

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O HIDROGRAMA CURVILÍNEO DO SCS E O HIDROGRAMA GERADO PELO SWMM APLICADOS À BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO VARGENS DE CALDAS – POÇOS DE CALDAS/MG

Natália Aparecida Lopes¹; Alexandre Silveira²

Abstract: The complexity of the processes involved in hydrological dynamics and the unique characteristics inherent to each region make hydrological simulation an essential tool for understanding the behavior of watersheds, especially in areas with scarce observed data. In this context, the present study aims to compare the unit hydrograph generated by the Soil Conservation Service (SCS) method from the United States and the Storm Water Management Model (SWMM), applied to the watershed of Córrego Vargens de Caldas, located in the municipality of Poços de Caldas (MG), Brazil. The physical characteristics of the basin, as well as land use and land cover data, were obtained through geoprocessing techniques and satellite image analysis. To overcome the lack of historical precipitation records, design storms were estimated based on the Intensity-Duration-Frequency (IDF) equation and temporally distributed using the Alternating Block Method. Based on these data, hydrographs were generated by both methods and compared in terms of peak time and peak flow. The analysis led to the adjustment of some model parameters to achieve closer agreement between the simulated hydrograph and the unit hydrograph. The SWMM and the SCS showed very similar peak flows in sub-basin S1, but differed significantly in sub-basin S2, where the SWMM estimated a value about 2.4 times higher and anticipated the peak time in both sub-basins.

Keywords – SWMM, SCS Unit Hidrograph, Comparison.

Resumo: A complexidade dos processos envolvidos na dinâmica hidrológica e as singularidades inerentes a cada região tornam a simulação hidrológica uma ferramenta essencial para a compreensão do comportamento das bacias hidrográficas, especialmente em áreas com escassez de dados observados. Neste contexto, o presente estudo busca comparar o hidrograma unitário gerado pelo método do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (SCS) e pelo modelo computacional *Storm Management Model* (SWMM), aplicados à bacia hidrográfica do Córrego Vargens de Caldas, localizada no município de Poços de Caldas (MG). As características físicas da bacia, bem como o levantamento do uso e ocupação do solo foram obtidos por meio de técnicas de geoprocessamento e análise de imagens de satélite. Para contornar a ausência de séries históricas de precipitação, foi utilizada chuva de projeto estimada a partir da equação IDF e distribuída no tempo pelo Método dos Blocos Alternados. Com base nesses dados, foram gerados hidrogramas pelos dois métodos, os quais foram comparados quanto ao tempo e vazão de pico. A análise levou ao ajuste de alguns parâmetros

1) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas, Rodovia José Aurélio Vilela, 1199 (BR 267 Km 533), Cidade Universitária, Poços de Caldas – MG, (35) 3697-4600, natalia.lopes@sou.unifal-mg.edu.br.

2) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas, Rodovia José Aurélio Vilela, 1199 (BR 267 Km 533), Cidade Universitária, Poços de Caldas – MG, (35) 3697-4600, alexandre.silveira@unifal-mg.edu.br.

do modelo com o objetivo de obter a maior aproximação entre o hidrograma simulado e o hidrograma unitário. O SWMM e o SCS apresentaram vazões de pico muito próximas na sub-bacia S1, mas divergiram significativamente na sub-bacia S2, onde o SWMM estimou um valor cerca de 2,4 vezes maior e antecipou o tempo de pico em ambas as sub-bacias.

Palavras-Chave – SWMM, Hidrograma unitário SCS.

INTRODUÇÃO

Em regiões urbanas, a forte demanda por infraestruturas como moradias, ruas e avenidas – resultante do crescimento populacional – leva ao aumento da impermeabilização do solo. Com menos área para infiltração, a água flui mais rapidamente, gerando grandes volumes de escoamento em um curto intervalo de tempo, podendo causar problemas de enchentes e inundações.

Diante da problemática apresentada, torna-se essencial a adoção de ferramentas capazes de analisar e prever o comportamento da água nas bacias hidrográficas. Nesse contexto, são utilizados modelos hidrológicos, ferramentas que empregam conceitos matemáticos e computacionais para simular os principais processos hidrológicos que ocorrem em uma determinada região. Os exemplos mais comuns são os modelos chuva-vazão, que atuam com a conversão da chuva em vazão, sendo empregados na realização de simulações e previsão de séries temporais de vazão a partir de dados de precipitação (GONTIJO, 2007).

Desenvolvido pela EPA – *Environmental Protection Agency*, nos Estados Unidos, o *Storm Water Management Model* (SWMM) é um modelo hidrológico que simula o processo chuva-vazão, com capacidade de modelar de forma quantitativa e qualitativa os diversos processos do ciclo hidrológico. (LENHS, 2012). O SWMM é um programa computacional gratuito, considerado uma ferramenta de destaque mundial em estudos voltados ao planejamento e gestão de sistemas de drenagem urbana (EPA, 2023).

A partir de dados de entrada, o SWMM simula a resposta de um determinado sistema a precipitações variáveis e outras componentes do ciclo hidrológico, bem como vazões e profundidades em cada canal ou tubulação, o que o torna uma aplicação versátil, abrangendo desde sistemas voltados à identificação e controle de enchentes, inundações e cargas poluentes até a simulação de técnicas compensatórias, em sua versão mais atual (COLLODEL, 2009; SHINMA, 2011; CAVALCANTI, 2020).

No processo de modelagem, todos os modelos, ainda que com dados medidos em campo, precisam ter alguns de seus parâmetros ajustados para melhorar a precisão dos resultados, cujas principais dificuldades de determinação incluem a precisão das estimativas de precipitação e a imensa variedade de interações internas, que podem assumir inúmeras combinações, potencialmente distorcendo os parâmetros obtidos (COLLISCHONN; TUCCI, 2001). A calibração manual consiste em ajustar de forma iterativa, alguns dos parâmetros de entrada do SWMM com base em comparações visuais e estatísticas entre os resultados do modelo e os dados de referência, buscando obter sua máxima aproximação.

Para contornar a ausência de dados observados, como séries históricas de vazão, uma alternativa possível é a utilização de um hidrograma sintético, gerado por métodos como o hidrograma unitário, como referência para a calibração. Nesse contexto, destaca-se o Hidrograma Curvilíneo, que utiliza a metodologia do *Soil Conservation Service* (SCS), desenvolvido pelo Departamento de Conservação dos Solos dos Estados Unidos, para representar a resposta do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica em função de um evento chuvoso, tendo para tanto, como parâmetro fundamental, o

tempo de concentração, que pode ser determinado empiricamente considerando a escassez de dados relacionados às características da bacia (TUCCI, 2003; PAULINO, 2014).

Face ao exposto, este estudo tem como finalidade comparar a resposta hidrológica da bacia hidrográfica do Córrego Vargens de Caldas, localizada em Poços de Caldas – MG, obtida pelo modelo computacional SWMM e pelo o método do Hidrograma Curvilíneo desenvolvido pelo SCS.

METODOLOGIA

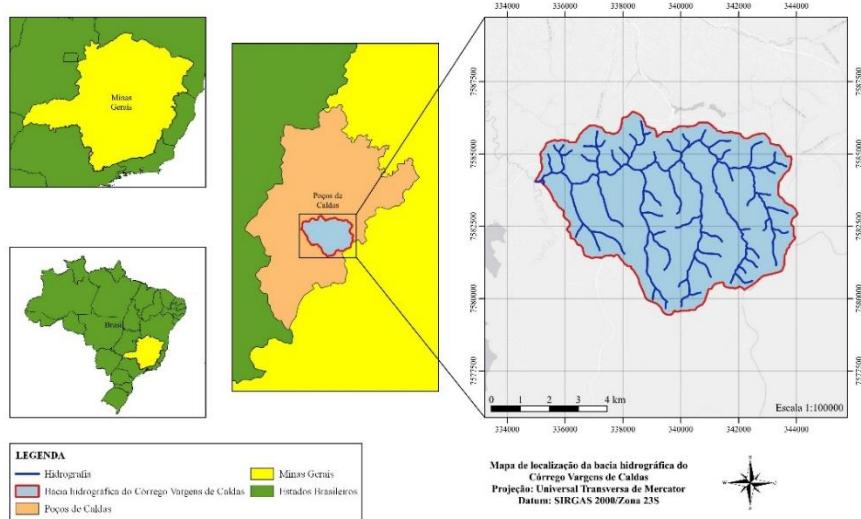
Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Córrego Vargens de Caldas, localizada no planalto de Poços de Caldas, município situado na região sudoeste do estado de Minas Gerais (Figura 1). Possui uma área de aproximadamente 42,46 km² e 29,48 km de perímetro, sendo parte do sistema de drenagem onde seu curso d'água principal, o Córrego Vargens de Caldas, é um afluente do Ribeirão das Antas, que, por sua vez, deságua no Rio Pardo, o qual contribui com suas águas para um dos principais rios da região sudeste do país, o Rio Grande.

A cidade de Poços de Caldas está situada a uma altitude de cerca de 1150 metros e, segundo a classificação climática de Köppen (1948), apresenta clima do tipo Cwb, caracterizado por invernos secos e verões com temperaturas mais amenas. A precipitação média anual na região é de 1745 mm (PREFEITURA DE POÇOS DE CALDAS, 2017). Esse regime pluviométrico aliado às características físicas da bacia, têm relação direta com o comportamento do escoamento superficial

Abrangendo uma parcela significativa da região sul da cidade, a bacia em questão se insere em uma área com perfil de ocupação bastante diversificado, com transições entre bairros residenciais consolidados, como o Jardim Kennedy II – localizado na planície de inundação do Córrego Vargens de Caldas –, um polo industrial em expansão e atividades agrícolas, o que favorece o avanço da urbanização nesse espaço (SAMPAIO et al., 2016).

Figura 1 – Localização da área de estudo.



Neste estudo, as informações, que são a base para a modelagem hidrológica, foram obtidas a partir da análise de um Modelo Digital de Terreno (MDT), criado por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de cartas topográficas disponibilizadas pelo banco de dados da Prefeitura de Poços de Caldas. As informações sobre a rede de drenagem também foram obtidas dessas mesmas cartas.

A partir do MDT, foram realizados os cálculos morfométricos necessários. A geração do modelo e a análise dos dados foram realizados utilizando o *software* Qgis. Os principais parâmetros que descrevem as características da bacia constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Características morfométricas da bacia hidrográfica do Córrego Vargens de Caldas.

Área (km²)	41.37
Perímetro (km)	29.66
Largura média - W (km)	4.71
Comp. curso d'água principal (km)	13.34
Comp. total de drenagem (km)	67.86
Declividade média - i (m/m)	0.0181
Elevação máxima (m)	1484.47
Elevação mínima (m)	1242.62

Uso e ocupação do solo e definição dos parâmetros de infiltração e escoamento

A análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica foi realizada com base em imagens do satélite CBERS 4A (China-Brazil Earth Resources Satellite), obtidas do mês de junho de 2023 e disponibilizadas pela plataforma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estas imagens foram utilizadas para criar a composição espectral RGB 321 em cor verdadeira, com resolução espacial inicial de 8 metros, representando a superfície de forma próxima à percepção humana.

Para melhorar a qualidade e o nível de detalhe da imagem, foi aplicada a técnica de *pansharpening*, que combinou a composição obtida com a banda pancromática de resolução espacial de 2 metros. O resultado foi uma imagem mais nítida e detalhada, permitindo uma análise mais precisa dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

O modelo de infiltração adotado para este estudo foi o do *Soil Conservation Service* (SCS), disponível no SWMM, para isso, é necessária a determinação do *Curve Number* (CN), que representa a capacidade de infiltração do solo. O valor de CN está diretamente associado ao uso e cobertura do solo, grupo hidrológico e condição de umidade antecedente do solo. Nesta análise, foi adotada a classe II de umidade antecedente do solo, que representa uma condição intermediária de umidade, geralmente utilizada em estudos hidrológicos.

Foram identificados dois tipos de solo na área de estudo: Neossolo e Cambissolo, sendo este último o predominante. De acordo com a classificação de Sartori et al. (2005), os Neossolos pertencem a um grupo de solos ainda em desenvolvimento, geralmente com textura arenosa, alta permeabilidade e profundidade, enquanto os Cambissolos apresentam uma textura argilosa/média, com baixo potencial de infiltração, o que os enquadra nas classes hidrológicas B e C, respectivamente.

Os valores de CN para as sub-bacias foram obtidos pela média ponderada dos valores de CN para cada tipo de uso e ocupação do solo presentes em cada sub-bacia e suas respectivas áreas. Esses valores foram extraídos da tabela fornecida pelo próprio manual do SWMM.

Os valores de profundidade de armazenamento em depressões para as áreas permeáveis (*S_perv*) e impermeáveis (*S_imperv*), foram estimados com base no manual do SWMM. Os coeficientes de rugosidade de Manning para essas sub-áreas (*N_perv* e *N_imperv*) foram calculados a partir da média ponderada dos dados do mesmo manual, considerando a proporção de cada uso e ocupação do solo na bacia. Esses dados foram inseridos no modelo como atributos das sub-bacias, sendo fundamentais para a simulação da infiltração e do escoamento superficial.

Para o cálculo das áreas permeáveis e impermeáveis, considerou-se que as áreas urbanas e corpos d'água são impermeáveis, enquanto a vegetação, as áreas de cultivo e o solo exposto foram classificados como permeáveis.

Discretização da área de estudo

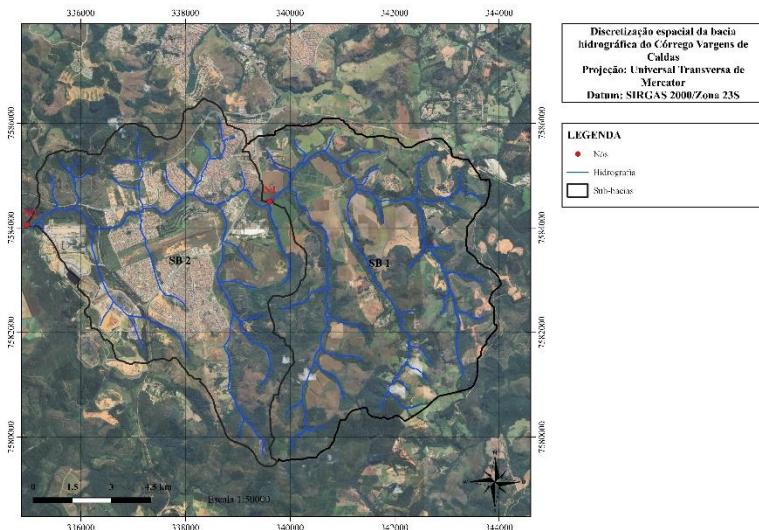
Devido a extensão da área de estudo e a grande variabilidade de características como o tipo, uso e ocupação do solo, cobertura vegetal e padrões de precipitação e, visando obter a máxima precisão do estudo hidrológico, a bacia em questão foi dividida em 2 sub-bacias, o que simplifica a simulação dos fluxos de água, permitindo a identificação das áreas que mais contribuem para o escoamento.

Para este estudo, a área de estudo foi discretizada em duas sub-bacias (Figura 2), utilizando como critério o limite entre as áreas majoritariamente rural (montante) e urbana (jusante), e a diferença entre os volumes escoados sob superfícies com diferentes níveis de impermeabilização.

Para realizar a discretização foi utilizado um arquivo no formato *shapefile* disponibilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), correspondente à bacia hidrográfica do Rio Grande, hierarquizada segundo os níveis de Otto, que permite dividir grandes bacias em unidades menores.

A partir desse dado, foram realizadas junções entre as ottobacias existentes, de forma a criar as sub-bacias de interesse, adequadas aos objetivos do presente estudo.

Figura 2 – Sub-bacias discretizadas.



Dados de precipitação e vazão

Considerando a ausência de dados de estações específicas, a obtenção dos dados de chuva e vazão, essenciais para esse estudo, foi baseada em métodos teóricos consagrados pela literatura.

A determinação da chuva de projeto foi realizada a partir da equação intensidade-duração-freqüência – IDF. Para isso, utilizou-se o software Pluvio 2.1 para a obtenção de parâmetros específicos da equação para o município de Poços de Caldas. O tempo de retorno considerado foi de 25 anos.

O tempo de concentração das sub-bacias foi calculado conforme critérios estabelecidos pela literatura. As equações de Desbordes e Corps of Engineers aplicam-se a bacias de até 51 km² e 1200 km², respectivamente, e, apesar de recomendadas para áreas menores, as equações de Ven te Chow e Kirpich também foram consideradas, pois apresentaram bons resultados em bacias rurais maiores, de acordo com estudos de Silveira (2005).

Posteriormente, utilizou-se o Método dos Blocos Alternados para distribuir os valores de precipitação calculados por meio da equação 1 em blocos de 5 minutos e, com isso, gerar os hietogramas utilizados como dados de entrada de precipitação no SWMM.

Com base no método do Hidrograma Curvilíneo, os hidrogramas de cheia foram gerados a partir da chuva efetiva, calculada utilizando-se a Equação 1. Em seguida, os hidrogramas unitários foram ajustados ao tempo de concentração e a área de cada sub-bacia, resultando nos hidrogramas de escoamento direto, utilizado como referência para a calibração dos hidrogramas gerados pelo modelo.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)} \quad (1)$$

Em que:

Q: Precipitação efetiva acumulada (mm);

P: Precipitação total (mm);

Ia: Abstração inicial (mm), geralmente fixada em 0,2S;

S: Máximo potencial de retenção do solo (mm), relacionado ao CN.

Modelagem Hidrológica

Nesta etapa, a bacia hidrográfica foi representada no SWMM como duas sub-bacias independentes: S1 e S2, e o escoamento gerado em cada uma converge para pontos específicos de concentração definidos como os nós N1 e N2, respectivamente, conforme apresentado na Figura 2.

Foram inseridas as principais características físicas das sub-bacias, tais como área de drenagem, largura média, declividade e percentual de área impermeável, além dos parâmetros necessários para a simulação do escoamento superficial e da infiltração. Para esta última, definiu-se o modelo Curve Number (CN) do SCS, o mesmo utilizado na construção do hidrograma unitário.

Foi também necessário informar as cotas do terreno e as profundidades dos nós de saída, informações obtidas por meio de levantamentos em campo. Como entrada de precipitação, utilizou-se os hietogramas de projeto correspondente a um tempo de retorno de 25 anos, gerado previamente.

Ajustes do modelo

O ajuste do modelo no SWMM foi realizado mediante a sobreposição e análise gráfica dos hidrogramas de cheia simulados e os hidrogramas unitários gerados pelo método do Hidrograma Curvilíneo.

O objetivo do ajuste foi fazer com que os hidrogramas do SWMM se aproximasse o máximo possível do comportamento previsto pelo hidrograma unitário, especialmente em relação à vazão e o tempo de pico. Para isso, foram feitas diversas tentativas de ajuste, com a alteração de alguns parâmetros do modelo.

Esse processo foi feito de forma iterativa, reavaliando os resultados a cada nova simulação, até que se obtivesse a melhor concordância entre ambos os hidrogramas, buscando sempre manter os parâmetros dentro de faixas coerentes com a realidade, evitando alterações excessivas que pudessem prejudicar a representatividade da bacia no modelo.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros que foram ajustados neste estudo. As dificuldades na determinação desses valores decorrem do fato de muitos representarem simplificações da realidade, o que impede sua medição direta, ou da inviabilidade de fazê-la (BRAVO, 2007). O estudo desenvolvido por Collodel (2009) revelou como parâmetros mais influentes nos hidrogramas resultantes a área impermeável (AI), a largura da sub-bacia (W) e os coeficientes de rugosidade de Manning, os mesmos identificados por Formiga et al. (2016), que também destacou a declividade (I) da bacia como um parâmetro sensível. Os valores para os coeficientes de rugosidade de Manning foram variados conforme os valores estabelecidos pelo manual do usuário do SWMM.

Tabela 2 – Parâmetros ajustados para S1 e S2.

Parâmetros	S1			S2		
	Iniciais	Ajustes	%	Iniciais	Ajustes	%
Área impermeável (%)	5.23	5.50	5	26.91	20.18	-25
Declividade (%)	16.46	17.0	3	13.1	10.48	-20
Largura média W (m)	5517	5650	2	4036	3632.4	-10
n-Manning imp	0.012	0.011	-	0.014	0.024	-
n-Manning per	0.5	0.4	-	0.5	0.8	-

RESULTADOS

Uso e ocupação do solo e definição dos parâmetros de infiltração e escoamento

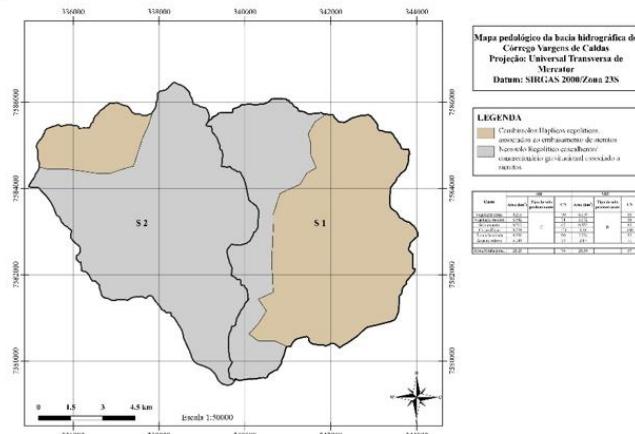
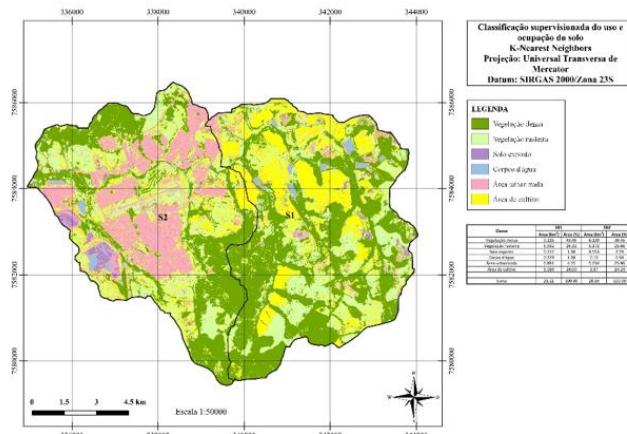
Através do mapa de uso e ocupação do solo da região (Figura 3a), observa-se que as sub-bacias S1 e S2 apresentam características distintas quanto à cobertura do solo. A sub-bacia S1, localizada na porção leste da bacia, é predominantemente composta por vegetação (69,77%) e área agrícola (24%), indicando uma ocupação majoritariamente rural, com menor grau de impermeabilização. Esse cenário favorece a infiltração da água, resultando em menor contribuição para o escoamento superficial.

Por outro lado, a sub-bacia S2, situada na porção oeste, possui um perfil de ocupação mais heterogêneo, com presença significativa de áreas urbanizadas (25,26%). Embora ainda haja a forte presença da cobertura vegetal em algumas regiões, a concentração de superfícies impermeáveis nesta sub-bacia é consideravelmente maior em comparação com S1, o que sugere um aumento no escoamento superficial durante eventos de precipitação, influenciando diretamente na vazão de pico.

A análise do mapa pedológico (Figura 3b), revela diferenças importantes entre os tipos predominantes de solo em cada sub-bacia. Em S1 predominam os Cambissolos, solos mais desenvolvidos que tendem a apresentar menor taxa de infiltração devido à sua textura mais argilosa. Já em S2, a predominância é de Neossolos, solos ainda em desenvolvimento, geralmente de textura arenosa, o que proporciona maior infiltração da água no solo. Essas características, principalmente quando associadas ao uso e ocupação do solo, influenciam diretamente o escoamento superficial em cada sub-bacia.

Figura 3a – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia.

Figura 3b – Mapa pedológico da bacia.

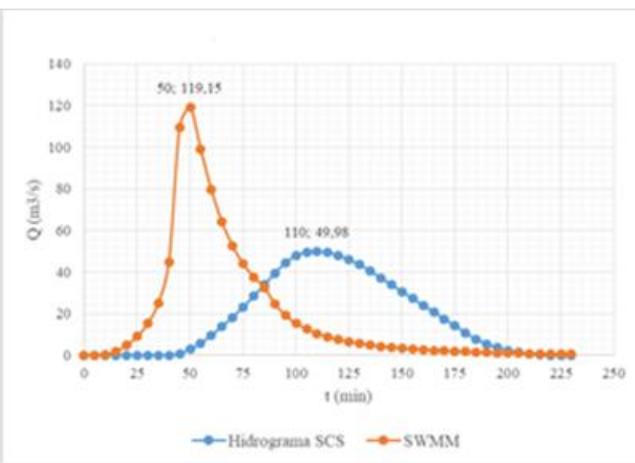
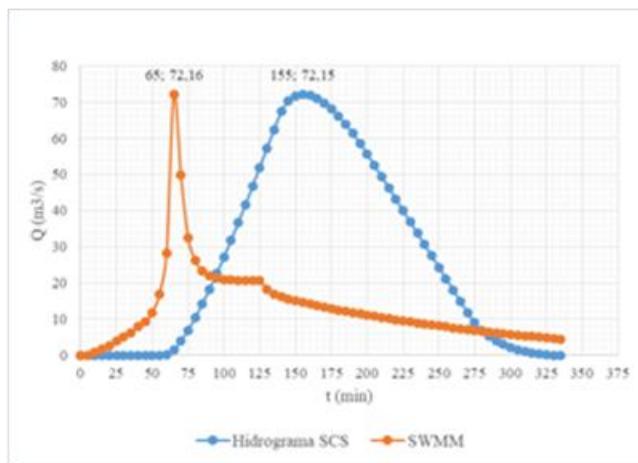


Simulação e ajuste dos hidrogramas

São apresentados os gráficos com as sobreposições dos hidrogramas simulados pelo SWMM e os hidrogramas do SCS para S1 (Figura 3a) e S2 (Figura 3b) após o ajuste dos parâmetros no modelo.

Figura 4a – Hidrogramas SWMM e HU para S1.

Figura 4b – Hidrogramas SWMM e HU para S2.



A comparação entre os hidrogramas obtidos para a sub-bacia S1 mostra resultados bem próximos em termos de vazão de pico, ambos em torno de $72 \text{ m}^3/\text{s}$. Isso mostra que o ajuste do modelo SWMM foi eficaz em reproduzir o mesmo pico de vazão estimado pelo método do hidrograma unitário do SCS. No entanto, mesmo com o ajuste dos parâmetros, houve uma diferença significativa no tempo de pico: o SWMM antecipou o pico de vazão em 90 minutos em relação ao SCS, sugerindo que o ajuste dos parâmetros não foi suficientemente sensível para modificar seu tempo de resposta.

Já na sub-bacia S2, as diferenças entre os dois métodos são ainda mais acentuadas. A vazão de pico simulada pelo SWMM supera em aproximadamente 2,4 vezes a vazão estimada pelo SCS, revelando uma divergência maior entre os dois métodos. Assim como em S1, o tempo de pico no SCS também foi maior, com um atraso de 60 minutos em relação ao SWMM.

De modo geral, o SWMM apresentou uma resposta mais rápida, com uma curva de ascensão e recessão abrupta. Em contrapartida, o hidrograma unitário do SCS apresenta uma curva mais suavizada, com escoamento diluído ao longo do tempo.

CONCLUSÃO

O presente estudo teve como propósito comparar as respostas hidrológicas da bacia do Córrego Vargens de Caldas, situada no município de Poços de Caldas – MG, a partir dos hidrogramas de cheia gerados pelo modelo computacional SWMM e pelo o método do Hidrograma Curvilíneo do SCS. Os procedimentos realizados para alcançar o objetivo proposto se basearam na coleta de informações fisiográficas da bacia e na geração de chuvas de projeto por meio de métodos empíricos. Diante da indisponibilidade de dados observados de vazão, o método do Hidrograma Unitário do SCS foi utilizado como referência para a calibração do modelo.

Com base nos resultados obtidos em ambos os métodos, foi revelado que a resposta hidrológica varia significativamente em função das características das sub-bacias, sendo esta variação ainda mais evidente no modelo SWMM. Na sub-bacia S1, onde predominam áreas rurais e menor grau de impermeabilização, os dois métodos estimaram vazões de pico bem próximas, indicando que nesse tipo de cenário, o SCS pode fornecer estimativas consistentes. Porém, mesmo com a ajuste nos parâmetros do SWMM, foi observada uma antecipação considerável do tempo de pico em relação ao SCS. Essa tendência também se mantém em S2, sugerindo que o tempo de pico apresentou pouca sensibilidade às modificações aplicadas nos parâmetros do modelo.

Na sub-bacia S2, caracterizada pela concentração de áreas urbanas e a forte presença de superfícies impermeáveis, o modelo SWMM apresentou um comportamento mais consoante ao que se espera de áreas com tais características, ou seja, um escoamento mais intenso e rápido. O método SCS, nesse caso, subestimou consideravelmente a vazão de pico, o que pode ser um indicativo de sua limitação ao representar com precisão áreas heterogêneas.

Desse modo, conclui-se que a escolha do modelo hidrológico deve considerar as características específicas da bacia, como o grau de impermeabilização, o tipo e a cobertura do solo. No entanto, para que os resultados obtidos sejam realmente confiáveis e possam subsidiar com segurança o planejamento urbano e o gerenciamento das águas pluviais, recomenda-se investir no monitoramento hidrológico da bacia. A obtenção de dados reais de precipitação e vazão permitirá avaliar com mais precisão o desempenho e a acurácia dos diferentes métodos, aproximando os resultados do comportamento real da bacia.

Além disso, destaca-se a importância de um refinamento na discretização espacial da bacia, especialmente em regiões com perfil diversificado de uso e ocupação do solo. Essas subdivisões mais detalhadas permitem representar de forma mais fiel as condições físicas e antrópicas da área de estudo, otimizando a capacidade preditiva dos modelos e contribuindo para análises mais precisas da dinâmica hidrológica local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAVO, J. M., ALLASIA, D. G., COLLISCHONN, W., TASSI, R., MELLER, A.; TUCCI, C. E. M. Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17., 2007, São Paulo. *Anais* [...]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2007. p. 1-20.

CAVALCANTI, A.A. Utilização do software SMWW na modelagem hidrológica da sub bacia do ribeirão Vai e Volta - Poços de Caldas/MG. 2020. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2020.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.6, nº1, p. 95-118, jan/mar. 2001.

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.** 2009. 219 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

EPA - United States Environmental Protection Agency. **Modelo de gestão de águas pluviais (MMC).** 2023. Disponível em: Modelo de Gestão de Águas Pluviais (SWMM) | EPA dos EUA. Acesso em: 04 de junho de 2025.

FORMIGA, K. T. M., CARVALHO, M. D., SILVA, K. A.; SOARES, A. K. Calibração do Storm Water Management Model (SWMM) utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, nº 4, p. 697-707, out/dez. 2016.

GONTIJO, N.T. **Avaliação das relações de frequência entre precipitações e enchentes raras por meio de séries sintéticas e simulação hidrológica.** 2007. 156 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM SANEAMENTO (LENHS). **Manual do Usuário EPA SWMM 5.0 (Tradução).** UFPB: 2012.

PAULINO, P.F. **Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas.** 2014. 126 p. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE POÇOS DE CALDAS. **Relevo:** PMPC, 2022. Disponível em: <https://pocosdecaldas.mg.gov.br/perfil/relevo/>. Acesso em: 04 de junho de 2025.

SAMPAIO, M.F.O.; GUIDI, M.E.; SANTOS, C.A. Análise morfométrica e revitalização da bacia hidrográfica do Ribeirão das Vargens de Caldas, Poços de Caldas - MG: uma contribuição ao planejamento urbano. **Revista Interface**, nº 11, p. 232-255, mai. 2016.

SARTORI, A.; NETO, F.L.; GENOVEZ, A.M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos estados Unidos Parte 1: Classificação, **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, nº 4, p. 05-18, out/dez. 2005.

SHINMA, T.A. **Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva vazão.** 2011. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

TUCCI, C.E.M. Parâmetros do hidrograma unitário para bacias urbanas brasileiras. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, nº 2, p. 195-199, abr/jun. 2003.