estado (Anexo B), são informados resultados pertinentes à verificação do comportamento do sistema de drenagem como: erros de continuidade; síntese de escoamento superficial por sub-bacia; profundidade de água dos nós; afluência, sobrecarga e inundação nos nós; fluxo dos trechos e a sobrecarga nos condutos.

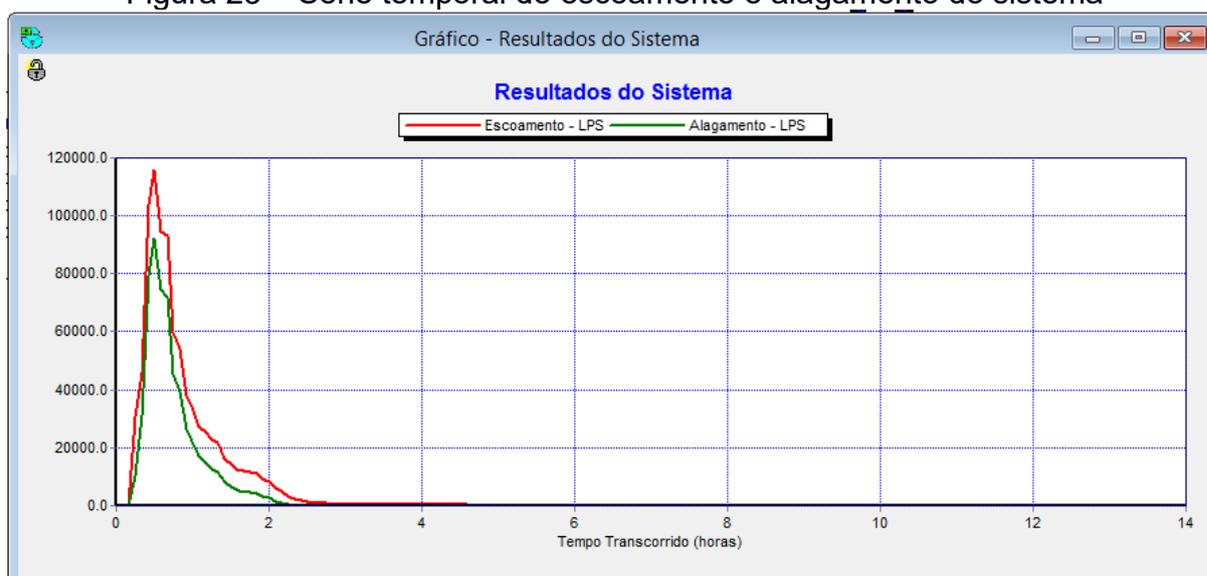
Os momentos apresentados nos mapas dos próximos itens são o momento crítico da simulação, que significa o momento em que as propriedades se encontraram com seus valores máximos, ou seja, 30 minutos após o início do evento chuvoso, como indicado pelo hietograma e hidrograma das Figuras 22 e 23.

Figura 22 – Série temporal da precipitação do sistema



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Figura 23 – Série temporal do escoamento e alagamento do sistema



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

5.1 Capacidade

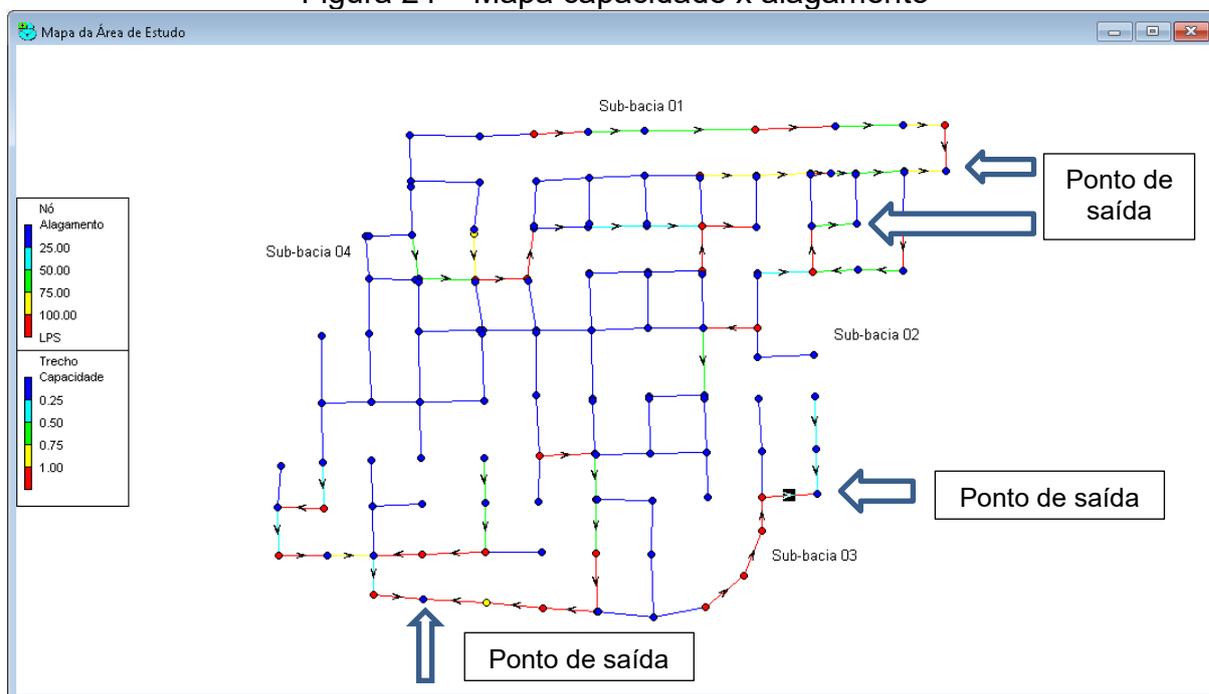
Na Figura 24, têm-se a rede de drenagem com a capacidade dos condutos e a vazão nos nós aos 30 minutos do evento chuvoso, devendo ser observado que os trechos em vermelhos indicam os condutos que estão totalmente preenchidos pela lâmina da água funcionando como condutos forçados, o que não é aconselhável.

Com os condutos totalmente preenchidos ocorre a inundação dos nós a montante e a jusante desses trechos. Conforme a legenda de alagamento do nó no mapa da Figura 28, pode-se saber o valor da vazão no início e ao final do trechos inundados.

No Anexo A, os trechos da rede de drenagem em vermelho indicam os mesmos trechos em sobrecarga, apresentados pelo programa *SWMM* na Figura 24, possibilitando a identificação das ruas e avenidas em que ocorrem os alagamentos.

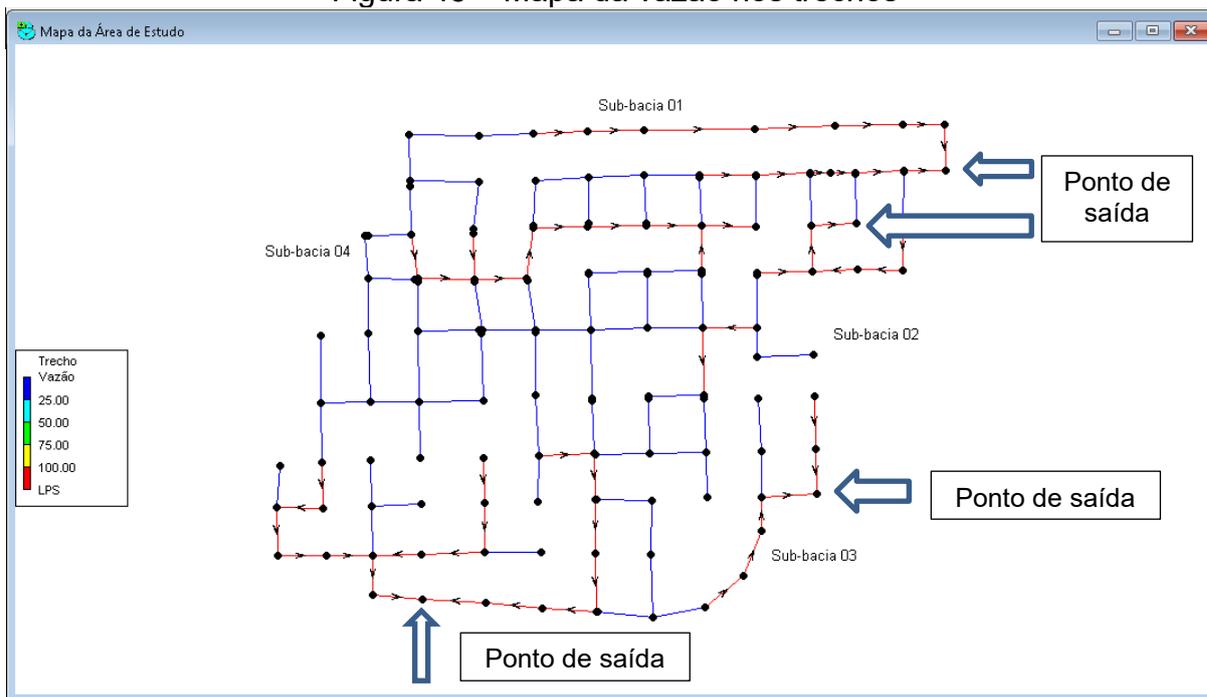
Para melhor compreensão dos resultados mostrados na Figura 24, a Figura 25 mostra as vazões de todos os trechos no momento mais crítico e a Figura 26 a profundidade máxima dos trechos que corresponde ao diâmetro e as profundidades dos nós a jusante e a montante.

Figura 24 – Mapa capacidade x alagamento



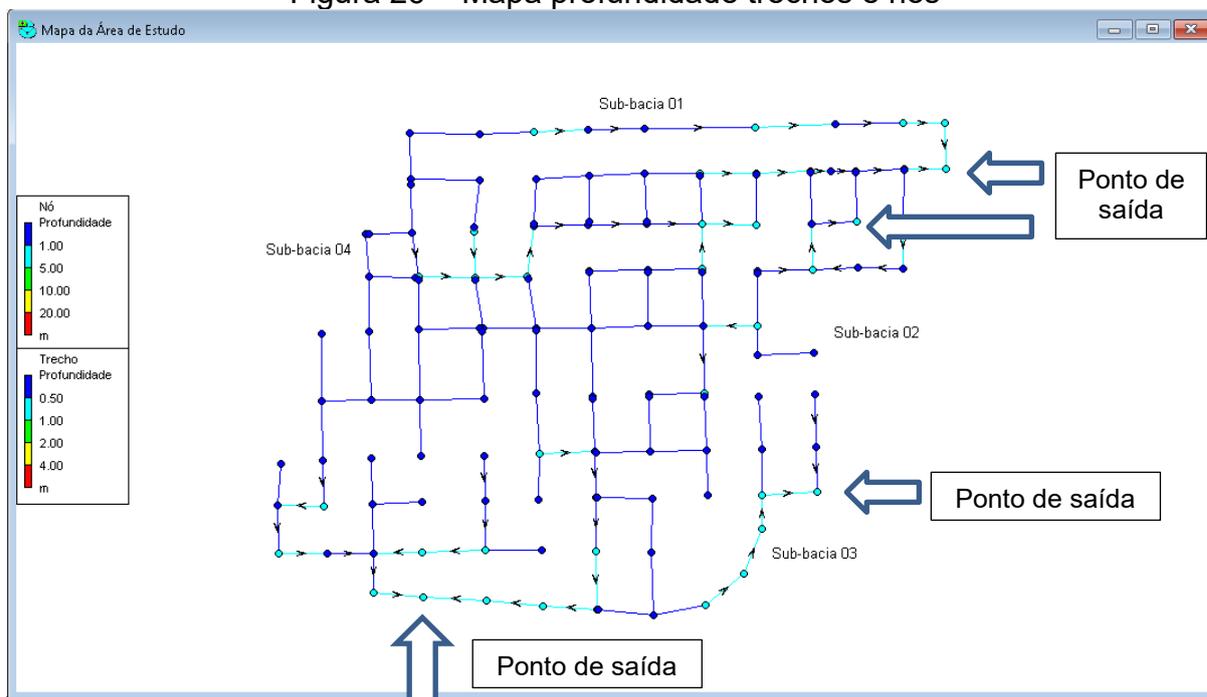
Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Figura 45 – Mapa da vazão nos trechos



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Figura 26 – Mapa profundidade trechos e nós (Depth Map)



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Foi escolhido o nó com maior vazão para exemplificar as propriedades da simulação mostradas nas figuras anteriores.

O trecho 231 encontra-se entre os nós n102 e n101, sendo que o nó a montante recebe uma vazão de 120,90 LPS e o nó a jusante 843,98 LPS.

Este trecho localiza-se na Sub-bacia 03, na Rua Anhanguera esquina com a rua Francisco Andrade. Os detalhes deste trecho constam na Figura 27.

Figura 27 – Detalhes do trecho 231

```

*****
Síntese da Inundação no Nó
*****

Inundação se refere a toda água que transborda um nó, alagando ou não.
-----

```

Nó	Horas Inundação	Vazão Maxima LPS	Inst. da Ocorrência dia	Max h:min	Volume Total Inundado 10 ⁶ L	Volume Máximo Alagado 1000 m ³
n101	1.49	1574.34	0	02:10	5.110	0.000
n102	2.05	151.53	0	00:24	0.873	0.000

```

*****
Síntese do Fluxo dos Trechos
*****
-----

```

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Ocorrência dia	Max h:min	Vcloc Máxima m/seg	Fluxo Max/Cheio	Prof. Max/Prof.
201	CONDUIF	276.26	0	00:20	1.11	1.00	1.00

```

*****
Síntese da Sobrecarga nos Condutos
*****
-----

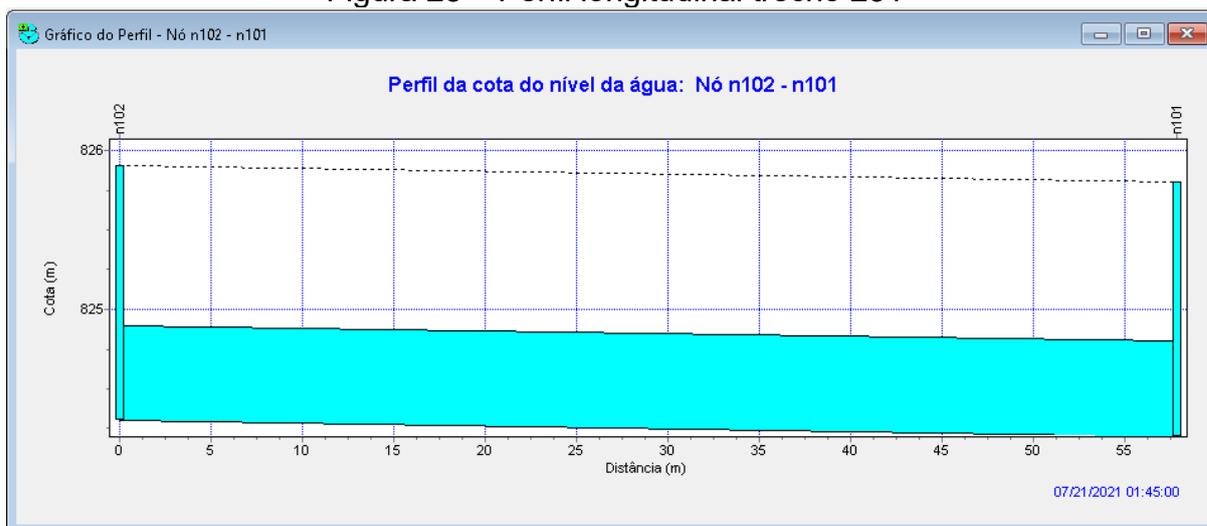
```

Condutos	Horas (cheio) Ambas Extrem.	Montante	Jusante	Horas Fluxo Acima Normal	Horas Capacid Limitada
231	2.02	2.05	2.03	0.03	2.05

Fonte: SWMM modificado pelo autor (2021)

A Figura 28 mostra o nível da água em perfil longitudinal, sendo que o trecho possui diâmetro de 400 mm e os nós profundidade de 1,2 metros. As linhas tracejadas indicam o nível do terreno, pelas cotas inseridas nos nós, já a parte preenchida em azul destaca o nível da lâmina de água do escoamento no momento crítico do evento chuvoso determinado ao estudo

Figura 28 – Perfil longitudinal trecho 231

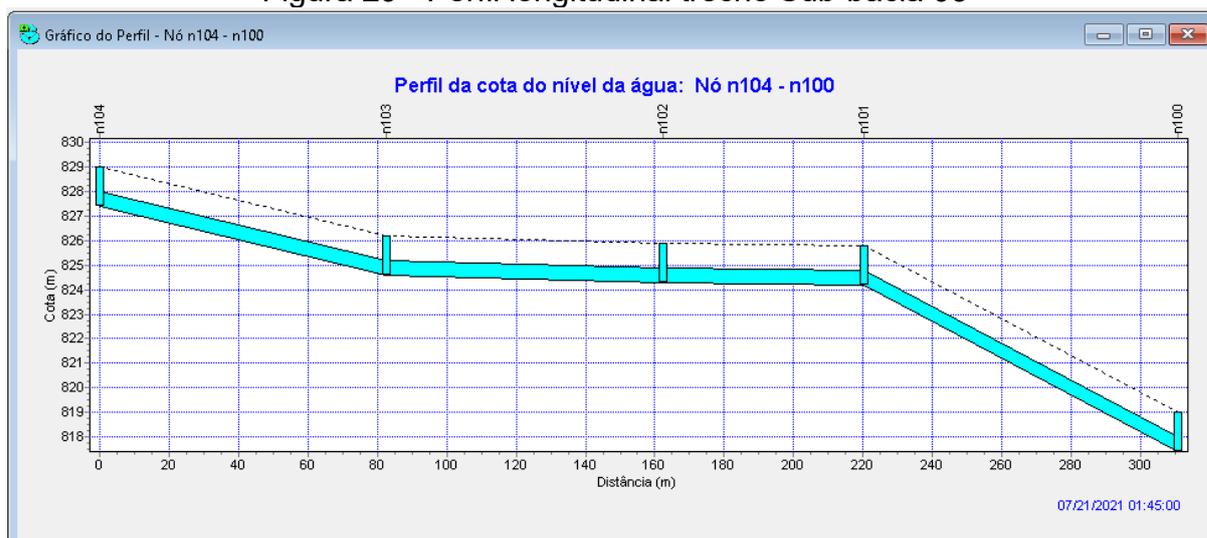


Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Na Figura 28, a rede foi dividida em regiões e abaixo serão apresentados os perfis longitudinais dos trechos mais críticos dessas regiões aos 105 minutos de chuva.

A Figura 29 mostra os trechos da Sub-bacia 03 que estão totalmente preenchidos localizados na Rua Anhanguera, no bairro Central. A vazão nos nós encontra-se entre 369,9 LPS e 970,87 LPS, os trechos apresentam velocidade de 5,96 m/s, diâmetro de 600 mm e o fluxo dos trechos é conforme mostra a Figura 32.

Figura 29 - Perfil longitudinal trecho Sub-bacia 03



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Figura 30 – Fluxo dos trechos principais Sub-bacia 03

Síntese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo	Inst. da Max		Veloc	Fluxo	Prof.
		Maximo LPS	dia	h:min	Máxima m/seg	Max/ Cheio	Max/ Prof.
229	CONDUIT	1224.99	0	00:41	4.89	1.08	1.00
230	CONDUIT	407.08	0	02:20	1.61	1.08	1.00
231	CONDUIT	276.26	0	00:23	1.11	1.08	1.00
232	CONDUIT	1823.16	0	00:52	7.14	1.08	1.00

Fonte: Autor (2021)

O perfil longitudinal dos trechos críticos da Sub-bacia 01 encontram-se na Figura 31 e correspondem a Avenida Agostinho Martins, no bairro Central. A vazão nos nós encontra-se entre 1177,02 LPS e 2665 LPS, os trechos apresentam velocidade entre 3,85 m/s e 9,41 m/s, diâmetro de 600 mm e o fluxo dos trechos são conforme mostra a Figura 32.

Figura 31 - Perfil longitudinal trecho Sub-bacia 01



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Figura 32 - Fluxo dos trechos Sub-bacia 01

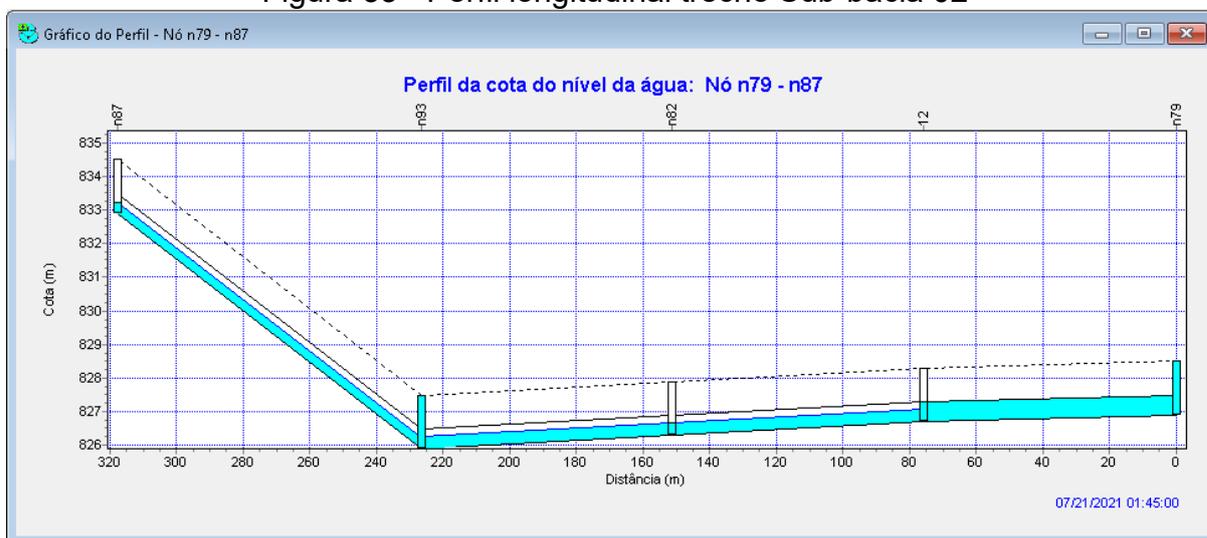
 Sintese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
192	CONDUIT	1177.02	0 01:02	4.67	1.08	1.00
193	CONDUIT	1195.87	0 01:03	5.33	0.95	0.77
194	CONDUIT	1194.11	0 01:03	5.74	0.86	0.71
195	CONDUIT	1585.81	0 00:59	6.20	1.08	1.00
196	CONDUIT	1597.03	0 01:01	8.08	0.82	0.69
197	CONDUIT	2665.00	0 02:11	10.28	1.08	0.95

Fonte: Autor (2021)

O perfil longitudinal dos trechos críticos da Sub-bacia 02 encontram-se na Figura 33 e correspondem a Rua Gustavo de Lima. A vazão nos nós encontra-se entre 315,38 LPS e 933,53 LPS, os trechos apresentam velocidade entre 1,12 m/s e 6,18 m/s, diâmetro de 600 mm e o fluxo dos trechos são conforme mostra a Figura 34.

Figura 33 - Perfil longitudinal trecho Sub-bacia 02



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Figura 34 - Fluxo dos trechos Sub-Bacia 02

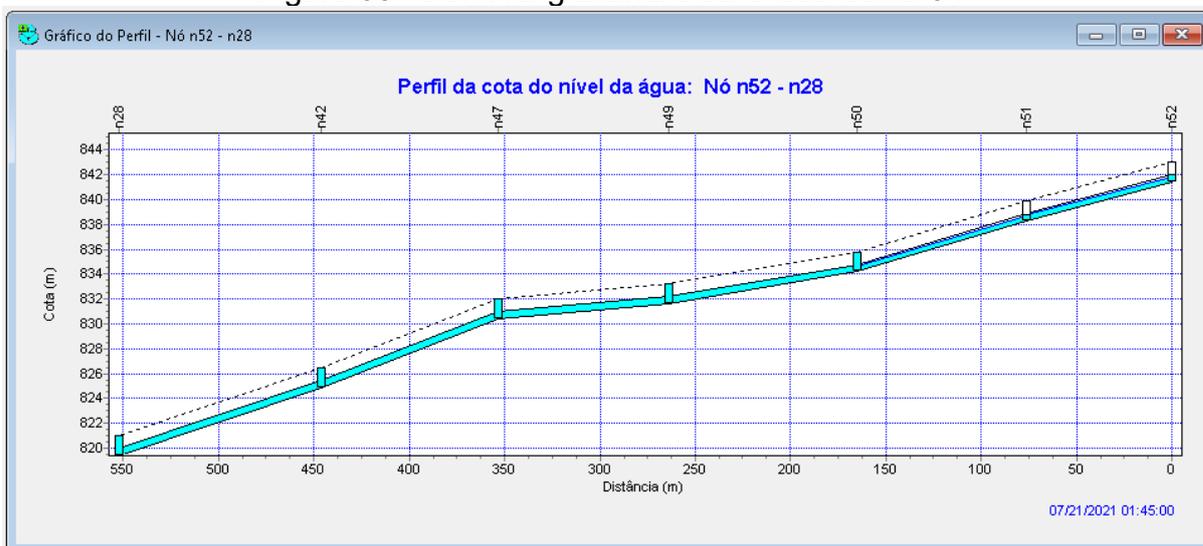
 Sintese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
240	CONDUIT	347.52	0 00:35	1.94	0.78	0.65
241	CONDUIT	341.34	0 00:34	1.61	1.08	1.00
286	CONDUIT	1039.93	0 02:10	6.37	0.61	0.56
296	CONDUIT	342.00	0 00:35	1.89	0.76	0.65

Fonte: Autor (2021)

O perfil longitudinal dos trechos críticos da Sub-bacia 04 encontram-se na Figura 35 e correspondem a Rua Joaquim Neto. A vazão nos nós encontra-se entre 769 LPS e 1615 LPS, os trechos apresentam velocidade entre 4,95 m/s e 5,28 m/s, diâmetro de 600 mm e o fluxo dos trechos são conforme mostra a Figura 36.

Figura 35 - Perfil longitudinal trecho Sub-bacia 04



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Figura 36 - Fluxo dos trechos Sub-bacia 04

 Sintese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
224	CONDUIT	1515.45	0 00:54	5.96	1.08	1.00
225	CONDUIT	1615.35	0 00:56	6.31	1.08	1.00
226	CONDUIT	769.16	0 00:24	3.03	1.08	1.00
251	CONDUIT	1220.00	0 00:40	5.47	0.92	0.75
252	CONDUIT	1078.30	0 00:36	4.28	1.08	1.00
258	CONDUIT	1221.33	0 00:40	5.25	0.99	0.80

Fonte: Autor (2021)

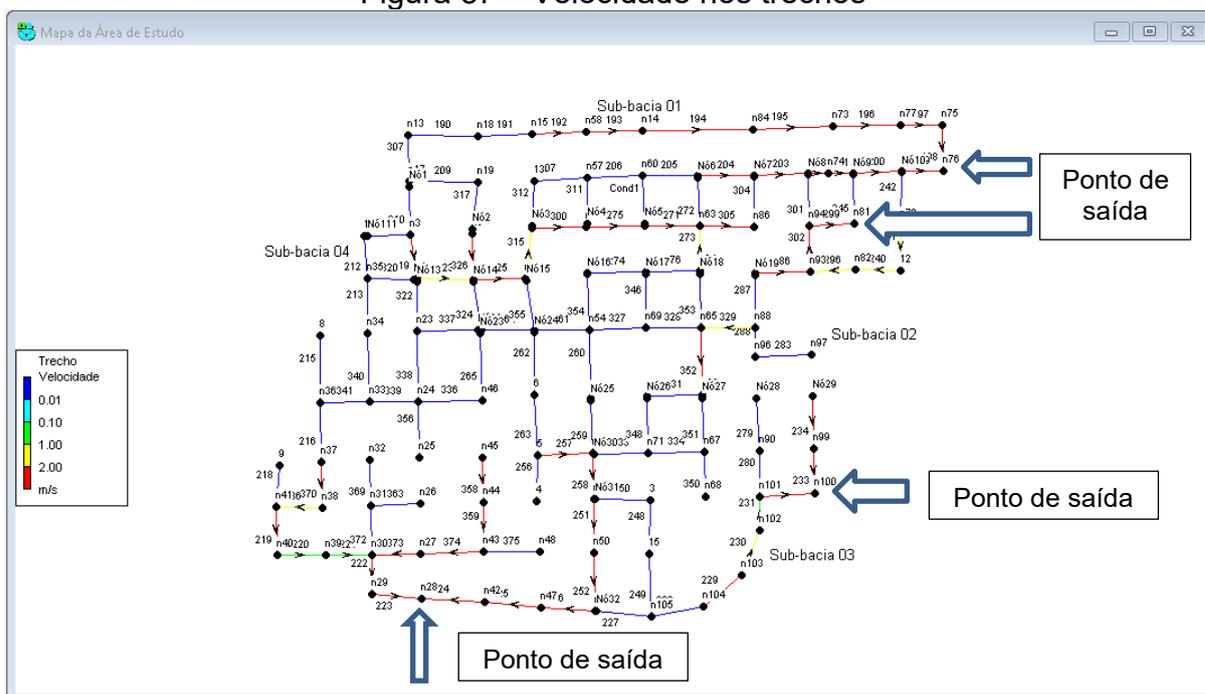
5.2 Velocidade

Para a análise das velocidades de escoamento nos condutos do sistema de drenagem da cidade de Goiandira, são apresentados os resultados obtidos nas Figura 37.

Segundo Francischet (2012) a velocidade mínima de escoamento a seção plena é de 0,75 m/s, para evitar o acúmulo de sedimentos e a velocidade máxima de escoamento é de 5,0 m/s para evitar desgastes e erosões, evitando o comprometimento da estrutura dos coletores.

Foram encontrados trechos onde a velocidade ultrapassa 5,0m/s durante o momento crítico do modelo, estes estão ilustrados em vermelho na Figura 37.

Figura 37 – Velocidade nos trechos



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

Comparando-se as Figuras 26, 27, 28 e 29 percebe-se que os maiores picos de vazão em momentos de forte precipitação ocorre nos trechos com maior velocidade do escoamento superficial, ou seja, nos trechos com maior declividade, porém, devido esses trechos e nós possuírem também as maiores profundidades, não ocorrem alagamentos nos mesmos.

As velocidades podem, por vezes, a critério do projetista, ultrapassar a velocidade limite de 5,0 m/s.

Entretanto, apesar das velocidades máximas de alguns trechos ultrapassarem o limite, em um primeiro momento não há a necessidade de se sugerir alterações ao projeto, sabendo-se que a topografia nos pontos apresenta considerável declive.

Além disso, para a presente simulação foi utilizado um alto valor de período de retorno, de 20 anos, sendo um valor consideravelmente maior que os usualmente utilizados para o dimensionamento desses tipos de redes de drenagem, incitando a ocorrência de um evento chuvoso raro, com baixa probabilidade de causar danos à estrutura das tubulações.

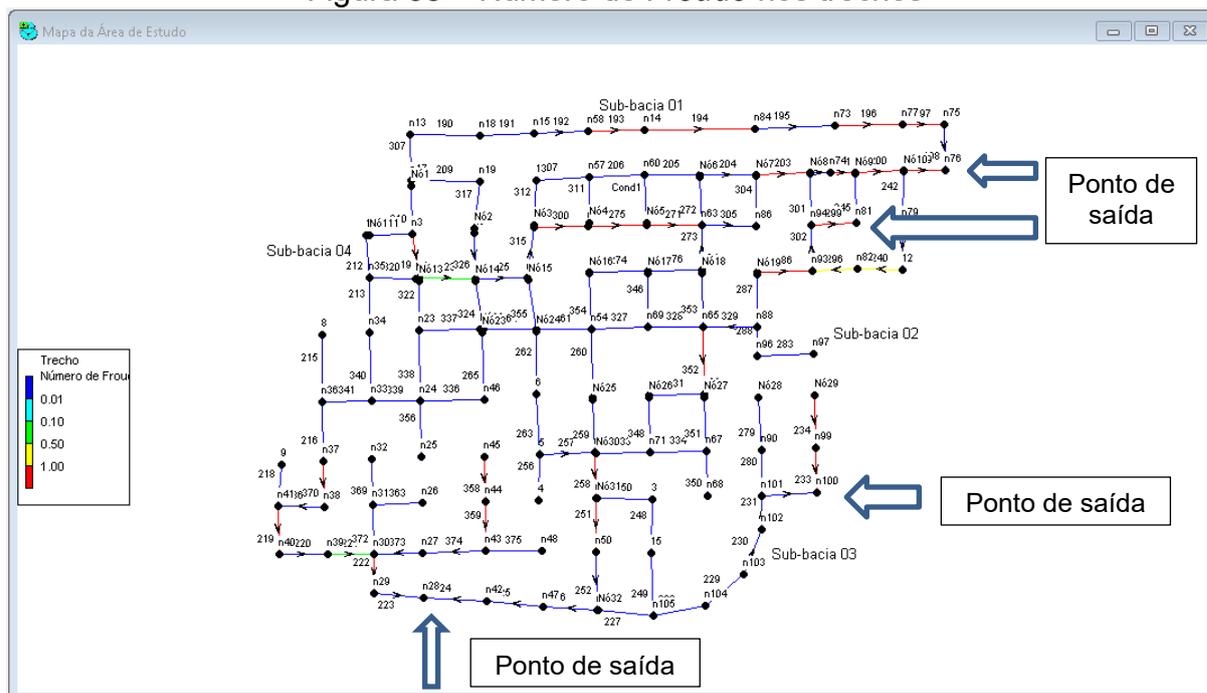
5.3 Número de Froude

Foi observado alguns trechos com o escoamento subcrítico e outros supercríticos. Isto significa que nos trechos com escoamentos subcríticos

acontecimentos a jusante podem interferir no escoamento a montante do trecho em questão, enquanto que nos trechos com escoamento supercrítico os acontecimentos a jusante em nada interferem no escoamento a montante do trecho (PMSP, 1999).

Foi observado ainda que a medida que o evento chuvoso termina, ocorria uma diminuição dos valores encontrados para estes números.

Figura 38 – Número de *Froude* nos trechos



Fonte: Adaptação do Autor (2021)

6 Considerações Finais

Devido à falta de domínio prévio do programa escolhido para as simulações, o *SWMM*, durante a etapa de aprendizado e familiarização do programa computacional foi verificada a escassez de informações, principalmente na literatura nacional, a respeito da maneira de elaboração dos modelos hidrológicos no programa. Para a plena conclusão dos objetivos propostos, foi preciso a realização de tentativas empíricas, auxiliadas pelo manual do usuário da própria ferramenta computacional, elaborado por Rossman (2010). Também existiu a preocupação, durante a realização deste trabalho, em elucidar a metodologia aplicada de maneira mais clara possível, auxiliando futuros trabalhos.

Assim como foi apresentado nos resultados encontrados, verificou-se que as principais propriedades de escoamento – vazão, velocidade e profundidade –,

demonstraram bons indicativos da metodologia, porém a falta de variáveis tornou os resultados grosseiros e passíveis de aprofundamento de pesquisa.

Foi observado ainda, que em alguns poços de visitas – chamados pelo *SWMM* de ‘nós’ - ocorre transbordamento do volume de água, alguns trechos recebem sobrecarga, ou seja, a água ocupa toda a seção da tubulação funcionando como condutos forçados e em relação ao número de *Froude*, percebeu-se a predominância de um regime supercrítico.

Finalmente, conclui-se que os objetivos propostos para este trabalho de conclusão de curso foram alcançados. Apresentando um aprofundamento nos assuntos pertinentes ao estudo em drenagem pluvial urbana, assim como, com o domínio adquirido do software *SWMM* foi possível a realização dos modelos elaborados através de simulações bem-sucedidas. Além disso, foi possível analisar criticamente os resultados gerados e concluir que a rede de drenagem pluvial que escoar pela cidade de Goiandira necessita de melhorias para o total atendimento do evento chuvoso estipulado.

Para futuros trabalhos recomenda-se:

- Utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para otimizar e melhorar as caracterizações dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica;
- Avaliação das outras possibilidades de modelagem oferecida pelo *SWMM* (método *Green-Ampt*, método de *Horton*, onda dinâmica, entre outras);
- Levantamento de dados da rede de drenagem em conjunto com a Prefeitura Municipal de Goiandira.

Referências

ANDRADE, Samuel Lacerda de. Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. 2011. 61 f. TCC (Graduação), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 14 set. 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades. Plano diretor e saneamento ambiental. In: Plano Diretor Participativo: Guia para a elaboração pelos municípios e cidadãos. Brasília, DF, 2004. 160 p. Disponível em: www.cidades.gov.br. Acesso em: 16 set. 2021.

CAIXETA, Ana Clara Mendes. Simulações Computacionais para estimativa da influência do crescimento urbano na formação de zonas inundáveis adjacentes ao córrego do Monjolo, em Patos de Minas. 2013. 227 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

CAMBEZ, Maria João; PINHO, João; DAVID, Luís Mesquita. Modelação Matemática de um sistema de drenagem urbana com o SWMM. In: 13º Encontro Nacional de Saneamento Básico, 2008, Portugal. Anais. 2008. p. 1 - 15. Disponível em: <http://repositorio.lnec.pt:8080/bitstream/123456789/1002996/1/C_T2_H_LuisMesquitaDavid-13%C2%BAENASB.pdf>. Acesso em: 25 set. 2021.

COLLODEL, M. G. Aplicação do modelo hidrológico SWMM na Avaliação de Diferentes Níveis de Detalhamento da Bacia Hidrográfica Submetida ao Processo de Transformação Chuva-Vazão. 146 p. 2009. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009.

COSTA, Maria Elisa Leite. Monitoramento e Modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do lago Paranoá. 2013. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

Drenagem Urbana. 2010. Disponível em: <<http://drenagemurbana1.blogspot.com/>>. Acesso em: 13 set. 2021.

Equipe da Defesa Civil de São Bernardo do Campo, SP. Enchente, Inundação, Alagamento ou Enxurrada? 2011. Disponível em: <<http://dcsbcsp.blogspot.com/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>>. Acesso em: 14 set. 2021.

LÉO ARCOVERDE (São Paulo). Repasses do Ministério das Cidades para prevenção a enchentes caem 8%. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao->

paulo/noticia/2018/10/19/repasses-do-ministerio-das-cidades-para-prevencao-a-enchentes-caem-8.ghtml>. Acesso em: 05 set. 2021.

LOU, Rodrigo Furtado. Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do rio Piabinha/RJ. 2010. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MATOS, José de Saldanha. Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano. Revista Engenharia Civil, Lisboa, v. 16, p.13-23, jun. 2013. Semestral. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num16/Pag%2013-23.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2021.

NOGUEIRA, Tallita Pereira Nakanami. Mapeamento da Suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do ribeirão da Fábrica, município de Patos de Minas/MG. 2017. 141 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

ROSSMAN, L. A. Storm water management model User's manual Version 5.0. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency, 2010. 285 p.

SARTORI, Anderson; LOMBARDI NETO, Francisco; GENOVEZ, Abel Maia. 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. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Campinas, v. 10, n. 4, p.1-14, 09 ago. 2005. Semestral. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=26&SUMARIO=440&ST=classificacao_hidrologica_de_solos_brasileiros_para_a_estimativa_da_chuva_excedente_com_o_metodo_do_servico_de_conservacao_do_solo_dos_estados_unidos_parte_1_classificacao>. Acesso em: 29 set. 2021.

SHINMA, Taís Arriero. Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e bacia hidrográfica. In: M., Tucci C. E. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 1997. Cap.2. p. 35-52.

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. 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>>. Acesso em: 27 set. 2021.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. Gestão da Drenagem Urbana no Brasil: Desafios para a Sustentabilidade. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (gesta), Alagoas, v. 1, n. 1, p.57-72. 2013. Disponível em:

<<https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7105>>. Acesso em: 05 set. 2021.

SOUZA, C. S.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, p. 9-18, Abr/Jun, 2012.

TASSINARI, Lucas Camargo da Silva. Dimensionamento de Sistemas de Drenagem Pluvial utilizando métodos de baixo impacto. 2014. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

TOMAZ, Plínio. Capítulo 12 - Infiltração usando o Método do número da curva CN do SCS. In: TOMAZ, Plínio. Infiltração e dry well. São Paulo: Novatec, 2011. p. 14. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_infiltracao/capitulo128.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

TUCCI, Carlos E.M. (2008). “*Águas Urbanas*”. Estudos Avançados. 22 (63). Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07.pdf>> Acesso em: 10 set. 2021

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. In. Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L. e Barros, M. T. Drenagem urbana. Porto Alegre, RS: ABRH, 1995. Editora da Universidade. UFRGS

TUCCI, Carlos E. M.. Modelos Hidrológicos. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p.

TUCCI, C.E.M. Controle de Enchentes. In: M., Tucci C. E. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 1997. Cap. 16. p. 621-658.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. Hidrologia Aplicada. Porto Alegre: McGraw Hill do Brasil, 1975. 239 p.

Apêndice A – Dados de entrada dos nós

Nº DE ORDEM	Trecho			Extensão (m)	Cotas		Declividades (m/m)	ÁREAS (ha)	
	Nó Inicial	Nó Final	Conduto		Montante	Jusante		montante	jusante
1	n13	n18	190	114,73	854,9	853,6	0,011	0	0,45
2	n18	n15	191	91,28	853,6	850,4	0,035	0,1425	0,4747
3	n15	n58	192	88,9	850,4	847,6	0,031	0,3655	0,6825
4	n58	n14	193	96,21	847,6	843,7	0,041	0	0,3537
5	n14	n84	194	167,9	843,7	834,2	0,057	0	0,6694
6	n84	n73	195	117,9	834,2	826,7	0,064	0	0,4203
7	n73	n77	196	113,47	826,7	815,4	0,100	0,5448	0,9794
8	n77	n75	197	70,82	815,4	804,2	0,158	0	0,2784
9	n75	n76	198	36,5	804,2	802,9	0,036	0,3914	0,4804
10	n76	n78	199	107,9	802,9	814,4	0,107	0,1233	0,8794
11	n78	n80	200	91,86	814,4	822,4	0,087	0	0,5394
12	n80	n74	201	88,31	822,4	826,4	0,045	0	0,5294
13	n74	n95	202	94,05	826,4	828,9	0,027	0,7855	1,423
14	n95	n85	203	92,5	828,9	834,6	0,062	0,8775	1,4951
15	n85	n62	204	76,99	834,6	840,7	0,079	0	0,5526
16	n62	n60	205	78,7	840,7	844	0,042	1,2174	1,7979
17	n60	n57	206	74,36	844	845,9	0,026	0,7182	1,1713
18	n57	13	207	80,2	845,9	850,9	0,062	0,5741	1,1283
19	13	n19	208	70,77	850,9	854,7	0,054	0	0,267
20	n19	n17	209	37,14	854,7	855,4	0,019	0	0,0865
21	n17	n3	210	77,26	855,4	855,5	0,001	0	0,3057
22	n3	1	211	106,16	855,5	855,6	0,001	0	0,7247
23	1	n35	212	91,84	855,6	854,4	0,013	0	0,5438
24	n35	n34	213	88,5	854,4	852,4	0,023	0	0,5194
25	n34	8	214	186,92	852,4	850,9	0,008	0	1,3143
26	8	n36	215	90,26	850,9	846,9	0,044	0	0,5667
27	n36	n37	216	91,88	846,9	840,4	0,071	0	0,5653
28	n37	9	217	74,82	840,4	838,4	0,027	0	0,4705
29	9	n41	218	84,14	838,4	833,4	0,059	0	0,5232
30	n41	n40	219	80,03	833,4	826,4	0,087	0	0,5749
31	n40	n39	220	106,1	826,4	824,9	0,014	0	0,7583
32	n39	n30	221	91,84	824,9	827,9	0,033	0	0,5773
33	n30	n29	222	88,27	827,9	821,9	0,068	0	0,5688
34	n29	n28	223	186,92	821,9	819,4	0,013	0	1,3341
35	n28	n42	224	90,64	819,4	824,9	0,061	0	0,6051
36	n42	n47	225	91,4	824,9	830,4	0,060	0	0,6182
37	n47	n49	226	74,52	830,4	831,6	0,016	0	0,5365
38	n49	n105	227	81,82	831,6	830,2	0,017	0,7502	1,0372
39	n105	n104	228	91,08	830,2	827,4	0,031	0	0,118
40	n104	n103	229	81,92	827,4	824,6	0,034	0	0,3713
41	n103	n102	230	106,17	824,6	824,3	0,003	0	0,4758
42	n102	n101	231	91,62	824,3	824,2	0,001	0	0,3543
43	n101	n100	232	88,63	824,2	817,4	0,077	0	0,353
44	n100	n99	233	93,96	817,4	821,4	0,043	0	0,4306
45	n99	n91	234	93,03	821,4	824,4	0,032	0	0,418
46	n91	n97	235	89,88	824,4	825,9	0,017	0	0,346
47	n97	n98	236	92,38	825,9	819,4	0,070	0	0,498
48	n98	n83	237	80,27	819,4	821,4	0,025	0	0,4231
49	n82	12	240	80,1	819,9	815,4	0,056	0	0,5226
50	n79	12	241	66,36	812,4	815,4	0,045	0	0,3402
51	n78	n79	242	96,42	814,4	812,4	0,021	0	0,083
52	n77	n78	243	82,06	815,4	814,4	0,012	0	0,097
53	n73	n74	244	97,05	826,7	826,4	0,003	0	0,139
54	n80	n81	245	86,11	822,4	820,4	0,023	0	0,1265
55	n101	n68	246	92,9	824,2	832,4	0,088	0	0,1115
56	n68	3	247	90,17	832,4	835,4	0,033	0	0,0952

57	3	15	248	91,47	835,4	832,9	0,027	0	0,0864
58	15	n105	249	80,64	832,9	830,2	0,033	0	0,0826
59	3	n51	250	82,64	835,4	838,3	0,035	0	0,254
60	n51	n50	251	81,06	838,3	834,2	0,051	0	0,2652
61	n50	n49	252	82,01	834,2	831,6	0,032	0	0,2791
62	n51	4	253	106,23	838,3	838,5	0,002	0	0,3988
63	4	n48	254	91,72	838,5	833,4	0,056	0	0,307
64	n48	n47	255	88,4	833,4	830,4	0,034	0	0,3003
65	4	5	256	94,12	838,4	844,4	0,064	0	0,3484
66	5	n52	257	93,3	844,4	841,4	0,032	0	0,3382
67	n52	n51	258	75,94	841,4	838,3	0,041	0	0,3066
68	n52	n53	259	76,35	841,4	845,9	0,059	0	0,4718
69	n53	n54	260	81	845,9	848,6	0,033	0	0,5139
70	n54	7	261	82,14	848,6	851,5	0,035	0	0,5394
71	7	6	262	106,26	851,5	849,3	0,021	0	0,7128
72	6	5	263	92,15	849,3	844,4	0,053	0	0,5424
73	7	n22	264	88,25	851,5	853,3	0,020	0	0,3029
74	n22	n46	265	93,82	853,3	849,9	0,036	0	0,35
75	n46	n45	266	181,9	849,9	844,9	0,027	0,1215	1,6039
76	n45	5	267	96,96	844,9	844,4	0,005	2,8594	3,0484
77	n84	n85	268	89,33	834,2	834,6	0,004	0,138	0,432
78	n14	n60	269	75,37	843,7	844	0,004	0	0,408
79	n60	n61	270	82,14	844	844,2	0,002	0	0,499
80	n63	n61	271	106,1	840,4	844,2	0,036	0	0,6773
81	n63	n62	272	77,58	840,4	843,7	0,043	0	0,5809
82	n61	n56	273	82,64	844,2	834,2	0,121	0,3079	0,6579
83	n56	n55	274	106,51	854,9	826,7	0,265	0,5934	1,0854
84	n55	n72	275	106,51	853,6	815,4	0,359	1,2583	1,694
85	n72	n64	276	82,46	850,4	804,2	0,560	1,523	1,743
86	n63	n64	277	170,41	847,6	802,9	0,262	0,9595	2,3095
87	n18	n46	278	60,45	843,7	814,4	0,485	0,254	0,3456
88	n15	n45	279	84,42	834,2	822,4	0,140	0,0916	0,2296
89	n58	5	280	114,69	826,7	826,4	0,003	0,118	0,6737
90	n14	n85	281	97,01	815,4	828,9	0,139	0,6387	1,0973
91	n84	n78	282	74,08	804,2	834,6	0,410	0,7238	0,8978
92	n73	n80	283	84,42	802,9	840,7	0,448	0,6458	0,8414
93	n77	n74	284	108,01	814,4	844	0,274	0,8976	1,1082
94	n75	n95	285	76,38	822,4	845,9	0,308	0,3057	0,4042
95	n76	n79	286	91,16	826,4	850,9	0,269	0,6734	0,7849
96	n72	n78	287	115,05	828,9	854,7	0,224	0,4828	1,2643
97	n63	n74	288	97,15	834,6	855,4	0,214	0,8785	1,5415
98	n18	n81	289	74,15	840,7	855,5	0,200	0,9421	1,0502
99	n13	n68	290	84,42	844	855,6	0,137	0,6475	0,7741
100	n18	3	291	61,6	845,9	854,4	0,138	0,1266	0,2239
101	n15	n18	292	76,43	850,9	852,4	0,020	0	0,1233
102	n58	n15	293	78,99	854,7	850,9	0,048	0,1233	0,2517
103	n14	n58	294	76,44	855,4	846,9	0,111	0,1284	0,2384
104	n84	n14	295	91,4	855,5	840,4	0,165	0,8683	1,0017
105	n73	n84	296	114,61	855,6	838,4	0,150	0,6092	1,5408
106	n77	n73	297	96,84	854,4	833,4	0,217	1,0706	1,8545
107	n75	n77	298	74,64	852,4	826,4	0,348	1,1827	1,2797
108	n76	n75	299	84,42	850,9	853,6	0,032	0,8098	0,9306
109	n78	n76	300	72,67	846,9	850,4	0,048	1,2971	1,4019
110	n80	n78	301	76,81	840,4	847,6	0,094	0,9191	1,0616
111	n74	n80	302	85,26	838,4	843,7	0,062	0	0,163
112	n95	n74	303	76,44	833,4	834,2	0,010	0,7247	0,8662
113	n85	n95	304	91,27	826,4	826,7	0,003	0,1415	0,3175
114	n62	n85	305	201,02	824,9	815,4	0,047	0,176	1,2635
115	n60	n62	306	75	827,9	804,2	0,316	1,3945	1,538
116	n57	n60	307	84,42	821,9	802,9	0,225	0,1435	0,3045
117	13	n57	308	81,85	819,4	814,4	0,061	0,7419	0,8996

118	n19	13	309	77,22	824,9	822,4	0,032	0,7734	0,9964
119	n17	n19	310	85	830,4	826,4	0,047	0	0,234
120	n3	n17	311	76,44	831,6	828,9	0,035	0,5438	0,7626
121	1	n3	312	91,76	830,2	834,6	0,048	0,7961	1,0568
122	n35	1	313	210,56	827,4	840,7	0,063	0,615	2,525
123	n34	n35	314	75,29	824,6	844	0,258	1,91	2,1224
124	8	n34	315	173,94	824,3	845,9	0,124	0,7548	1,7931
125	n36	8	316	77,67	824,2	850,9	0,344	0,317	0,4408
126	n37	n36	317	83,52	817,4	854,7	0,447	0,647	0,7793
127	9	n37	318	76,99	821,4	855,4	0,442	0	0,1276
128	n41	9	319	92,56	824,4	855,5	0,336	0,5688	0,7191
129	n40	n41	320	211,52	825,9	855,6	0,140	0,5033	2,1573
130	n39	n40	321	74,15	819,4	854,4	0,472	1,9543	2,0672
131	n30	n39	322	182,32	819,9	852,4	0,178	0,4158	1,9388
132	n29	n30	323	78,12	812,4	850,9	0,493	0,3537	0,4707
133	n28	n29	324	83,23	814,4	846,9	0,390	0	0,123
134	n42	n28	325	79,25	815,4	840,4	0,315	0	0,1188
135	n47	n42	326	112,04	826,7	838,4	0,104	0,5494	1,4716
136	n49	n47	327	98,11	822,4	833,4	0,112	1,0487	1,8353
137	n105	n49	328	74,17	824,2	826,4	0,030	1,135	1,2403
138	n104	n105	329	190,73	832,4	824,9	0,039	0,4553	1,4148
139	n103	n104	330	82,95	835,4	827,9	0,090	0,6176	0,7526
140	n102	n103	331	78,14	832,9	821,9	0,141	1,4493	1,5823
141	n101	n102	332	93,75	835,4	819,4	0,171	1,4671	1,6101
142	n100	n101	333	111,08	838,3	824,9	0,121	0,561	1,4473
143	n99	n58	334	96,09	834,2	830,4	0,040	0,9978	1,7428
144	n91	n14	335	74,15	838,3	831,6	0,090	1,0832	1,2047
145	n97	n84	336	93,7	838,5	830,2	0,089	0,6694	1,1344
146	n98	n73	337	68,45	833,4	827,4	0,088	0	0,1998
147	n82	n77	338	78,72	838,4	824,6	0,175	0,5667	0,7721
148	n79	n75	339	93,83	844,4	824,3	0,214	0,8105	1,0636
149	n78	n76	340	110,06	841,4	824,2	0,156	0,5991	1,2272
150	n77	n78	341	169,51	841,4	817,4	0,142	1,0299	2,3159
151	n73	n80	342	221,3	845,9	821,4	0,111	1,35	2,5734
152	n80	n74	343	90,4	848,6	824,4	0,268	0	0,1377
153	n101	n77	344	74,06	851,5	825,9	0,346	0,5653	0,6598
154	n68	n75	345	93,82	849,3	819,4	0,319	0,7127	0,8367
155	n30	n77	346	46,54	851,5	821,4	0,647	0,622	0,682
156	n29	n75	347	63,78	853,3	815,4	0,594	0,5826	0,6611
157	n28	n76	348	165,82	849,9	815,4	0,208	0,1649	0,3879
158	n42	n78	349	73,16	844,9	812,4	0,444	0	0,1245
159	n47	n80	350	88,95	834,2	814,4	0,223	0	0,121
160	n49	n74	351	62,12	843,7	826,4	0,278	0,4705	0,561
161	n105	n77	352	93,82	844	820,4	0,252	0	0,1232
162	n104	n77	353	45,2	840,4	832,4	0,177	0,4231	0,4866
163	n103	n77	354	65,16	840,4	835,4	0,077	0,4037	0,5036
164	n102	n77	355	79,48	835,4	824,9	0,132	0,4346	0,5452
165	n101	n79	356	88,08	838,3	830,4	0,090	0,6648	0,7783
166	n100	n97	357	76,51	834,2	831,6	0,034	0,6367	0,7287
167	n99	n98	358	93,86	838,3	830,2	0,086	0,267	0,38
168	n91	n82	359	81,15	838,3	827,4	0,134	0,089	0,213

Apêndice B – Dados de entrada sub-bacias

nº de ordem nó	nó	Área sub-bacia	Largura	Áreas	Cota radier
		(m²)	(m)	(ha)	
1	181	39998,265	820	3,999827	916,5
2	185	39998,265	820	3,999827	916,5
3	194	5347,9505	91,788	0,534795	912,816
4	195	5347,9505	91,788	0,534795	912,816
5	204	5432,237	93,325	0,543224	909,2
6	208	5432,237	93,325	0,543224	909,3
7	250	5182,838	90,146	0,518284	906
8	244	5182,838	90,146	0,518284	906
9	258	5763,7215	99,304	0,576372	901,949
10	92	5763,7215	99,304	0,576372	902
11	102	4935,387	86,086	0,493539	898,6
12	104	4935,387	86,086	0,493539	898,65
13	74	5609,1295	94,231	0,560913	894,8
14	68	5609,1295	94,231	0,560913	895
15	149	9302,765	273,11	0,930277	911,7
16	150	9302,765	273,11	0,930277	911,6
17	64	31367,205	736	3,136721	909,5
18	62	31367,205	736	3,136721	909,4
19	61	5812,283	102,23	0,581228	906,5
20	59	5812,283	102,23	0,581228	906,2
21	56	4613,156	82,89	0,461316	902,9
22	57	4613,156	82,89	0,461316	902,85
23	122	5454,292	97,601	0,545429	899
24	117	5454,292	97,601	0,545429	898,9
25	230	33042,095	555,654	3,30421	892,8
26	231	33042,095	555,654	3,30421	892,754
27	86	10037,266	179,26	1,003727	892,4
28	87	10037,266	179,26	1,003727	892,3
29	80	4527,6675	79,7	0,452767	892,1
30	79	4527,6675	79,7	0,452767	892,1
31	125	6015,424	104,5	0,601542	887,5
32	123	6015,424	104,5	0,601542	887,4

Anexo A – Parte do relatório da simulação no SWMM

 Síntese da Inundação no Nó

Inundação se refere a toda água que transborda um nó, alagando ou não.

Nó	Horas Inundação	Vazão	Instante Max	Volume Total Inundado	Volume Máximo Alagado
		Maxima LPS	Ocorrência dia h:min		
n5	1.14	345.64	0 02:10	0.777	0.000
n7	1.72	1287.35	0 02:03	5.505	0.000
n9	1.96	1195.63	0 02:10	6.371	0.000

n15	1.33	886.53	0	02:10	2.376	0.000
n27	1.70	344.34	0	00:52	1.604	0.000
n29	1.75	1201.78	0	02:10	4.864	0.000
n38	1.82	1393.27	0	02:10	5.481	0.000
n39	0.02	10.86	0	02:17	0.000	0.000
n40	1.91	268.57	0	00:30	1.557	0.000
n42	1.56	214.82	0	00:56	0.564	0.000
n43	1.50	908.74	0	02:10	2.952	0.000
n45	0.36	175.77	0	02:10	0.132	0.000
n47	1.50	906.83	0	02:10	2.791	0.000
n49	1.94	2329.61	0	02:10	11.145	0.000
n50	1.70	223.33	0	00:40	0.730	0.000
n62	1.12	835.41	0	02:10	1.816	0.000
n63	1.67	1400.49	0	02:10	4.975	0.000
n64	1.74	1564.13	0	02:10	5.979	0.000
n75	1.85	1858.89	0	02:10	9.625	0.000
n77	0.80	302.35	0	02:10	0.475	0.000
n78	0.68	199.42	0	02:10	0.276	0.000
n79	1.70	663.74	0	02:10	2.428	0.000
n84	1.38	520.93	0	02:10	1.687	0.000
n85	1.14	155.70	0	01:20	0.175	0.000
n88	1.73	1018.15	0	02:10	3.833	0.000
n93	1.51	567.74	0	02:10	1.766	0.000
n95	1.66	2271.19	0	02:10	9.073	0.000
n101	1.49	1674.34	0	02:10	5.110	0.000
n102	2.05	151.58	0	00:24	0.873	0.000
n103	1.96	848.64	0	00:41	4.834	0.000
n104	1.61	1963.77	0	02:10	6.727	0.000
2	0.60	65.86	0	02:10	0.071	0.000
5	1.67	2268.03	0	02:10	8.054	0.000

 Síntese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
190	CONDUIT	0.00	0 00:00	0.00	0.00	0.00
191	CONDUIT	0.00	0 00:00	0.00	0.00	0.00
192	CONDUIT	1177.02	0 01:02	4.67	1.08	1.00
193	CONDUIT	1195.87	0 01:03	5.33	0.95	0.77
194	CONDUIT	1194.11	0 01:03	5.74	0.86	0.71
195	CONDUIT	1585.81	0 00:59	6.20	1.08	1.00
196	CONDUIT	1597.03	0 01:01	8.08	0.82	0.69
197	CONDUIT	2665.00	0 02:11	10.28	1.08	0.95
198	CONDUIT	866.09	0 00:26	3.47	1.08	1.00
199	CONDUIT	2699.24	0 02:11	10.41	1.07	0.93
200	CONDUIT	1866.64	0 00:40	8.06	0.96	0.78
201	CONDUIT	1876.18	0 00:40	8.00	0.98	0.79
202	CONDUIT	1839.25	0 00:40	7.12	1.08	1.00
203	CONDUIT	1669.00	0 01:04	6.56	1.08	0.94
204	CONDUIT	1698.65	0 01:20	6.66	1.08	1.00
205	CONDUIT	0.00	0 00:00	0.00	0.00	0.00
206	CONDUIT	0.00	0 00:00	0.00	0.00	0.00

207	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
209	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
210	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
211	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
212	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
213	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
215	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
216	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
218	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
219	CONDUIT	484.29	0	00:30	5.32	0.29	0.37
220	CONDUIT	233.25	0	02:17	0.96	1.08	1.00
221	CONDUIT	231.07	0	02:17	0.97	1.04	0.88
222	CONDUIT	833.97	0	00:35	5.80	0.53	0.52
223	CONDUIT	1160.20	0	00:32	4.53	1.08	1.00
224	CONDUIT	1515.45	0	00:54	5.96	1.08	1.00
225	CONDUIT	1615.35	0	00:56	6.31	1.08	1.00
226	CONDUIT	769.16	0	00:24	3.03	1.08	1.00
227	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
228	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
229	CONDUIT	1224.99	0	00:41	4.89	1.08	1.00
230	CONDUIT	407.08	0	02:20	1.61	1.08	1.00
231	CONDUIT	276.26	0	00:23	1.11	1.08	1.00
232	CONDUIT	1823.16	0	00:52	7.14	1.08	1.00
233	CONDUIT	679.92	0	02:10	4.97	0.48	0.49
234	CONDUIT	680.24	0	02:10	4.19	0.61	0.56
240	CONDUIT	347.52	0	00:35	1.94	0.78	0.65
241	CONDUIT	341.34	0	00:34	1.61	1.08	1.00
242	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
245	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
248	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
249	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
250	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
251	CONDUIT	1220.00	0	00:40	5.47	0.92	0.75
252	CONDUIT	1078.30	0	00:36	4.28	1.08	1.00
256	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
257	CONDUIT	1206.04	0	00:39	4.86	1.08	1.00
258	CONDUIT	1221.33	0	00:40	5.25	0.99	0.80
259	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
260	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
261	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
262	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
263	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
264	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
265	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
271	CONDUIT	312.86	0	02:19	3.70	0.25	0.34
272	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
273	CONDUIT	604.47	0	00:32	2.53	1.08	1.00
274	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
275	CONDUIT	315.99	0	02:18	3.42	0.28	0.36
276	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
279	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
280	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
283	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
286	CONDUIT	1039.93	0	02:10	6.37	0.61	0.56
287	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
288	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
296	CONDUIT	342.00	0	00:35	1.89	0.76	0.65
299	CONDUIT	853.39	0	00:54	5.48	0.60	0.56

315	CONDUIT	322.73	0	00:21	1.33	1.08	1.00
317	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
319	CONDUIT	414.31	0	02:10	2.20	0.75	0.64
320	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
322	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
323	CONDUIT	377.03	0	02:02	1.57	1.08	1.00
324	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
325	CONDUIT	777.67	0	00:33	3.28	1.08	1.00
326	CONDUIT	679.76	0	01:17	2.73	1.08	1.00
327	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
328	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
329	CONDUIT	444.27	0	00:33	2.02	1.08	1.00
331	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
333	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
334	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
336	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
337	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
338	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
339	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
340	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
341	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
346	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
348	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
350	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
351	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
352	CONDUIT	451.26	0	00:33	2.86	0.64	0.57
353	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
354	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
355	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
356	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
358	CONDUIT	1782.27	0	02:10	6.85	1.08	0.95
359	CONDUIT	1754.43	0	02:10	9.08	0.80	0.67
363	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
365	CONDUIT	483.72	0	00:29	2.19	1.08	1.00
369	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
370	CONDUIT	974.58	0	02:10	6.87	0.51	0.50
372	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
373	CONDUIT	617.47	0	00:35	2.62	1.08	1.00
374	CONDUIT	915.01	0	00:52	3.72	1.08	1.00
375	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
300	CONDUIT	315.15	0	02:18	3.15	0.08	0.19
Cond1	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00

 Síntese da Sobrecarga nos Condutos

Condutos	----- Horas (cheio) -----			Horas	Horas
	Ambas Extrem.	Montante	Jusante	Fluxo Acima Normal	Capacid. Limitada
192	1.15	1.33	1.16	1.33	1.33
195	1.20	1.38	1.20	1.38	1.38
197	0.01	0.80	0.01	0.80	0.80
198	1.81	1.85	1.82	1.85	1.85
199	0.01	0.68	0.01	0.67	0.68
202	1.56	1.66	1.56	1.66	1.66
203	0.01	1.14	0.01	1.13	1.14
204	0.84	1.12	0.84	0.27	1.12
220	1.88	1.91	1.89	0.03	1.91
221	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
223	1.70	1.74	1.70	1.74	1.74
224	1.32	1.56	1.32	0.23	1.56
225	1.26	1.50	1.26	1.50	1.50
226	1.92	1.94	1.92	1.94	1.94
229	1.53	1.61	1.53	1.61	1.61
230	1.93	1.96	1.93	0.03	1.96
231	2.02	2.05	2.03	0.03	2.05
232	1.34	1.49	1.34	0.15	1.49
241	1.65	1.70	1.65	1.70	1.70
252	1.64	1.70	1.64	0.05	1.70
257	1.57	1.66	1.58	0.09	1.66
273	1.69	1.74	1.70	1.73	1.74
302	1.31	1.51	1.32	1.51	1.51
305	1.51	1.67	1.52	0.15	1.67
315	1.92	1.96	1.93	1.96	1.96
323	0.12	0.60	0.13	0.58	0.60
325	1.68	1.72	1.68	0.04	1.72
326	0.86	1.14	0.87	0.27	1.14
329	1.68	1.73	1.68	0.04	1.73
358	0.01	0.36	0.01	0.35	0.36
365	1.73	1.82	1.74	0.07	1.82
373	1.65	1.70	1.65	1.70	1.70
374	1.35	1.50	1.35	1.49	1.50