VOLVER AL ÍNDICE

EVOLUÇÃO DO PROGRAMA 'SWMM NBR 9649' PARA SIMULAÇÃO DE REDES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO CONFORME AS VARIÁVEIS DA NORMA BRASILEIRA NBR 9649

Marco Valério de Albuquerque Vinagre (valeriovinagre@gmail.com); Alan Marcel Fernandes de Souza (alanmarcel2@gmail.com); Aline Martinho Trindade Ferreira (alinemartinhotf@gmail.com); Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes (rlrmendes@yahoo.com.br); Miroslawa Luczynski (miroslawa.eng@gmail.com)

Universidade da Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (UNAMA-PPDMU) - Brazil
Universidade da Amazônia, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (UNAMA-CCET) - Brazil
Universidade da Amazônia, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (UNAMA) - Brazil
Universidade Federal do Pará, Núcleo de Meio Ambiente (UFPA - NUMA) - Brazil

Palavras chave: Saneamento, Esgotamento Eanitáio, SWMM, Simulação e Escoamento.

Os sistemas de esgotamento sanitário são sistemas precários em diversas ciudades brasileiras, e esta ausencia pode gerar prejuizos irreparáveis. O motivo da ausencia destes sistemas pode ser justificado de diversas formas como, a existência de medidas individuais e fáceis a serem implantadas (fossas séptcas), desta forma, dificultando a ligação da população com a rede; por serem sistemas mais caros à implantação; por serem sistemas mais complexos na elaboração de cálculos e projetos; e destaca-se a pouca disponibilidade de programas similares a este para simulação de redes de esgoto, comparado aos existentes para redes de abastecimento de água e de águas pluviais.
O programa SWMM (Storm Water Management Model, em português Modelo de Gestão de drenagem Urbana), da Agência Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), possui seu código-fonte aberto e é gratuito. Porém, como é um programa destinado à redes de dreagem de águas pluviais, possui limitações para simulação de redes de esgotamento sanitário - variáveis analisadas pela Norma Brasileira de Projeto de Redes Coletoras de Esgotamento Sanitário, a NBR 9649:1986, quais sejam: tensão trativa, lâmina d´água percentual e velocidade crítica. O SWMM foi aprimorado pelos autores, que incluiram em seu código-fonte as equações das variáveis exigidas pela NBR 9649 e esta pesquisa representa um desenvolvimento neste programa com o aprimoramento do programa para gerar vazões de esgoto ao invés de vazões de chuva.

1. INTRODUÇÃO

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), do Ministério das Cidades, em sua Política Nacional de Saneamento Ambiental (PNSA), definiu saneamento ambiental como o conjunto de ações técnicas e socioeconômicas, entendidas fundamentalmente como de saúde pública, tendo por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, compreendendo o abastecimento de água em quantidade e dentro dos padrões de potabilidade vigentes, o manejo de esgotos sanitários, resíduos sólidos e emissões atmosféricas, a drenagem de águas pluviais, o controle ambiental de vetores e reservatórios de doenças, a promoção sanitária e o controle ambiental do uso e ocupação do solo e prevenção e controle do excesso de ruídos, tendo como finalidade promover e melhorar as condições de vida urbana e rural (BRASIL, 2002).

A ausência de esgotamento sanitário pode significar grandes consequências à população e ao meio ambiente. A contaminação dos recursos hídricos por esgotos lançados sem tratamento pode gerar a eutrofização destes, gerando mortandade de espécies. A saúde da população é afetada, que por consequência afetará a economia tanto do município que terá custos nos postos de saúde, quanto da renda familiar do individuo que se ausentará no trabalho. Desta forma, a falta de saneamento pode significar prejuízos drásticos em uma cidade.

1.1. Sistemas de Esgotamento Sanitário

Segundo Netto (1998), a implantação de um sistema público de abastecimento de água gera a necessidade de coleta, afastamento e disposição final das águas servidas, caracterizado como sistemas de esgotamento sanitário, sendo esses últimos aspectos, juntamente com o primeiro, serviços de insfra-estrutura indispensáveis a toda comunidade civilizada.

As redes coletoras de esgotos alcançam 61,4% da população urbana brasileira, restando 65,1 milhões de pessoas nas cidades do País que não dispõem de sistema coletivo para afastamento dos esgotos sanitários. Nem todo esgoto coletado é conduzido a uma estação de tratamento. A parcela atendida com coleta e tratamento dos esgotos representa 42,6% da população urbana total. Desse modo, 96,7 milhões de pessoas não dispõem de tramento coletivo de esgotos. Os esgotos não coletados têm destinos diversos, como encaminhamento para fossas sépticas ou negras, lançamento em rede de águas pluviais ou em sarjetas, disposição direta no solo ou nos corpos d'água. A solução individual com fossa séptica diminui o impacto do lançamento desses efluentes nos corpos hídricos, quando executada adequadamente e em condições propícias à sua aplicação. (ANA, 2017).

Netto (1998) afirma que o sistema de esgoto sanitário numa comunidade, procura se atingir os seguintes objetivos mais importantes: melhoria das condições higiênicas locais e o consequente aumento da produtividade; conservação de recursos naturais, das águas em especial; coleta e afastamento rápido e seguro do esgoto sanitário; disposição sanitariamente adequada do efluente; eliminação de focos de poluição e contaminação, assim como de aspectos estéticos desagradáveis; proteção de comunidades e estabelecimentos de jusante; e preservação de áreas para lazer e práticas esportivas.

O serviço de esgotamento sanitário, segundo a Lei n.11.445/2007, é constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente. Há Normas específicas para este tipo de sistema como a NBR 9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário, que estabelece condições exigíveis no estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário do tipo separador, e a NBR 9649 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitária, a qual esta pesquisa se baseou e será mais detalhada no item 2.2.1.

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (1999), a partir de 1986 com a divulgação da Norma Brasileira (NBR) 9649 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Brasil passou a ter os mais avançados critérios hidráulicos de dimensionamento de redes coletoras de esgoto, utilizando-se os conceitos de tensão trativa e de velocidade crítica. Também novos órgãos foram propostos em substituição aos poços de visita. Utilizando-se essas inovações tecnológicas e evitando-se a construção de redes profundas para esgotar soleiras baixas, o custo da rede coletora de esgoto foi reduzido em cerca de 40%. Essas inovações surgiram de vários trabalhos desenvolvidos pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), na área de esgotamento sanitário. De acordo com a norma o esgoto em um conduto é admitido, para efeito de cálculo, em regime permanente e uniforme, sob condições não pressurizadas, não são consideradas, portanto,

em cada trecho do conduto, as variações de vazão devido à contribuição do líquido recebida ao longo dele.

1.2. NBR 9649 – Projetos de redes coletoras de esgoto sanitário

A Norma Brasileira NBR 9649 estabelece metodologias de cálculo para o projeto de sistemas de esgotamento sanitário. Essa norma define os conceitos de todas as partes de um sistema de esgotamento sanitário, as condições necessárias para elaboração de projetos, bem como as condições específicas para o dimensionamento hidráulico das redes.

O dimensionamento da rede de esgoto deve atender a todos os critérios preconizados pela NBR 9649:1986, considerando as redes coletoras de esgotamento sanitário como projetadas para operarem sob condições de não-pressurização dos condutos. Para se determinar a contribuição de esgotos é necessário conhecer a população da área para início e final de plano, a contribuição per capita, o coeficiente de retorno esgoto/água e os coeficientes de variação de vazão (TSUTIYA; SOBRINHO, 1999).

Segundo os conceitos de Tsutiya; Sobrinho (1999) e os critérios da NBR 9649, o dimensionamento deverá atender os seguintes parâmetros:

- Vazão mínima considerada para dimensionamento hidráulico: 1,5 l/s.
- Diâmetro mínimo (DN): 100mm.
- A tensão trativa em todos os trechos da rede deve estar acima de 1,0 Pa, calculada para vazão inicial, para o coeficiente de Manning n=0,013, como recomenda a NBR 9649:1986, com isso garante-se as condições de autolimpeza pelo menos uma vez ao dia.
- Declividade Mínima: é a declividade necessária para manutenção das condições de autolimpeza. As canalizações de esgotos serão projetadas com velocidades de escoamento que evitem deposições excessivas de substâncias sólidas minerais que normalmente são transportadas pelo líquido em escoamento. Esta declividade deve satisfazer a condição de tensão trativa, mencionada acima.
- Declividade Máxima: a velocidade máxima do escoamento é função da declividade máxima. Nos condutos de esgoto deve-se evitar que a velocidade ultrapasse certos valores máximos a fim de evitar a ação erosiva de partículas sólidas duras que são transportadas pelo esgoto, em todos os trechos da rede a velocidade deve estar abaixo da velocidade máxima que é 5m/s.
- Lâmina Líquida: recomenda-se para os coletores que a relação de enchimento Y/D seja ≤ 0,75.
- Velocidade crítica: quando a velocidade final é superior a velocidade crítica, a lâmina de água máxima deve ser reduzida para 50% do diâmetro do coletor.
- Poços de Visita: os poços de visita devem ser colocados nos inícios de trecho e nas mudanças de declividade e de direção do escoamento.
- Taxa de infiltração: deve ser adotada entre 0,05 a 1,0 l/s.km.

1.3. SWMM

De acordo com Meller (2004), o SWMM da EPA, surgiu no final da década de 1960, desenvolvido pelos pesquisadores Metcalf e Eddy, a Water Resources Engineers e a Universidade da Flórida, sob comando e supervisão da EPA. Foi o primeiro modelo computacional para análise quali-quantitativa associada ao escoamento gerado em áreas urbanas, desenvolvido em 5 versões principais (v.1-1970, v.2-1975, v.3-1981, v.4- 1988 e v.5-2003) até sua última atualização em junho de 2003, dando origem a versão 5.

O SWMM é um programa de área de trabalho baseado no Windows. É um software público de código aberto e é gratuito para uso mundial. O SWMM 5 foi produzido em um esforço de desenvolvimento conjunto com a CDM, Inc., uma empresa global de consultoria,

engenharia, construção e operações. O programa passou por várias atualizações importantes desde que foi desenvolvido em 1971, incluindo as práticas adicionais de infraestrutura verde como controles de desenvolvimento de baixo impacto (LID). É amplamente utilizado para avaliar as estratégias de controle de águas pluviais de infraestrutura cinza, como tubulações e drenos pluviais, e é uma ferramenta útil para a criação de soluções de controle de águas pluviais híbridas (EPA, 2018).

O SWMM, em português, Modelo de Gestão de Drenagem Urbana, é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas. Pode ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso, bem como para uma simulação contínua de longo prazo. O SWMM acompanha a evolução da quantidade e da qualidade do escoamento dentro de cada sub-bacia, assim como a vazão, a altura de escoamento e a qualidade da água em cada tubulação e canal, durante um período de simulação composto por múltiplos intervalos de tempo (LENHS, 2012).

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Simular uma rede coletora de esgotamento sanitário com base na NBR 9649, que obtenha os valores das precipitações média equivalentes no SWMM NBR 9649.

2.2. Específicos

- Verificar a tensão trativa nos trechos da rede para vazões de início de plano;
- Verificar a velocidade crítica e a relação de enchimento em todos os trechos da rede para vazões de final de plano;
- Verificar a precipitação média equivalente em simulação de incío e de final de projeto.

3. METODOLOGIA

A metodologia foi desenvolvida em sete etapas, onde o desenvolvimento do programa NBR 9649 representa a continuação da pesquisa já realizada pelos autores. Na primeira etapa foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os assuntos relevantes ao tema e ao software SWMM, que viessem contribuir e justificar a elaboração da pesquisa. Na segunda etapa foi feita uma análise das condições exigíveis da NBR 9649 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário, estas condições são os respectivos parâmetros à serem obtidos no programa. Na terceira etapa foi realizado o aprimoramento do software SWMM. Na quarta etapa, fez-se uma validação dos dados no software aprimorado com uma rede de esgotamento sanitário já existente. Na quinta etapa, fez-se uma análise dos resultados obtidos. Na sexta etapa foi realizado um desenvolvimento no programa com a inclusão dos valores denominados precipitações médias equivalente. E na sétima etapa, fez-se novamente a análise da rede para verificar se a mesma simulava normalmente. A figura 1 representa a sequência das etapas descritas da pesquisa.

Figura 1. Etapas metodológicas. Fonte: Autores (2018).

3.1. Análise das condições exigíveis da NBR 96449

A NBR 9649 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário, é a Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que estabelece as condições exigíveis na elaboração de projeto hidráulico-sanitário de redes coletoras de esgoto sanitário, funcionando em lâmina livre.

A Norma estabelece condições específicas para o dimensionamento hidráulico, ou seja, parâmetros das redes coletoras de esgoto, cujos não são determinados em redes de drenagem pluvial, portanto, o software SWMM não simulam estes parâmetros. Desta forma, buscaram-se na Norma tais parâmetros necessários às redes coletoras de esgoto, que serão incorporados ao software. Tais parâmetros são: Tensão Trativa, Velocidade Crítica, Declividade Mínima, Declividade Máxima e Percentual da Lâmina D'água.

3.2. Aprimoramento da 5º versão computacional do swmm

O aprimoramento em questão foi feito na versão 5.1.012 do SWMM. Basicamente, esse sistema é composto por dois projetos. Um se refere à parte de interface gráfica com o usuário (Graphical User Interface - GUI), que foi criada pelos desenvolvedores do software através da linguagem de programação Delphi 6. O outro à biblioteca desenvolvida para realização de cálculos e de processamento de dados (Dynamic Link Library - DLL), também conhecida como engine, que foi construída pelos idealizadores utilizando a linguagem de programação C.

Em termos de GUI, as alterações realizadas foram para permitir que o usuário escolha as variáveis propostas da NBR 9649:1986, conforme pode ser notado na área "Variables" da figura 2.

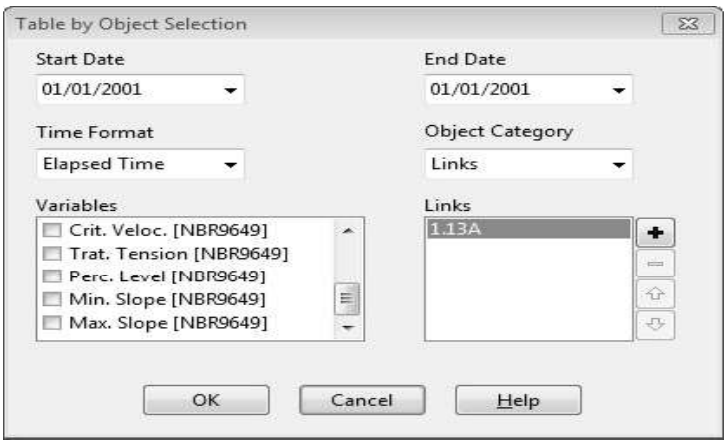

Figura 2. Aprimoramento na seleção de variáveis no SWMM_NBR9649. Fonte: Autores (2018).

Em relação às modificações na engine, as fórmulas disponibilizadas na NBR 9649:1986 foram programadas para calcular os valores de cada variável.

Para a variável Velocidade Crítica (V_c) foi inserido no projeto engine a Equação 1. Considerou-se para as duas variáveis existentes na equação, 'g' – gravidade – igual a 9,81 m/s² e 'Rh' – Raio hidráulico – os respectivos Raios já calculados pelo programa para cada tubulação.

$$V_c(\frac{m}{s}) = 6 \times \sqrt{9{,}81 \times Rh} \quad (1)$$

Onde:

- V_c: velocidade crítica (m/s)
- g: gravidade (m/s²)
- Rh: raio hidráulico (h)

Para a variável Tensão Trativa (σ_t), utilizou-se a Equação 2. E considerou-se para a três variáveis existentes nesta, 'γ' – peso específico da água – igual a 10.000 N/m³, 'I_o' - declividade do terreno – e 'Rh' – Raio hidráulico – igual, respectivamente, as declividades e Raios já calculados pelo programa para cada tubulação.

$$\sigma_t\,(Pa) = 10.000 \times I_o \times Rh \quad (2)$$

Onde:

- σ_t: tensão trativa (Pa)
- γ: peso específico da água (N/m³)
- I_o: declividade do terreno (m/m)
- Rh: raio hidráulico (h)

Para a variável Lâmina D'agua (Y/D), inseriu-se a razão entre 'y' – altura da seção transversal preenchida pelo efluente – e 'yFull' – altura total da seção transversal – conforme a Equação 3.

$$Y/D = y/yFull \quad (3)$$

Onde:

- Y/D: Lâmina D'agua
- y: altura da seção transversal preenchida pelo efluente (m)
- yFull: altura total da seção transversal (m)

Para a variável Declividade Mínima (I_mín), utilizou-se as Equações 4 e 5, de acordo com a condição expressa. Para a única variável presente na Equação 4, 'Q' – vazão – considerou-se as respectivas vazões já calculadas pelo programa para cada tubulação.

$$\text{Se } Q \geq 1{,}5 \text{ l/s} \quad \rightarrow \quad I_{mín}(m/m) = 0{,}0055 \times Q_i^{-0{,}47} \tag{4}$$

$$\text{Se } Q < 1{,}5 \text{ l/s} \quad \rightarrow \quad I_{mín}(m/m) = 0{,}0055 \times 1{,}5^{-0{,}47} \tag{5}$$

Onde:

- $I_{mín}$: Declividade Mínima (m/m)
- Q_i: Vazão de início de projeto (L/s)

Para a variável Declividade Máxima (I_máx), conforme a variável Declividade Mínima, esta segue com a mesma interpretação da condição e da variável na Equação 4.

$$\text{Se } Q \geq 1{,}5 \text{ l/s} \rightarrow I_{máx}(m/m) = 4{,}5 \times Qf^{-0{,}67} \tag{6}$$

$$\text{Se } Q < 1{,}5 \text{ l/s} \rightarrow I_{máx}(m/m) = 4{,}5 \times 1{,}5^{-0{,}67} \tag{7}$$

Quando uma simulação é executada, o usuário pode ver os resultados gerados para as variáveis que selecionar.

3.3. Validação dos dados

Para verificar e validar o uso do aprimoramento efetuado no software foi utilizado rede de esgotamento sanitário existente no bairro São João do Outeiro, em Belém-PA, a qual foi estudada com o uso do SWMM através do Giswater por Nascimento & Carvalho (2016).

O bairro São João do Outeiro está localizado no Distrito de Outeiro, município de Belém. Segundo SEGEP (2011), o qual possui 12.134 habitantes e uma área de 558,75 ha. Este bairro (Figura 3) foi escolhido para a simulação do sistema de esgotamento sanitário existente, o qual é bastante diversificado quanto ao tipo, segundo o Anuário Estatístico de Belém, disponibilizado pela SEGEP (2011).

Figura 3. Imagem do bairro de São João do Outeiro. Fonte: Google Earth Pro (2018).

Para o levantamento de dados do estudo de caso, foi utilizada uma rede de esgotamento sanitário existente no banco de dados da Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA, Companhia responsável pela operação do serviço de esgotamento sanitário no bairro. Além

disso, para uma simulação bem-sucedida foi utilizado informações quanto ao cadastro técnico, existente em plantas do AutoCAD, que serviram para alimentar os trechos e nós no sistema.

O shape de base cartográfica com a estrutura urbana dos bairros serviu, neste caso, como auxilio para o desenho da rede. Depois de elaborado o desenho, foram inseridos os elementos físicos dos trechos e nós da rede de esgoto, tais como cotas, diâmetros e comprimento nesses elementos físicos (Figura 4).

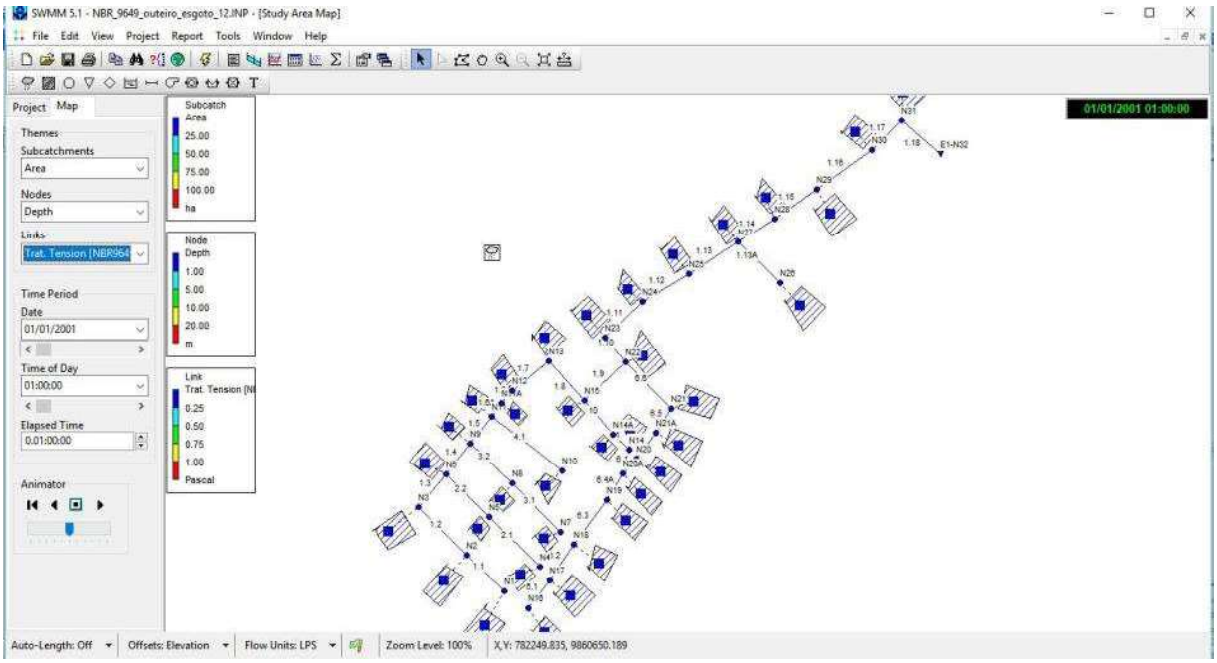

Figura 4. Rede coletora de esgotos do bairro São João do Outeiro no SWMM aprimorado.

Fonte: Autores (2018).

Observa-se na Figura 10 o traçado da rede, com os nós interligados por trechos de condutos. Esses nós ou junções recebem a contribuição de bacias virtuais que representam a contribuição equivalente de esgoto sanitário da população do bairro atendida pela rede, em início e final de projeto.

Para a simulação desta rede levou-se em consideração que o trecho tem seção circular; coeficiente de Manning de 0,01; 35 sub-bacias cada uma com área de 0,14 ha e largura de 1,22 m. Para a inserção das séries temporais, de modo a alimentar as informações de pluviômetro, foi calculada a precipitação equivalente média, para uma população inicial de 1000 habitantes e população final de 3000 habitantes, resultando nos respectivos valores de 0,3152 mm.h-1.m-² e 0,8352 mm.h-1.m-², que representam a contribuição do esgoto na rede. Sobre esses valores de contribuição de esgoto, foram incididos um padrão temporal que variou a vazão conforme as horas do dia, tornando a simulação mais próxima do real.

3.4. Desenvolvimento do programa SWMM NBR9649

Visto que o programa realiza a simulação de chuva, foi necessária a transformação da 'vazão de chuva' em 'vazão de esgoto'. Para isso a série temporal de precipitações foi alimentada de modo a simular a vazão de esgoto ao invés da chuva. Esta vazão simulada foi denominada de Precipitação Equivalente Média Inicial (Pei), para a vazão de início de projeto e Precipitação Equivalente Média Final (Pef) para a vazão de final de projeto, e ambas são calculadas conforme as equações 8 e 9, respectivamente, onde 'P_i' - população inicial – igual a 1.500 habitantes, 'P_f' - população final – igual a 3.000 habitantes, 'C' - coeficiente de retorno – igual a 0,8, 'K_1' - coeficiente do dia de maior consumo – igual a 1,2, 'K_2' - coeficiente da hora de maior consumo – igual a 1,5, 'q' - per capita – igual a 200

L/(hab.dia), 'A' - área da total da região – igual a 5,0 ha e ' Inf.' - infiltração na área total da região – igual a 0,1152 mm/(m².h).

$$Pei\ (mm/m^2.h) = (P_i \times C \times K_2 \times q)/(\ 10.000 \times A \times 24) + Inf. \quad (8)$$

$$Pef\ (mm/m^2.h\ ) = (P_i \times C \times K_1 \times K_2 \times q)/(\ 10.000 \times A \times 24) + Inf. \quad (9)$$

Onde:

- Pei: precipitação Equivalente Média Inicial $(mm/m^2.h)$
- Pef: precipitação Equivalente Média final $(mm/m^2.h)$
- P_i: população inicial (habitantes)
- P_f: população final (habitantes)
- C: coeficiente de retorno
- K_1: coeficiente do dia de maior consumo
- K_2: coeficiente da hora de maior consumo
- q: per capita (L/(hab.dia))
- A: área da total da região (ha)
- Inf.: infiltração na área total da região (mm/(m².h))

Portanto, para tornar prática a simulação no SWMM NBR9649, foi inserido as equações 8 e 9 no seu código fonte e alterado sua interface gráfica, onde o usuário apenas adiciona os dados mencionados acima e o programa já gera os resultados das vazões de esgoto durante 24h, com os respectivos coeficientes de consumo horário e para isto o padrão temporal utilizado é o disponível no manual do Epanet.

A figura 5 e 6 apresentam, respectivamente, as vazões de esgoto ao longo de um dia para os dados de início e final de projeto, denominadas de série temporal 1 e 2.

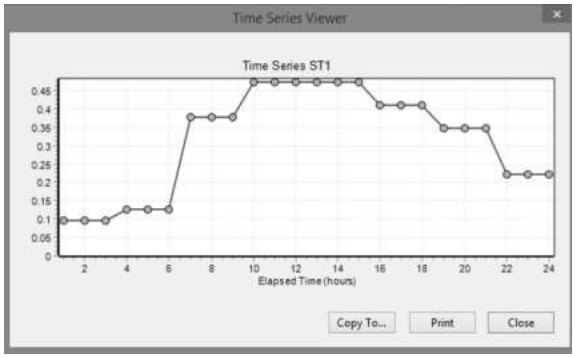

Figura 5. Série temporal 1.

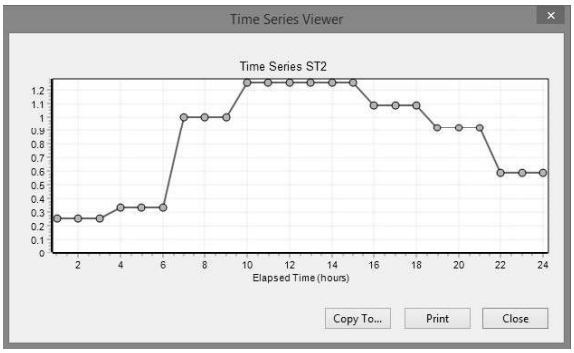

Figura 6. Série temporal 2.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Tensão Trativa

Os resultados da tensão trativa permaneceram os mesmo. Para os 35 trechos simulados para o cenário de início de projeto no horário de maior pico, as 12h, a tabela 1 apresenta os dados obtidos no programa, relevantes para esta análise deste cenário como o diâmetro nominal, a declividade mínima, a declividade do terreno, a vazão inicial e a tensão trativa.

Tabela 1. Resultados de início de projeto.

Trecho	DN mm	$Imín$ m/m	I_O m/m	Q_i L/s	σ_t Pa
1.1	0,15	0,0045	0,0004	0,18	0,06
1.2	0,15	0,0045	0,0005	0,38	0,09
1.3	0,15	0,0045	0,0013	0,55	0,27
1.4	0,15	0,0045	0,0019	1,10	0,44
1.5	0,15	0,0043	0,0042	1,65	1,18
1.6	0,15	0,0038	0,0015	2,21	0,56
1.6A	0,15	0,0039	0,0015	2,02	0,52
1.7	0,15	0,0036	0,0015	2,39	0,53
1.8	0,15	0,0035	0,0033	2,57	1,97
1.9	0,15	0,0032	0,0002	3,12	0,13
1.10	0,15	0,0026	0,0020	4,76	0,16
1.11	0,20	0,0026	0,0020	4,95	0,16
1.12	0,20	0,0025	0,0020	5,13	0,16
1.13	0,20	0,0025	0,0003	5,31	0,25
1.13A	0,10	0,0045	0,0004	0,18	0,23
1.14	0,25	0,0024	-0,0001	5,67	0,04
1.15	0,25	0,0024	0,0002	5,85	0,18
1.16	0,25	0,0024	0,0002	6,03	0,15
1.17	0,25	0,0023	0,0002	6,21	0,15
1.18	0,25	0,0023	0,0003	6,39	0,15
10	0,15	0,0045	0,0020	0,36	0,17
11	0,15	0,0045	0,0020	0,18	1,30
2.1	0,15	0,0045	0,0005	0,18	0,08
2.2	0,15	0,0045	0,0006	0,37	0,11
3.1	0,15	0,0045	0,0004	0,18	0,06
3.2	0,15	0,0045	0,0006	0,38	0,12
4.1	0,15	0,0045	0,0015	0,18	0,33
6.1	0,15	0,0045	0,0010	0,18	0,13
6.2	0,15	0,0045	0,0018	0,38	0,28
6.3	0,15	0,0045	0,0018	0,55	0,30
6.4	0,15	0,0045	0,0053	0,92	0,97
6.4A	0,15	0,0045	0,0046	0,73	0,73
6.5	0,15	0,0045	0,0012	1,28	0,82
6.5A	0,15	0,0045	0,0034	1,10	1,31
6.6	0,15	0,0045	0,0020	1.46	0,16

Fonte: Autores (2018).

Na tabela 1 se observa que na rede analisada para o critério de tensão trativa exigido na NBR 9649, em que a tensão trativa deve ser superior a 1,00 Pa pelo menos uma vez ao dia, sendo analisado para população de início de projeto no horário de maior pico, não foi atendido na maioria das tubulações, somente nos trechos 1.5, 1.8, 11 e 6.5ª. Nos demais trechos a autolimpeza será insuficiente, podendo gerar possíveis deposições de sedimentos ao longo da tubulação.

4.2. Velocidade Crítica

Os resultados da velocidade crítica e o percentual da lâmina d'água também permaneceram os mesmos. Para os 35 trechos simulados para o cenário de fim de projeto no horário de maior pico, às 12h, a tabela 2 apresenta os dados obtidos no programa, relevantes para esta análise de cenário como o diâmetro nominal, a vazão final, a tensão trativa, a lâmina d'agua, a velocidade crítica e a velocidade máxima.

Tabela 2. Resultados de final de projeto.

Trecho	DN mm	Q_f L/s	σ_t Pa	Y/D	V_c (m/s)	$V_{máx}$ (m/s)
1.1	0,15	0,47	0,11	0,09	3,23	0,10
1.2	0,15	0,84	0,23	0,15	3,99	0,10
1.3	0,15	1,17	0,94	0,25	5,01	0,08
1.4	0,15	2,31	1,60	0,30	5,49	0,13
1.5	0,15	3,75	3,54	0,30	5,49	0,21
1.6	0,15	5,21	1,30	0,30	5,49	0,29
1.6A	0,15	4,72	1,30	0,30	5,49	0,27
1.7	0,15	5,70	1,30	0,30	5,49	0,32
1.8	0,15	6,18	2,81	0,30	5,49	0,35
1.9	0,15	7,65	0,14	0,30	5,49	0,43
1.10	0,15	11,98	0,17	0,30	5,49	0,68
1.11	0,20	12,47	0,23	0,30	6,33	0,40
1.12	0,20	12,95	0,23	0,30	6,33	0,41
1.13	0,20	13,44	0,36	0,30	5,49	0,43
1.13A	0,10	0,49	0,23	0,30	4,48	0,06
1.14	0,25	14,41	0,07	0,28	6,80	0,31
1.15	0,25	14,88	0,29	0,26	6.66	0,33
1.16	0,25	15,36	0,24	0,25	6,50	0,36
1.17	0,25	15,84	0,23	0,23	6,25	0,40
1.18	0,25	16,32	0,22	0,17	5,50	0,58
10	0,15	0,97	0,17	0,30	5,49	0,05
11	0,15	0,49	1,72	0,30	5,49	0,03
2.1	0,15	0,38	0,26	0,18	4,37	0,03
2.2	0,15	0,68	0,41	0,26	5,17	0,04
3.1	0,15	0,46	0,34	0,30	5,49	0,03
3.2	0,15	0,95	0,50	0,30	5,49	0,05
4.1	0,15	0,49	1,29	0,30	5,49	0,03
6.1	0,15	0,49	0,21	0,06	2,68	0,18
6.2	0,15	0,97	0,44	0,08	2,95	0,27
6.3	0,15	1,46	0,59	0,11	3,43	0,26
6.4	0,15	2,39	4,48	0,30	5,49	0,14
6.4A	0,15	1,90	2,90	0,22	4,74	0,14
6.5	0,15	3,36	1,05	0,30	5,49	0,19
6.5A	0,15	2,87	2,92	0,30	5,49	0,16
6.6	0,15	3,95	0,17	0,30	5,49	0,22

Fonte: Autores (2018).

Na tabela 2 se observa que para o critério da lâmina Y/D onde não se pode ultrapassar 75%, e em casos específicos a 50%, analisado para população de final de projeto, todas as tubulações atenderam à Norma Brasileira, considerando que em nenhuma tubulação a velocidade máxima foi superior a velocidade crítica.

4.3. Precipitação Média Equivalente

O desenvolvimento posibilitando a obtenção diretamente no programa dos valores das vazões de esgoto foi gerado com sucesso. Não havendo necessidade do usuario calcular tais valores fora do programa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atualização feita no programa já executado anteriormente pelos autores, mostrou-se eficaz. Os parámetros exigidos pela Norma NBR 9649 obtiveram a mesma validação, que a feita anteriormente. E agora o usuario do programa terá uma praticidade maior, enfatizando que antes do aprimoramento do SWMM para simulações em redes de esgoto, este programa já era utilizado por autores, porém, como o programa é destinado a simulações de redes de drenagem, não havia como obter os parâmetros exigidos pela norma, necesitando que o usuario os calculasse em um meio independente do SWMM. Portanto, agora o usuario pode obter todas as informações necessárias para sua análise no próprio programa.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Agência Nacional de Águas e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: 2017*
- *ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (United States). Storm Water Management Model: Application that helps predict the quantity and quality of runoff within urban áreas. Disponível em: < https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>. Acesso em 25 maio 2018.*
- *NETTO, Azevedo et al. Manual de Hidráulica. 8. ed. – São Paulo: Editora Blucher. 1998.*
- *BRASIL. Lei n. 11.445, de 5 de jan. de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.*
- *BRASIL. Anteprojeto de Lei. Institui as diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e a Política Nacional de Saneamento Ambiental - PNSA. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2002.*
- *LENHS (Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento). SWMM 5.0. Manual do usuário. Universidade Federal da Paraíba, UFPB. 2012.*
- *MELLER, A. Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistemas de Drenagem em Santa Maria -RS. 2004. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2004.*
- *NASCIMENTO, A.J.C. & CARVALHO, A.O. (2016). Uso do código computacional livre Giswater para elaboração de projetos de água e esgoto: estudo de caso de rede de água no bairro Condor e rede de esgoto no bairro São João do Outeiro em Belém-PA. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade da Amazônia, Belém-PA.*
- *SEGEP. Anuário Estatístico de Belém 2011. Disponível em:<http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/ANUARIO%202011%20COMPLETO.pdf>.*
- *Acesso em 18 de janeiro 2018.*
- *TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. 2. ed, São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.*