

UTILIZAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL) PARA ESTUDOS HIDROLÓGICOS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO OLARIA – RIO URUGUAI
USE OF SWAT MODEL (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL) FOR HYDROLOGICAL STUDIES IN THE ARROIO OLARIA WATERSHED HYDROGRAPHIC - URUGUAY RIVER

Daniela Vargas Calegaro*
Nelson Mario Victoria Bariani**
Cassiane Jayj de Melo Victoria Bariani***

RESUMO

Este trabalho objetivou a aplicação da Ferramenta de Gerenciamento de Água e Solo (SWAT+ em inglês) para avaliar o ciclo hidrológico da bacia do Arroio Olaria, que contém a maior parte da área urbana da cidade de Itaqui, RS. Um recorte do modelo digital de elevação SRTM de 30m de resolução foi utilizado para definir a rede de drenagem e as sub-bacias na área de estudo, utilizando os algoritmos contidos no QSWAT+. Seguindo a metodologia teórica para cálculo do escoamento superficial do SWAT, foi calculado o número CN=87 da bacia como média ponderada dos números CN para os usos de solo existentes, assim como as correções do mesmo para solo seco, com umidade normal e saturado na capacidade de campo, e as devidas ao efeito da declividade. Esses valores foram aplicados aos cálculos de vazão diária de escoamento superficial do mês de janeiro de 2019, chegando ao valor máximo próximo de 80 mm/dia. Também foram avaliadas as contribuições da rede de drenagem urbana, estimadas por dois métodos, ficando da ordem de 0,3 mm/dia de vazão oriunda do abastecimento urbano, além de um máximo de 2 mm/dia de capacidade de escoamento da tubulação instalada. A vazão de base foi medida em horário de baixo consumo urbano, ficando da ordem de 3 mm/dia, oriundos principalmente de contribuições subterrâneas. Os resultados podem ser usados como comparação das saídas do software do modelo SWAT+ uma vez que seja concluída a preparação dos dados de entrada necessários para modelagem.

Palavras-chaves: SWAT+. Modelagem hidrológica, bacia hidrográfica. Gerenciamento de água.

ABSTRACT

This work aimed to apply the Water and Soil Management Tool (SWAT + in English) to evaluate the hydrological cycle of the Arroio Olaria basin, which contains most of the urban area of the city of Itaqui, RS. A cutout of the 30m resolution SRTM digital elevation model was used to define the drainage network and sub-basins in the study area, using the algorithms contained in QSWAT+. Following the theoretical methodology for calculating the SWAT runoff, the CN number 87 of the basin was calculated as a weighted average of the CN numbers for existing soil uses, as well as

* Acadêmica do Curso de Especialização em Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Itaqui -RS. E-mail: danicallegaro93@gmail.com

**Orientador – Docente – Campus Itaqui – Universidade Federal do Pampa. E-mail: nelsonbariani@unipampa.edu.br

***Co-orientador – Docente – Campus Uruguaiana – Universidade Federal do Pampa. E-mail: cassianebariani@unipampa.edu.br

its corrections for dry soil, with normal and saturated moisture in the field capacity, and those due to the effect of the slope. These values were applied to the daily runoff flow calculations for the month of January 2019, reaching a maximum value close to 80 mm / day. The contributions of the urban drainage network, estimated by two methods, were also evaluated, staying in the order of 0.3 mm / day of flow from the urban supply, in addition to a maximum of 2 mm / day of flow capacity of the installed pipe. The base flow was measured in times of low urban consumption, around 3 mm / day, mainly from underground contributions. The results can be used as a comparison of the software outputs of the SWAT + model once the preparation of the necessary input data for modeling is completed.

Keywords: SWAT+. Hydrological modeling. Watershed. Water management.

1 INTRODUÇÃO

A Ferramenta de Avaliação de Solo e Água Plus (SWAT+) é um modelo de domínio público desenvolvido em conjunto pelo USDA Agricultural Research Service (USDA-ARS) e Texas A&M AgriLife Research, parte do Sistema Universitário Texas A&M. SWAT+ é um modelo que funciona tanto para pequenas bacias quanto em escala de bacia hidrográfica de rios maiores, para simular a qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas e prever o impacto ambiental do uso da terra, práticas de gestão da terra e mudanças climáticas. SWAT+ é amplamente utilizado na avaliação da prevenção e controle da erosão do solo, controle de poluição de fonte difusa e gestão regional de bacias hidrográficas. O modelo avalia a produção de sedimentos e a carga de produtos químicos resultante nos corpos de água pertencentes a bacias hidrográficas que podem ter diversos tipos de solos, de uso do terreno e de condições de gestão (NEITSCH et al., 2009).

A modelagem pode ser calibrada e validada com dados históricos e uma vez verificada a adequação da mesma à realidade da bacia, podem ser elaborados prognósticos para se obter verificações e possíveis discussões.

O modelo tem base física, ou seja, que ao invés de incorporar equações de regressão para descrever a relação entre as variáveis de entrada e saída, o modelo SWAT requer informações específicas sobre o clima, propriedades do solo, topografia, vegetação e práticas de gestão de solo que ocorram na bacia hidrográfica. Desta forma, os processos físicos associados à movimentação hídrica, movimentação sedimentar, crescimento da colheita, ciclo de nutrientes, e outros, são diretamente moldados pelo modelo SWAT mediante equações gerais, leis físicas, que permitem calcular os resultados principais usando os dados de entrada mencionados (NEITSCH et al., 2009).

O SWAT é apenas um modelo de tempo contínuo, ou seja, um modelo de produção em longo prazo, não um modelo desenhado para simular detalhadamente eventos únicos como cálculos de propagação de cheias. Por isso ele é mais adequado para aplicações relacionadas com a gestão a longo prazo de bacias hidrográficas, podendo ser complementado com outros modelos paramétricos que se adaptem a situações especiais como cheias.

O modelo SWAT incorpora características de vários modelos que foram desenvolvidos por separado para funções específicas, e cuja menção permite entender mais claramente seu funcionamento (NEITSCH et al., 2009). Dentre eles temos:

- SWRRB1, Simulador para Recursos Hídricos de Bacias Rurais (Williams et al 1985, Arnold et al 1990).
- CREAMS2, Produtos Químicos, Escoamento e Erosão dos Sistemas de Gestão Agrícola (Knisel,1980).
- GLEAMS2, Efeitos das descargas Subterrâneas nos Sistemas de Gestão Agrícola (Leonard et al ,1987).
- EPIC4, Calculador de Impacto Erosão- Produtividade (Williams et al 1984).
- QUAL2E, quantificação do fluxo de nutrientes e qualidade de água.

A unificação dentro do SWAT aconteceu no início da década de 90, e a partir daí a ferramenta passou por inspeções contínuas e expansão das suas capacidades. Dessa forma, se transformou num modelo de cálculo do ciclo hidrológico baseado em Unidades de Respostas Hidrológicas Múltiplas, cada uma das quais corresponde a um conjunto único de características, que se repetem em todos seus pontos. Dentro desse ciclo, o trânsito de sedimentos produtos da erosão, de produtos químicos da atividade agrícola e agroindustrial, da lixiviação para águas subterrâneas, poderia ser quantificado com base em relações com significado físico. Com o passo do tempo novas variáveis foram acrescentadas para aperfeiçoar e ajustar os cálculos. Algumas das variáveis mais importantes para este trabalho, calculadas pelo modelo são: vazões em pontos escolhidos da rede de drenagem da bacia; concentração de sedimentos suspensos, volume de armazenamento de água em reservatórios e banhados; modelo de crescimento de plantas para estudos de dinâmica da água nos ciclos agrícolas, incluindo a equação de potencial de evapotranspiração de Penman-Monteith; inclusão de fluxo lateral da água no solo; adição de equações para fluxo de nutrientes e qualidade da água; rota do fluxo de pesticidas, transporte de bactérias;

inclusão de Gerador Climático para produção de dados climáticos razoáveis por métodos estatísticos. Finalmente, cenários de previsão de tempo e também parâmetros de retenção em função da umidade do solo, além da modelagem dos sistemas locais de esgoto.

Após ter sido usado em grande número de aplicações no mundo inteiro nos passados 20 anos, foi decidido lançar uma versão completamente revisada do modelo: SWAT+, em julho de 2019. Os algoritmos e processos de cálculo não foram modificados. Porém, a estrutura do código de programação e os arquivos de entrada tiveram consideráveis modificações, proporcionando uma representação espacial das interações e processos dentro de uma bacia de forma mais flexível.

O que transforma esse modelo geral num modelo regional ou local é o chamado processo de calibração, no qual as variáveis de solo, vegetação, clima, relevo, são adaptadas às características locais. Segundo Bariani (2016) a bacia do Arroio Olaria, também conhecido como Sanga da Olaria, contém quase totalidade da cidade de Itaqui, sede do Município do mesmo nome, de marcante vocação agrícola, com predomínio da cultura do arroz, que também ocupa uma parte da área da bacia. O córrego possui várias nascentes dentro da área urbana, e recebe uma porcentagem importante dos esgotos e águas pluviais da rede de escoamento da cidade. A desembocadura no poderoso Rio Uruguai faz que exista um efeito de barragem, de contenção das águas, que depende da cota do Rio Uruguai. Todos estes fatores determinam um problema complexo e interessante para a modelagem do ciclo hidrológico na bacia.

Por outro lado, as mudanças climáticas observadas nas décadas mais recentes aumentaram a probabilidade de eventos extremos de precipitação, configurando assim condições tanto de alagamentos urbanos quanto de enchentes. A dinâmica destes fenômenos pode ser analisada com o modelo SWAT+.

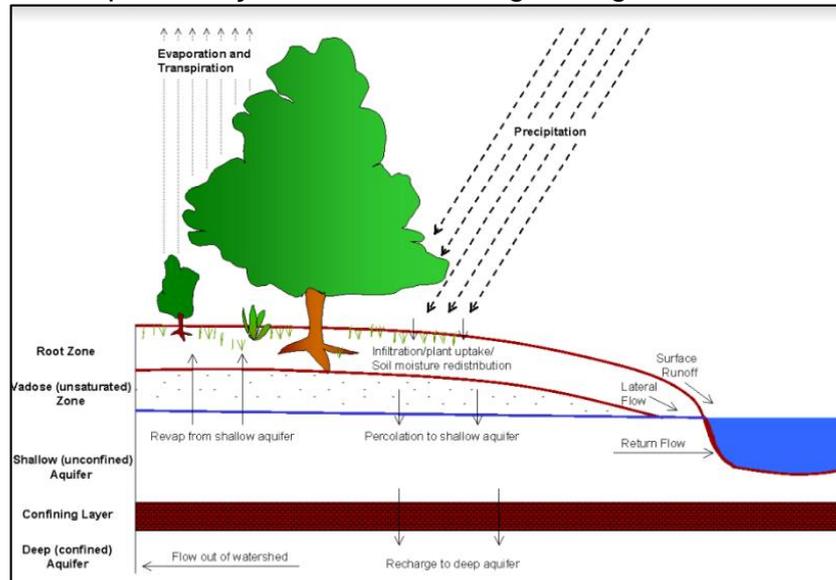
Neste cenário, é fundamental a calibração de um modelo que permita analisar, à luz dos conhecimentos científicos atuais, o comportamento da água na bacia hidrográfica, tanto em termos de vazão, volume armazenado, de qualidade, sendo de grande utilidade como ferramenta de pesquisa e planejamento urbano e rural.

Desta forma, o presente trabalho busca aplicar o modelo SWAT para modelar as vazões em pontos estratégicos da bacia, abrindo assim a possibilidade de estudar as variações na qualidade da água devidas a efeitos sazonais, climáticos, e os ciclos agrícolas e agroindustriais dentro da bacia.

2 REPRESENTAÇÃO DO CICLO HIDROLÓGICO NO SWAT

A figura 1 abaixo ilustra os componentes do ciclo hidrológico tal qual como será calculado na bacia do Olaria que representam o ciclo hidrológico SWAT:

Figura 1: Representação do ciclo hidrológico segundo o SWAT



Fonte: (NEISTCH, 2009)

Com a chuva, a umidade do solo é modificada pelo remanescente do volume precipitado, descontando o volume escoado superficialmente, a evapotranspiração, a infiltração, e o fluxo base de retorno ao canal.

$$SW_t = SW_0 + \Sigma(R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

SW_t é o conteúdo de água no solo no dia t (atual ou final do período estudado);

SW_0 é o conteúdo inicial de água no solo no dia i , em mm H₂O;

R_{day} é a quantidade de precipitação no dia i , em mm H₂O;

Q_{surf} é a quantidade de escoamento superficial no dia i , em mm H₂O;

E_a é a quantidade de evapotranspiração no dia i , em mm H₂O;

w_{seep} é a quantidade de água que entra na zona de aeração do perfil do solo no dia i , em mm H₂O;

Q_{gw} é a quantidade de fluxo de retorno no dia i , em mm H₂O.

2.1 CICLO HIDROLÓGICO EM ÁREA URBANA

Quando as chuvas caem em áreas urbanas, elas são pouco interceptadas e vão cair rapidamente na superfície do solo. Como boa parte da superfície é impermeabilizada pelo asfalto ou cimento, pouca água infiltrará na superfície até o perfil do solo, senão que predominantemente descerá pelas ruas ou pela rede pluvial/esgoto como escoamento. O escoamento se movimenta relativamente rápido na direção do canal e contribui para uma resposta do curso de água em curto prazo. O traçado da rede pluvial/esgoto deve ser conhecido com bastante detalhe, sendo de alta densidade, e influenciando fortemente a resposta hidrológica. Quando certos limites de vazão são superados, os modelos devem incluir áreas de alagamento transitório.

2.2 CICLO HIDROLÓGICO EM ÁREA RURAL

Em áreas rurais as precipitações podem ser interceptadas pela vegetação, seja árvores ou lavouras, causando uma retenção inicial que pode evaporar. A água que chega no solo infiltrará para camadas inferiores ou escoará pela superfície até atingir a rede de drenagem rapidamente; a parte infiltrada poderá evapotranspirar ou achar os caminhos por via subterrânea, mais lentamente, para os canais superficiais. Ainda, poderá ser armazenada em áreas de alagamento ou reservatórios.

2.3 MÉTODO DO NÚMERO CN PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO E INFILTRAÇÃO

Na Hidrologia e na Engenharia Civil o método da Curva do Número (CN), também chamado de “Equação de Escoamento do Número SCS” é utilizado para determinar o quanto de água escoar sobre a superfície terrestre em função do uso e ocupação do solo, sua textura ou tipo, e sua umidade (ZHAN e HUANG, 2004).

O método CN é um dos mais utilizados para o processamento do escoamento superficial de eventos chuvosos; essa aproximação envolve o uso simples de fórmulas empíricas e tabelas de valores (SHERESTHA, 2003). Isto fornece um método de simular um escoamento em uma bacia hidrográfica. O método é especialmente adequado para bacias pequenas, podendo ser aplicado a bacias grandes através da decomposição em sub-bacias de tamanho e características adequadas.

As variáveis físicas fundamentais, e a relação entre elas, estão descritas a continuação:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{dia} - I_a)^2}{(R_{dia} - I_a + S)} \quad (2)$$

I_a : perdas iniciais referentes à interceptação da chuva (mm);

R_{dia} : é o valor da precipitação (mm);

S : representa a retenção total de água por infiltração ou interceptação ou evaporação (mm). Como S representa uma característica muito valiosa para cálculos de engenharia (PRUSKI et al., 2001), pois serve como base para cálculo do escoamento superficial, os engenheiros do Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), desenvolvedores do método, decidiram utilizar um outro parâmetro relacionado conceitualmente a S , mas que facilitasse a criação de tabelas; dessa forma, escolheu-se o número CN, que varia entre 0 e 100, relacionado com S pela equação.

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

CN: relacionado com a cobertura do solo, tipo de solo e umidade do solo.

Este método é apresentado na literatura como método do número da curva, exigindo o conhecimento prévio da precipitação e de vários aspectos do complexo hidrológico solo-vegetação. Todos os detalhes do método com relação à sua aplicação no modelo SWAT estão descritos pela documentação teórica encontrada no site do modelo (NEITSCH et al., 2009).

O CN é relacionado com a cobertura, tipo e condição de umidade do solo, sendo ele um parâmetro adimensional e seus valores (0-100) encontram-se de acordo com os padrões de infiltração do mesmo, como mostrado na Tabela 2 de valores de CN para bacias urbanas e sub-urbanas, observa-se que o valor de CN é relacionado também com o grupo de solo.

Assim, a tabela a seguir (figura 2) mostra os valores de CN para bacias urbanas e suburbanas:

Figura 2: Valores de CN para bacias urbanas e sub-urbanas

Utilização ou cobertura do solo	Grupo de solos			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Florestas: cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residências				
Lotes de (m ²)	% média impermeável			
<500	65	77	85	92
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc	98	98	98	98
Arruamento e estradas				
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci (1998)

Essa tabela demonstra os níveis de escoamento em diferentes vegetações e até mesmo em cidades. Os valores variam de 0 a 100, quanto mais próximo de 100, significa maior escoamento e por consequência uma menor absorção de água no solo, como por exemplo: Zonas industriais com CN de 95, demonstra que os níveis de escoamento na cidade são maiores em relação a outros solos.

A abstração inicial, I_0 , se corresponde com a retenção inicial produzida pela vegetação (acumulação nas folhas), assim como por encharcamento do solo. Esta abstração inicial foi avaliada em 20% do valor da retenção total S , mas isso pode variar em diferentes localidades. De maneira geral, a equação da retenção inicial toma a forma:

$$I_0 = \lambda \times S \quad (4)$$

Em que λ é a constante de proporcionalidade da abstração inicial relacionado à capacidade máxima de água dos solos. Comumente é utilizado o valor de 0,2. O SCS utiliza os dados obtidos de diversas pequenas bacias hidrográficas em diferentes localizações geográficas dos Estados Unidos e outros países ao redor do globo, dos quais 50% dos pares de dados estavam dentro dos limites de $0,095 \leq \lambda \leq 0,38$, assim

adotando um valor padrão de $\lambda = 0,2$ recomendado para um projeto para a taxa de abstração inicial (PONCE E HAWKINS, 1996).

O método SCS-CN define três tipos de condições de umidades antecedentes: I representa a umidade do solo no ponto de murcha, sendo também o menor valor assumido em condições secas; II representação da umidade média no solo e III representa a umidade do solo na sua capacidade de campo.

$$CN1 = CN2 - (20 + (200 - CN2)) / ((100 - CN2 + \exp(2,533 - 0,0636 + (100 - CN2)))) \quad (5)$$

$$CN3 = CN2 * \exp(0,00673 * (100 - CN2)) \quad (6)$$

Em que CN1 é o número de curva da condição de umidade I, CN2 é o número de curva da condição de umidade II, propostos pelos valores de CN da Tabela 1 e CN3 é o número de curva da condição de umidade III (NEITSCH et al., 2009).

Segundo Sartori (2005) a metodologia do SCS-CN reúne os solos dos Estados Unidos em quatro grandes grupos, relacionando sua capacidade de infiltração e transmissão de escoamento, desta forma é atribuído uma letra, A, B, C e D, as quais representam o acréscimo do escoamento superficial e conseqüentemente a diminuição da taxa de infiltração de um grupo para outro. As avaliações realizadas mediante as classificações dos solos estadunidenses podem ser aplicadas também a solos de diferentes localidades do mundo, levando em consideração, principalmente, as análises texturais do mesmo, complementadas pelas características de cobertura. Gonçalves (2007) determina que os valores do CN retratam as condições do solo, variando desde a cobertura muito permeável (limite inferior = 0) até uma cobertura completamente impermeável (limite superior, valor = 100).

As características dos grupos hidrológicos do solo, apresentadas pelo SCS, são (SARTORI, 2005):

Grupo A: Solos de baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areia ou cascalho, ambos profundos e excessivamente drenados. Índice mínimo de infiltração: $>7,62 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Grupo B: Solos com taxa moderada de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a grossa. Índice mínimo de infiltração: $3,81 - 7,62 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Grupo C: Solos com baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. Índice mínimo de infiltração: $1,27 - 3,81 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Grupo D: Alto potencial de escoamento, os solos possuem taxa de infiltração baixa, quando completamente molhados, caracterizados por solos argilosos com alto potencial de expansão. Contém nesse grupo solos com grande permanência de lençol freático elevado, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. Índice mínimo de infiltração: $< 1,27 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Estas descrições foram iniciadas em TCC anterior (Costa, 2019) e complementadas neste trabalho, estando ambos relacionados ao Laboratório Interdisciplinar Integrado, LABii, da Unipampa Itaqui/RS.

As equações e parâmetros aqui mencionados foram utilizadas para o cálculo das vazões de escoamento usando o ambiente matemático Scilab, como será explicado posteriormente.

2.4 EFEITO DE REPRESAMENTO NA FOZ

Segundo Coelho (2008), os principais efeitos do represamento no regime hidrológico do curso de água são:

1) Redução da velocidade das águas; 2) Subida do nível das águas. 3) Deposição de carga sólida; 4) Mudança térmica das águas;

Cujas consequências geomorfológicas são:

1) Assoreamento na desembocadura dos canais principais; 2) Assoreamento no fundo dos vales principais; 3) Assoreamento na desembocadura e no fundo dos vales afluentes; 4) Formação de novas áreas de inundação.

Estas mudanças deverão ser consideradas para o Arroio Olaria devido ao efeito de represamento causado pelas águas do Rio Uruguai. As medições de vazão também devem considerar o efeito de diminuição da velocidade e aumento do volume armazenado no leito do córrego, devendo ser escolhidos pontos de monitoramento mais distantes da foz, não afetados pelo represamento.

2.5 REDE DE DRENAGEM URBANA

Devido à ausência de dados específicos de medições ou condições de operação, ao tempo de realização deste trabalho, foi realizada uma estimativa das

vazões urbanas, usando duas metodologias: pelas diretrizes contidas nas normas NBR e pelos dados disponíveis sobre esgotos urbanos em mapas da Prefeitura.

2.5.1 ESTIMATIVA PELAS RECOMENDAÇÕES DAS NORMAS NBR.

Os projetos do Sistema e Esgotamento Sanitário (SES) no Brasil estão calcados em preceitos e técnicas indicadas para projetos de sistemas de esgotamento sanitário, considerando as normas técnicas Brasileiras (NBR) 9.648 - Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário; NBR 9.800 - Critério para o lançamento de Efluentes Líquidos Industriais no Sistema Coletor Público de Esgoto Sanitário; NBR 9.649 - Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário; NBR 12.207 - Projeto de Interceptores de Esgoto Sanitário; NBR 12.208 - Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário e NBR 12.209 - Projeto e Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário (SANETAL, 2009).

Dessa forma, as normas mencionadas constituem uma base conceitual a partir da qual é possível uma estimativa das características e das vazões circulantes numa certa organização urbana no país.

Uma variável importante para o estudo da vazão urbana e o **consumo per capita de água**, visto que a água consumida constitui um componente da água circulante no sistema de drenagem da cidade. Para determinar a variável, em ausência de medições específicas, são considerados dados de cidades semelhantes. No caso de uma cidade como Itaquí, é razoável considerar um valor de **130 litros por habitante por dia**.

Nem toda a água abastecida retorna à rede coletora, podendo ser usada para jardinagem ou limpezas em áreas não conectadas ao sistema de drenagem urbana, existe um chamado coeficiente de retorno que avalia a porcentagem da água abastecida que efetivamente retorna ao sistema. A Norma NBR 9649 recomenda o valor de **80%** para o **coeficiente de retorno** na falta dos valores obtidos a Campo.

Outro elemento a ser considerado é a variação na vazão da rede coletora que acontece tanto de forma sazonal como diária e horária. Por exemplo, nos meses de verão o consumo aumenta, assim como é maior nos dias da semana. E também aumenta nos horários das refeições de meio-dia e noturna.

Assim sendo, serão avaliados os seguintes coeficientes: **K1 coeficiente de máxima vazão diária** - é a relação entre a maior vazão diária verificada no ano e a vazão média diária anual; **K2 coeficiente de máxima vazão horária** - é a relação entre a

maior vazão observada num dia e a vazão média horária do mesmo dia; **K3 coeficiente de mínima vazão horária** - é a relação entre a vazão mínima e a vazão média anual. Na falta de valores obtidos através de medições, a NBR 9649 da ABNT recomenda o uso de **K1 = 1,20, K2 = 1,50 e K3 = 0,50**.

Outra variável importante a ser considerada é a **taxa de infiltração**. A vazão do esgoto pode ter contribuições originárias do subsolo. A infiltração ocorre quando os sistemas de coleta estão construídos abaixo do nível do lençol freático, penetrando através dos seguintes meios: juntas das tubulações, paredes das tubulações ou outras estruturas com aberturas.

De acordo com os conceitos anteriores, podemos definir as seguintes relações:

A **vazão doméstica média de esgotos** é calculada através da equação abaixo:

$$Q \text{ Méd} = P \times q \times C \quad (7)$$

Onde: P - População contribuinte (hab.), q - quota per capita de água (l/ hab.dia), C - Coeficiente de retorno.

A **vazão máxima diária** é calculada através da seguinte equação:

$$Q \text{ Max. Dia} = C \times K1 \times Q \times P \times q \quad (8)$$

Onde K1, o coeficiente de dia de maior consumo, é igual a 1,20.

No caso do cálculo da **vazão máxima horária**, utiliza-se a seguinte equação:

$$Q \text{ Máx. Hor} = Pq \times C \times K1 \times K2 \quad (9)$$

Onde K2, o coeficiente de hora de maior consumo é igual a 1,50.

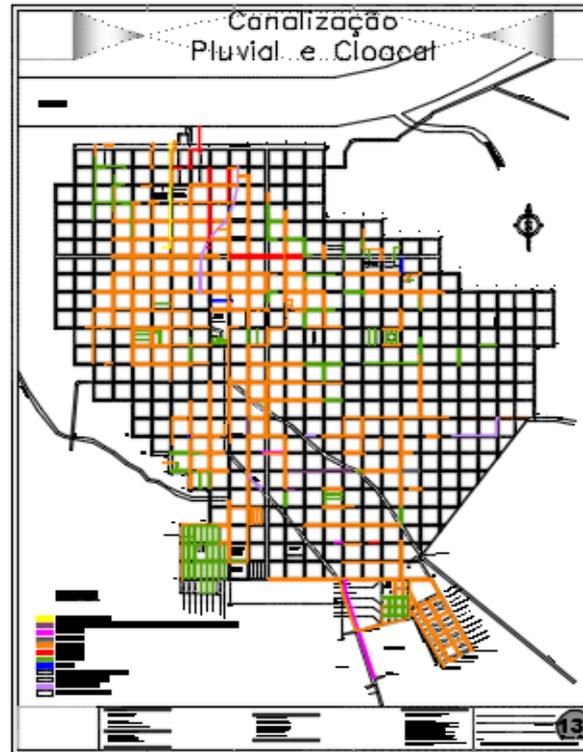
2.5.2 ESTIMATIVA PELAS INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS NA PREFEITURA DE ITAQUI SOBRE A REDE DE DRENAGEM URBANA

A urbanização tem potencial para aumentar tanto o volume quanto as vazões do escoamento superficial direto de uma microbacia – como explica o Manual De Diretrizes Para Projetos De Drenagem Urbana No Município De São Paulo - nesse contexto é imprescindível que ao fazer a análise uma micro bacia que recebe água pluviais de uma determinada região de um município considerar o fator urbano para dimensionamento das suas galerias, considerar fatores como estes garantem que se minimize o efeito de problemas como futuras inundações.

No mapa abaixo (Figuras 3 e 4) pode-se observar que a região que abastece a microbacia do Arroio Olaria tem grande influência urbana, pois maior parte do município descarta suas águas em galerias pluviais que fazem parte do sistema de

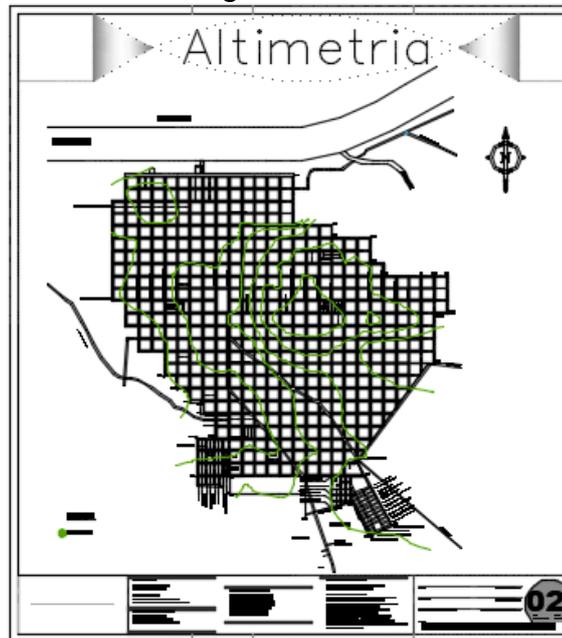
drenagem na mesma. Pode-se observar na figura ainda que a tubulação adotada para escoamento das galerias pluviais 500mm de diâmetro.

Figura 3 - Mapa de tubulações que fazem parte do sistema de drenagem do Município.



Fonte: Prefeitura Municipal de Itaquí

Figura 4 - Mapa altimétrico do Município para observação da precipitação por gravidade



Fonte: Prefeitura Municipal de Itaquí

Desta forma, o presente trabalho visa analisar a bacia do Arroio Olaria ou Sanga da Olaria, cujas vazões recebem componentes urbanos da cidade de Itaqui, procurando estabelecer as variáveis envolvidas e as dimensões das diferentes contribuições à vazão, com vistas à futura calibração do modelo SWAT nas microbacias urbanas da cidade de Itaqui e da região.

3 OBJETO E METODOLOGIA DE ESTUDO

3.1 DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO OLARIA

No trabalho de Bariani (2016) estão descritas as características físicas das microbacias hidrográficas do arroio Olaria e Cambaí em Itaqui, das quais foram extraídos os dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Características geomorfométricas da bacia do Arroio Olaria

Características Físicas	Microbacia Olaria
Área de drenagem (km ²)	14,368
Área urbana (km ²)	7,065
Perímetro (km)	17,961
Coeficiente de compacidade, K_c	1,337
Fator de forma, K_f	1,158
Ordem fluvial	4
Densidade de drenagem (km/km ²)	3,627
Extensão média do escoamento superficial (km)	0,069
Sinuosidade do curso d'água	1,009
Declividade máxima (%)	6
Declividade média (%)	3
Declividade mínima (%)	0,8
Altitude máxima (m)	97
Altitude média (m)	65
Altitude mínima (m)	40

Fonte: Bariani (2016)

Estas informações foram utilizadas junto com outras advindas do geoprocessamento de imagens de satélite, utilizando os programas de sistema de informação geográfica e processamento de imagens SPRING-GIS do INPE, e Quantum Gis (QGIS), assim como plataformas tais como: Google Earth Engine e Google Earth Online (earth.google.com).

Para processamento vetorial dos sistemas de esgoto da cidade para fins de análise e dimensionamento da contribuição da vazão urbana também foi utilizado o programa AUTOCAD.

As áreas rurais e urbanas da bacia foram analisadas com mais detalhe visando detectar regiões que pudessem desaguar diretamente no Rio Uruguai, sem atingir o canal principal do Olaria, e que pudessem ter sido consideradas como parte da bacia do Olaria no trabalho de Bariani (2016).

3.2 FERRAMENTAS DE SOFTWARE DO SWAT+

A equipe do SWAT+ programou os principais passos da metodologia de aplicação do modelo SWAT+. O objetivo final de implementação da Ferramenta de Avaliação de Água e Solo, SWAT, na bacia hidrográfica, demanda o ajuste de toda uma série de parâmetros mediante um processo chamado de calibração. Para essa etapa ser realizada com sucesso precisam ser realizados alguns estudos prévios, como os apresentados neste trabalho. Vários desses estudos são direcionados à obtenção e formatação dos dados de entrada utilizados pelo modelo.

Junto com a reformulação na programação interna acontecida durante a produção do SWAT+ (versão lançada em 2019), foram preparados alguns ambientes de apoio para facilitar a criação e uso de arquivos de entrada, e a visualização dos dados de saída. Devido ao fato do SWAT+ ter sido lançado recentemente, e sendo a primeira vez que é implementado localmente, a metodologia será descrita com mais detalhes. A seguir serão descritos alguns módulos que foram utilizados ou analisados para preparação dos dados de entrada por geoprocessamento (QSWAT).

3.2.1 QSWAT+

Os desenhistas do SWAT+ decidiram criar uma interface de geoprocessamento dentro do software livre QGIS 3, chamada QSWAT, e que aparece como uma extensão que deve ser instalada após ter instalado o QGIS 3. No nosso caso foi instalado o software QGIS 3.4 e logo em seguida foi procurado o plug-in QSWAT+, que é instalado junto com o pacote do SWAT+ obtido no site do modelo. Na Figura podemos ver a interface do QSWAT+ 1.0.0. Observe-se que a partir desta interface é possível avançar nas etapas de Delineamento de Bacias, Criação de HRUs, Edição de entradas e finalmente execução da modelagem.

Figura 5: Interface do QSWAT+



Fonte: Autoria própria

3.2.1.1 OPERAÇÕES NO QSWAT+ VINCULADAS AO PERFIL TOPOGRÁFICO E REDE DE DRENAGEM

- 1) Carregar o modelo digital de elevação (DEM), no nosso caso o SRTM.
- 2) Criar os canais secundários (channels) e principais (streams).
- 3) Definir os pontos de entrada e saída de vazão.
- 4) Definir as unidades de paisagem: terras altas ou áreas úmidas.
- 5) Unir sub-bacias consideradas muito pequenas.

3.2.1.2 OPERAÇÕES NO QSWAT+ VINCULADAS À CRIAÇÃO DE UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA (HRU)

- 1) Preparação e introdução de mapas de uso do solo e mapas de tipos de solos.
- 2) Definição das propriedades do solo: número CN de cada região.
- 3) União de canais curtos.
- 4) Divisão ou descarte de áreas de uso do solo.
- 5) Reservatórios e lagoas.
- 6) Criando HRUs.

3.2.1.3 OPERAÇÕES NO QSWAT+ VINCULADAS À MODELAGEM DO CICLO HIDROLÓGICO

- 1) Preparação de arquivos de entrada de precipitação, temperatura, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento.
- 2) Definição de estação climática virtual no gerador de clima (WGEN), com base

nos dados climáticos disponíveis. Preparação de dados climáticos diários.

3.2.1.4 PREPARAÇÃO DE MAPAS TOPOGRÁFICOS E DE SOLO

Para recortar uma imagem topográfica SRTM abrangendo a região da Bacia do Olaria foi utilizada a plataforma Google Earth Engine, cuidando de incluir a projeção nas configurações do arquivo tif de saída. Esse arquivo é salvo na pasta do Google Drive do usuário, sendo necessário o download para utilização no QSWAT+, situando ele na pasta DEM.

Os mapas de tipo de solo e uso do solo foram obtidos de bancos de dados criados no software SPRING, correspondentes ao trabalho de Bariani (2016). Segundo o manual do QSWATPlus, este mapa deve conter a área a ser utilizada na modelagem, bastando ser um pouco maior que a área de estudo. O mapa pode ser em formato geotiff, e o programa irá recortá-lo automaticamente dentro da região definida para o estudo, ficando em formato adf, que é um formato raster da empresa ESRI, popularizado pelo uso intensivo do ARCGIS em nível internacional.

3.2.1.5 DADOS PLUVIOMÉTRICOS E CÁLCULOS DO MODELO SWAT

Uma vez preparados os arquivos de entrada (modelo digital de elevação, mapa de classificação de solos, mapa de uso do solo, dados meteorológicos), o programa SWAT+ foi executado para obter o gráfico de vazão para o período estudado (2019) no exutório da bacia. Os arquivos de entrada do modelo SWAT foram preparados considerando as opções de uso do solo e tipo de solos impermeáveis, tanto urbanos quanto rurais. Os arquivos com informações meteorológicas foram preparados mediante dados extraídos da estação meteorológica da Unipampa (<https://geasunipampa.wordpress.com/dados-meteorologicos/>), conforme instruções da documentação teórica. Posteriormente, foi acionada a simulação das vazões para as precipitações acontecidas durante o mês de janeiro de 2019.

3.2.1.6 CÁLCULOS DO CICLO HIDROLÓGICO NO AMBIENTE MATEMÁTICO SCILAB

As equações teóricas consideradas pelo modelo SWAT foram programadas no ambiente Scilab e realizados os cálculos para dados pluviométricos de 2019 e outras datas. Este cálculo serve como comparação dos resultados do software SWAT+, fornecendo um cálculo independente, cujo algoritmo está sob nosso controle, diferentemente do que acontece dentro do programa SWAT+, que não pode ser simplificado ou modificado facilmente. Os dados calculados foram comparados com resultados de algumas ações de medição de vazão a campo.

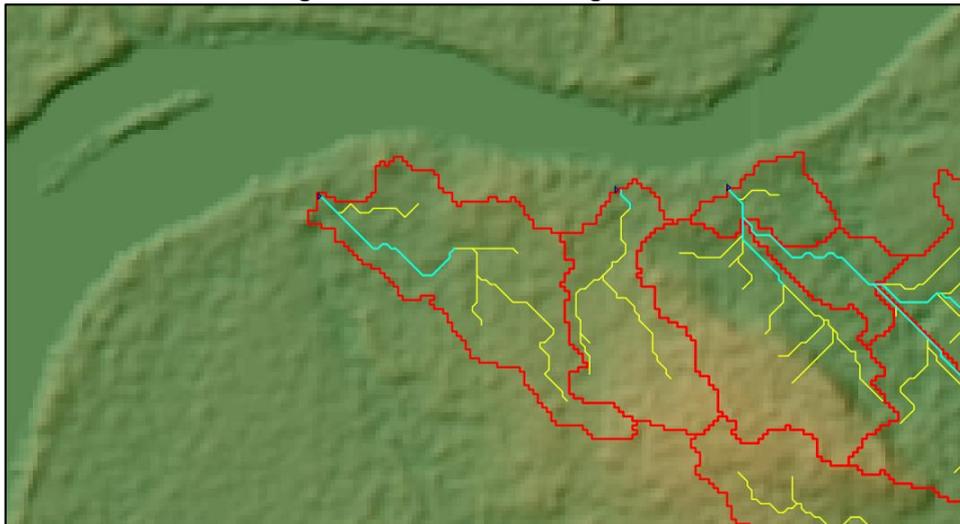
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os principais resultados, reservando uma discussão mais aprofundada para uma subseção final, específica para esse fim.

4.1 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO NO QSWAT+

Mediante os algoritmos de processamento contidos no QSWAT+ foram identificadas 3 bacias hidrográficas na área urbana de Itaqui, expostas nas figuras 6 e 7:

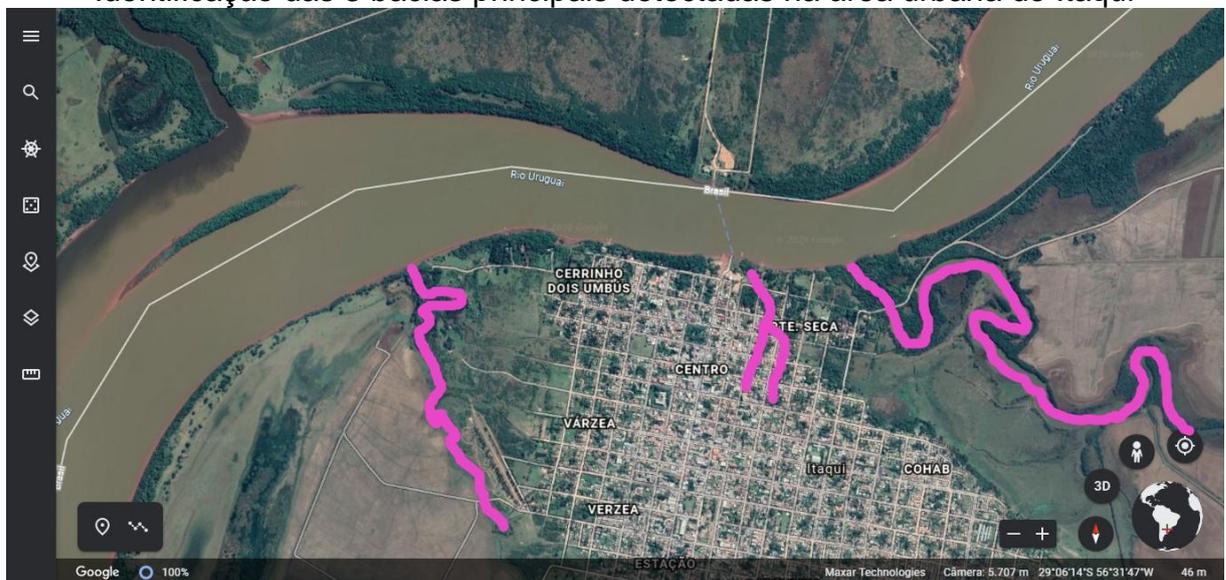
Figura 6: Bacias Hidrográficas



Fonte: Autoria Própria

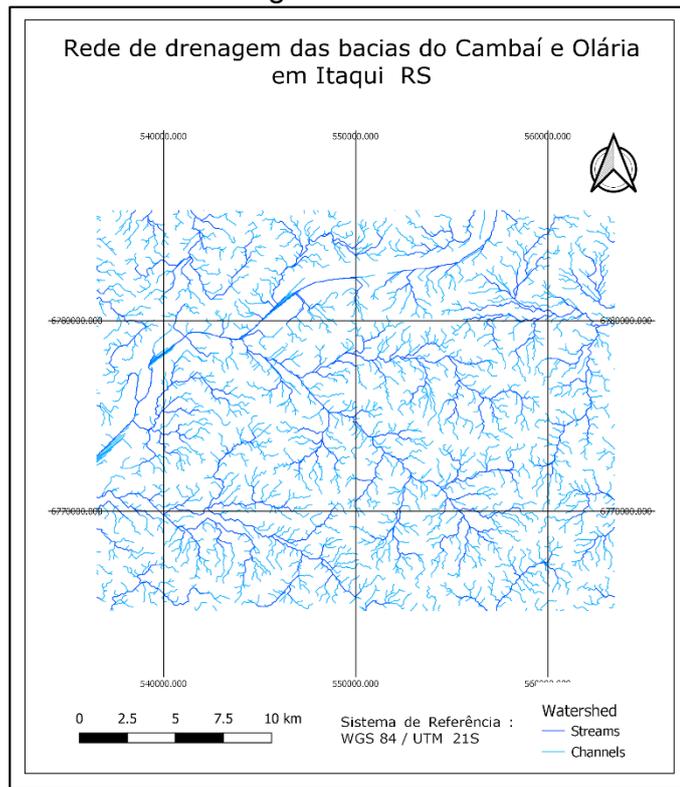
Figura 7:

Identificação das 3 bacias principais detectadas na área urbana de Itaqui



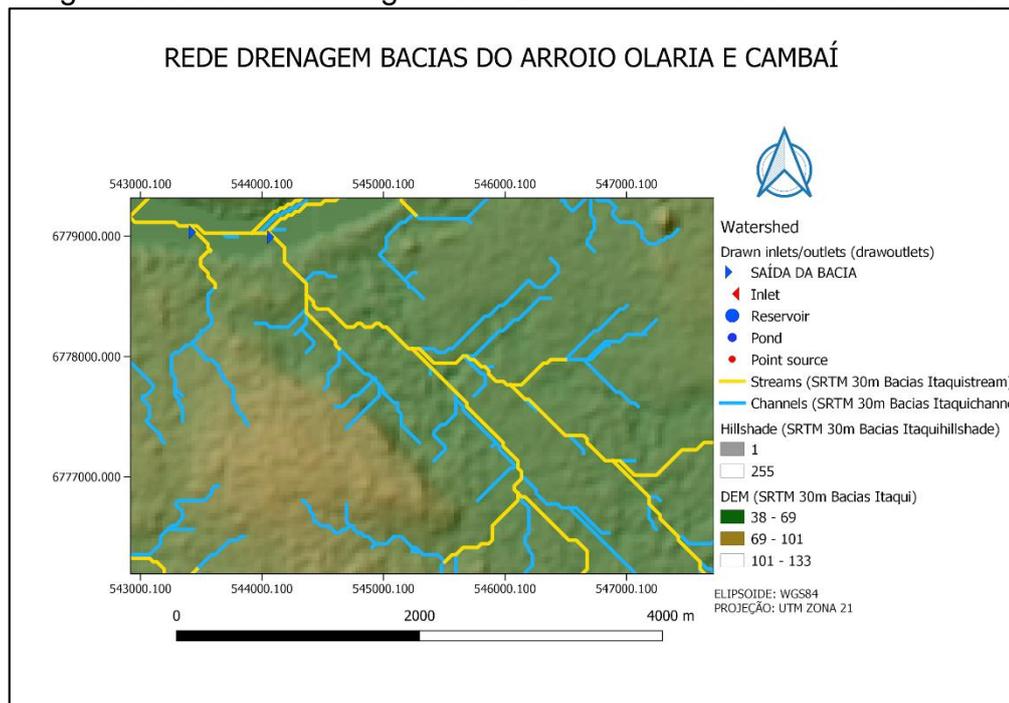
Fonte: Autoria Própria

Figura 8: Rede de drenagem das bacias do Cambaí e Olária



Fonte: Autoria Própria

Figura 9: Rede de drenagem das Bacias do Arroio Olaria e Cambaí



Fonte: Autoria Própria

4.2 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DA REDE DE DRENAGEM URBANA

Nesta seção aparecem os mapas visualizados no autocad correspondentes à área urbana de Itaqui, e à rede de esgoto da mesma. Os resultados dos cálculos aproximados de vazão também são fornecidos. Estes cálculos estão incluídos aditivamente nos cálculos de vazão indicados pelo modelo SWAT e programados no ambiente Scilab.

A vazão urbana calculada pelo Scilab pelo método das normas NBR foi de 0,28 ~0,3 mm/dia na sua condição máxima.

A vazão urbana calculada pelo método da equação de Manning foi de: 0,127 m³/s.

4.3 RESULTADOS DA ANÁLISE DO NÚMERO CN MÉDIO E COEFICIENTE DE MANNING PARA A BACIA

A tabela 2 mostra a determinação do número CN médio de acordo com as porcentagens de uso do solo:

Tabela 2: Determinação do número CN médio de acordo com as porcentagens de uso do solo

BACIA/uso→	Arroz	Campo Nativo	Hidrografia	Industria /Urbano	Mata Ciliar	Vegetação densa	Valor Média Ponderada
Olaria - km²	2.00	4.00	0.19	8.01	0.01	0.15	CN Olaria
Olaria - %	13.92	27.84	1.35	55.78	0.07	1.05	86.70
CN Tabela	82	83	45	91	74	73	n Olaria
Coef. Rugosidade Manning (n)	0.1	0.08	0	0.008	0.3	0.3	0.04

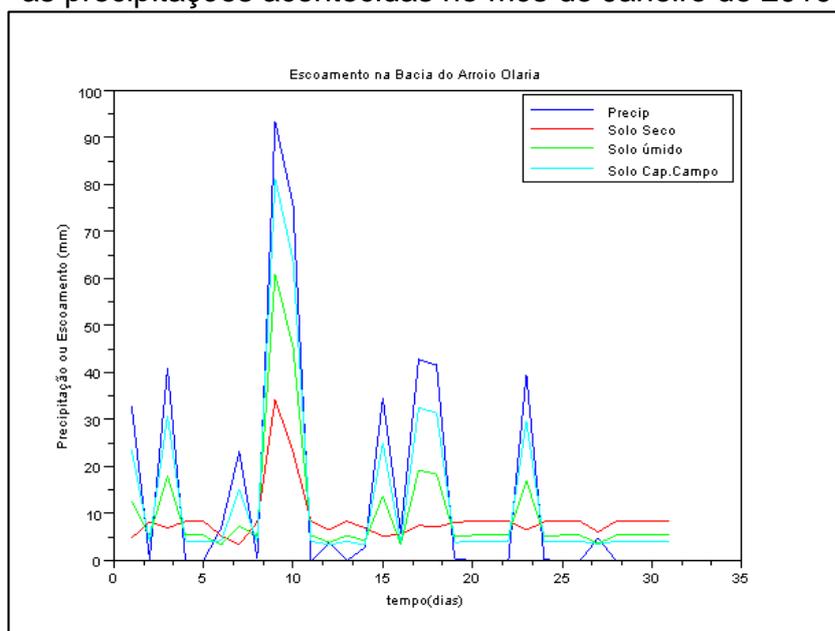
Fonte: Autoria Própria

4.4 CÁLCULOS DE VAZÃO NO AMBIENTE SCILAB

As equações utilizadas pelo modelo SWAT explicadas na seção de fundamentação teórica foram programadas no ambiente Scilab para precipitações correspondentes ao mês de janeiro de 2019. Os dados foram extraídos da estação meteorológica da Unipampa Itaqui.

Assim, a figura 10 mostra os gráficos de vazão para situações de umidade de solos diferentes:

Figura 10: Gráficos de vazão para 3 situações de umidade do solo diferentes, para as precipitações acontecidas no mês de Janeiro de 2019



Fonte: Autoria Própria

4.5 MEDIÇÃO DA VAZÃO

Nas aulas da Especialização em Ciências Exatas e Tecnologia, em Tópicos de Laboratório Interdisciplinar, durante 2017, foi realizado o levantamento aproximado do perfil do córrego Olaria na Rua Uruguaiana, e o cálculo da vazão, em condição normal, resultando num valor aproximado de 100 litros/seg. Devido às condições de precipitação da época, este valor pode ser considerado um valor de base. Como o ponto de Rua Uruguaiana não recebe toda a área da bacia do Olaria, a conversão a mm foi realizada com um valor 40% menor de área, resultando no valor de: Vazão Olaria Rua Uruguaiana = 3,057 ~ 3 mm/dia.

4.6 DISCUSSÃO

O processamento do modelo digital de elevação realizado pelo QSWAT foi baseado na definição de áreas de captação de chuva de ao menos 90 ha para os canais principais da rede de drenagem e de 9 ha para os canais secundários. Este processamento, cujo resultado pode ser apreciado na Figura, nos leva a confirmar o observado por Bariani (2016), no sentido de que a área urbana da cidade de Itaqui está conformada por 3 microbacias: a do Arroio Olaria no setor Oeste, a “Sanga das Pedras”, que deságua direto Rio Uruguai no centro, e a do Cambaí no setor Leste. Observa-se, então, que para um estudo completo da cidade deverão ser também consideradas as outras sub-bacias. Observa-se também que a bacia do Olaria abrange uma única sub-bacia das que foram criadas pelo algoritmo, valendo o mesmo

para a bacia das Pedras, enquanto que a bacia do Cambaí é formada por várias outras sub-bacias, o que é concordante com os dados Tabela, nos quais se observa que a bacia do Cambaí é uma ordem de magnitude maior que a do Olaria.

Outra observação é referente à possibilidade de definir sub-bacias menores dentro da sub-bacia do Olaria, o que pode ser feito mudando os parâmetros do SWAT para valores menores de área, de forma a ficar mais detalhada a rede de drenagem, como é ilustrado na Figura 10, onde se tem uma visão global da rede de drenagem na região completa estudada. Pode ser recortada a área menor correspondente só à bacia do Olaria para reduzir o volume de dados e tempo de cálculo. Porém, essa análise extrapolou as possibilidades do presente trabalho.

Observe-se também, que os algoritmos de processamento do modelo digital de elevação (DEM) do SWAT+ criam camadas muito interessantes (Figura 10), tais como: pontos de saída (outlet) e de entrada (inlet) na bacia, reservatórios (reservoir), açudes (ponds), canais principais (streams), canais secundários (channels), alturas (DEM) e sombras (hillshade), todos os quais podem ser complementados e constituir progressivamente um modelo mais fidedigno da bacia. Por exemplo, a bacia do Olaria tem entradas que se correspondem com a rede de abastecimento de água, que podem ser incluídas no modelo.

Com relação aos resultados dos cálculos da vazão urbana, eles correspondem a aproximadamente 0,3 mm/dia. Este valor, deve ser comparado com a vazão base do Olaria medida a campo, em condições normais, atingindo um valor da ordem de 3 mm/dia. Observa-se, então, que a vazão urbana é uma ordem de magnitude menor que a vazão base do Olaria. Sendo este córrego o menor dos cursos de água que recebe efluentes da cidade de Itaqui, podemos perceber os motivos pelos quais a cidade não foi obrigada a modernizar sua rede de drenagem, mesmo sendo esta muito antiga e precária. O fato é que a rede natural de drenagem da cidade é muito boa, e foi usada para direcionar os esgotos da cidade e as águas pluviais.

Por outro lado, a resposta em situação de chuva da bacia do Olaria pode ser analisada na base do gráfico obtido no cálculo realizado com o Scilab. Percebe-se que as vazões de escoamento do Olaria no mês de janeiro de 2019, mês de precipitações intensas de até 90 mm/dia, chegaram próximas aos 80 mm/d, tornando desprezíveis as contribuições urbanas e as oriundas das nascentes.

Com relação à análise de parâmetros de escoamento que são utilizados pelo modelo SWAT, tais como o número CN e o coeficiente de Manning, por se tratar de

uma bacia urbana, que está na área de deposição aluvial do Rio Uruguai, com alta porcentagem de argila na textura do solo, pode ser considerado que a principal característica do solo é seu alto grau de impermeabilização, tanto na área urbana quanto a rural, levando a valores elevados do número CN, próximos de 100, extraídos das tabelas fornecidas na própria documentação teórica do SWAT (NEITSCH et al., 2009). Estes números caracterizam a facilidade para o escoamento da água das precipitações para a rede de drenagem e pontos de saída da bacia. No caso do Olaria resultou um valor de 87, que resulta razoável quando comparado com os valores tabelados (Tucci, 1998).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho forma parte de um esforço conjunto coordenado pelo Laboratório Interdisciplinar Integrado, LABii, da Unipampa Itaqui, para implantação do modelo SWAT na região. Esta ferramenta de modelagem permite simular o comportamento da água dentro de uma bacia hidrográfica, com base na simulação do ciclo hidrológico. Para isso, é necessário adaptar os parâmetros das equações utilizadas pelo modelo de acordo com o que acontece na região sob estudo. Isto implica, também, um bom conhecimento da bacia a ser modelada, através de dados que são introduzidos no modelo. Além disso, é necessário formatar esses dados de entrada, para serem corretamente entendidos e utilizados pelo modelo.

No tempo disponível para este trabalho de conclusão de curso de especialização aconteceram os seguintes avanços:

1) Foram determinados os limites da bacia do arroio Olaria utilizando um modelo digital de elevação SRTM de resolução 30 m. Acredita-se ter contribuído para o aumento da precisão na delimitação desta bacia com relação aos dados disponíveis por outras metodologias.

2) Foi analisada a magnitude da vazão urbana, correspondendo a um valor máximo de 0.3 mm/dia, calculada de acordo com o recomendado nas normas ABNT para dimensionamento de redes de esgoto. Este valor foi comparado com valores de escoamento de base, alimentado principalmente por fontes subterrâneas, medido a campo, correspondente a 3 mm/dia, observando assim que é uma ordem de magnitude menor.

- 3) Foi calculada a vazão diária no mês de janeiro de 2019, que acumulou ao redor de 500 mm de chuva, utilizando as equações do modelo SWAT, fornecidas na documentação teórica, programando as mesmas no ambiente matemático Scilab. Os resultados indicam vazões de escoamento de até 80 mm/dia.
- 4) As altas vazões de escoamento obtidas se justificam pelo predomínio de solos bastante impermeáveis, tanto na área urbana quanto a rural. Nesse sentido, os principais coeficientes para o cálculo do escoamento, que são os coeficientes CN, foram calculados na base dos valores tabelados para diferentes tipos de solos, ponderados pelas áreas ocupadas na bacia por esse tipo de solos. Os CN calculados correspondem a condições de umidade: seco, normal e capacidade de campo, sendo que este último foi o que predominou no mês de janeiro de 2019, devido às precipitações frequentes e intensas. O CN médio apresentou o valor de 87, sendo 100 o máximo que corresponde a um solo totalmente impermeável.
- 5) Não foi possível, no tempo disponível, formatar os arquivos de entrada do SWAT para fazer rodar o modelo sem erros, ficando para um trabalho posterior. Também se sugere analisar a bacia do Olaria com maior detalhe em termos da rede de drenagem, procurando obter as sub-bacias dentro dela, o que é útil para aplicações de monitoramento, e devido ao efeito de represamento que o Rio Uruguai exerce no exutório, que muitas vezes obriga a medir a vazão em pontos mais elevados da bacia.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J. R.; HANEY, E. B.; NEITSCH, S. L. 1990. **Input/Output Documentation version 2012**. Texas Water Resources Institute – TR-439, 650p.
- BARIANI, C. J. M. V.; VICTORIA, N. M. B. Aplicação de caracterização morfométrica com dados SRTM para análise de enchentes em microbacias urbanas. **Geografa, Ensino & Pesquisa**, Vol. 20, n.2, p. 135-146. 2016.
- COELHO, A, L, N. Geomorfologia Fluvial de rios impactados por barragens. **Revista Online Caminhos de Geografia**. Uberlândia v. 9, n. 26. 8 p. 16 – 32, 2008.
- COSTA, J. M. de A. **Aspectos Práticos e Conceituais do Modelo SWAT+ em microbacia do Olaria e Cambaí no município de ITAQUI/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Universidade Federal do Pampa, 2019.
- KNISEL, W. **CREAMS: A field-scale models for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems**. U.S. Department of Agriculture, Report 26, 1980.

LEONARD, R. A.; Knise, W. G. L.; Still, D. A. **GLEAMS: Effects of Groundwater Loading on Agricultural Management Systems**. Trans. ASAE 30(5):1403-1428, 1987.

NEITSCH, S.L., ARNOLD J.G., J.R. KINIRY, WILLIAMS, J.R. **Soil & Water Assessment Tool SWAT - Documentação Teórica 2009**. Instituto de Recursos Hídricos do Texas - Relatório técnico No. 406 Texas. 2009.

PONCE, V. M.; HAWKING, R. H. **Runoff curve-number: has it reached maturity?**. **Journal of Hydrology Engineering**. v 1. n 1. p. 11–19. 1996.

PRUNSKI, F. F. ; GRIEBELER, N. P. ; SILVA, D. D. **Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25:403-410, 2001.

SARTORI, A., NETO, F. L., GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excendente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte1: Classificação. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 10 n. 4. p.6. 2005.

SHERESTHA, M. N. **Modelagem Hidrológica Espacialmente distribuída considerando as mudanças no uso da terra usando Sensoriamento Remoto e SIG**. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre – RS. Ed. Universidade UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p. 652. 1998.

WILLIAMS, J .R. **Routing of sediments to agricultural watersheds**. Water resource, 1984.

ZHAN, X. & HUANG, M. L. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. **Environmental Modelling & Software** 19 (10). p. 875 – 879. 2004.