

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **PLUGIN QGIS PARA CÁLCULO AUTOMATIZADO DE VAZÃO DE PROJETO UTILIZANDO O MÉTODO DO SOIL CONSERVATION SERVICE (HIDROGRAMA UNITÁRIO - SCS)**

*Walter de Meira Lima Paiva<sup>1</sup>; Monique de Faria Marins<sup>2</sup>; Naiara da Silva Pitta<sup>3</sup>; Vinícius de Azevedo Silva<sup>4</sup>; André Phillippe dos Santos Batista<sup>5</sup>; Mateus Peixoto Oliveira<sup>6</sup>*

**Abstract:** This work, developed under the scope of FAPERJ Call No. 04/2024 (Researcher in the Company), in partnership between two companies in the environmental consulting sector, presents the development of a QGIS plugin focused on hydrological modeling using the Soil Conservation Service (SCS) method. The "SCS Unit Hydrograph" plugin automates the calculation of design flow through the integrated processing of geospatial data. Input files include watershed delineation vectors, digital elevation models, rainfall indices, and land use and land cover characteristics in raster format based on the Curve Number (CN) model, with pixel values ranging from 1 to 100 units. Among its main features are: calculation of time of concentration, generation of the unit hydrograph, estimation of rainfall intensity, rainfall distribution using the alternating block method, and convolution of hydrographs from each block to obtain the peak design flow. The software also automates tasks such as clipping and averaging raster files, as well as slope estimation. It provides geolocation and directs users to CPRM (SGB) information on hydrological stations for intensity-duration rainfall calculations. The tool offers a user-friendly interface for hydrologists and engineers, with graphical visualization features and spreadsheet export capabilities, prioritizing methods recommended by the State Institute for the Environment of Rio de Janeiro (INEA).

**Resumo:** Este trabalho, desenvolvido no contexto do edital FAPERJ nº 04/2024 (Pesquisador na Empresa), em parceria entre duas empresas do setor de consultoria ambiental, apresenta o desenvolvimento de um *plugin* para o QGIS voltado à modelagem hidrológica utilizando o método do *Soil Conservation Service* (SCS). O *plugin* “Hidrograma Unitário SCS” automatiza o cálculo da vazão de projeto por meio do processamento integrado de dados geoespaciais. Com arquivos de entrada incluindo vetores de delineamento de bacias hidrográficas, modelos digitais de elevação, índices pluviométricos e características de uso e ocupação do solo em formato matricial com base no modelo de *Curve Number* (CN), com pixels em escala de 1 a 100 unidades. Entre suas principais funcionalidades estão: cálculo do tempo de concentração, geração do hidrograma unitário, estimativa da intensidade de precipitação, distribuição da chuva pelo método dos blocos alternados e convolução dos hidrogramas de cada bloco para obtenção da vazão máxima de projeto. O *software* também automatiza tarefas como recorte e cálculo de médias em arquivos matriciais, além da estimativa de desniveis. Ele representa a geolocalização e direciona o usuário à informações do CPRM (SGB) sobre postos hidrológicos para o cálculo de intensidade-duração da chuva. A ferramenta oferece uma interface amigável para hidrólogos e engenheiros, com recursos de visualização gráfica e exportação

1) FAPERJ nº 04/2024 Pesquisador na Empresa, [wmlp.hidrology@gmail.com](mailto:wmlp.hidrology@gmail.com)

2) Nascente Soluções Ambientais e de Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - PUC-Rio, [mfmarins@gmail.com](mailto:mfmarins@gmail.com)

3) Nascente Soluções Ambientais e de Recursos Hídricos, [naiarapitta@gmail.com](mailto:naiarapitta@gmail.com)

4) Azevedo Consultoria Ambiental e Energética, [contato@azevedoambiental.com](mailto:contato@azevedoambiental.com)

5) Azevedo Consultoria Ambiental e Energética, [andre.phillipe280@gmail.com](mailto:andre.phillipe280@gmail.com)

6) Azevedo Consultoria Ambiental e Energética, [mateus.opw@gmail.com](mailto:mateus.opw@gmail.com)

em planilhas, priorizando os métodos recomendados pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA).

**Palavras-Chave** – Hidrograma, precipitação, intensidade.

## INTRODUÇÃO

O método SCS, desenvolvido pelo Soil Conservation Service – SCS (atual Natural Resources Conservation Service - NRCS), é amplamente utilizado na engenharia hidrológica para estimar a transformação da precipitação efetiva em escoamento superficial, especialmente em bacias hidrográficas de pequeno a médio porte, com áreas inferiores a 200 km<sup>2</sup>. Esse método é notável por sua simplicidade e por exigir um conjunto relativamente reduzido de parâmetros, o que o torna especialmente útil em regiões com dados hidrológicos limitados (DNIT, 2006).

Sua aplicabilidade é particularmente destacada em estudos de dimensionamento de obras de drenagem urbana e rural, bem como na análise de cenários de manejo de bacias hidrográficas. O método baseia-se em pressupostos empíricos e fornece resultados suficientemente robustos para aplicações práticas em projetos de engenharia, sendo adotado por órgãos e diretrizes técnicas, como o NRCS.

No contexto brasileiro, o método SCS também é amplamente referenciado e recomendado em publicações técnicas e acadêmicas. Segundo Tucci (2009), trata-se de uma ferramenta eficiente para modelagem hidrológica de eventos de projeto, principalmente quando aliado a técnicas de regionalização e à aplicação do modelo de perdas SCS-CN (Curve Number). Essa combinação permite a construção de hidrogramas de projeto a partir de chuvas sintéticas e parâmetros representativos do uso e ocupação do solo.

Neste trabalho, apresenta-se o desenvolvimento de um *plugin* para o *software* QGIS, o qual automatiza a aplicação do método SCS, com métodos específicos para distribuição e intensidade de chuva, para geração de hidrogramas unitários, proporcionando uma ferramenta gráfica acessível, parametrizável e adaptada ao contexto nacional.

## OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um *plugin* para QGIS, um *software* popular e de código aberto em geoprocessamento, demonstrando:

1. Funcionalidades da ferramenta na versão 1.0;
2. Premissas metodológicas básicas adotadas;
3. Importações necessárias;
4. Recursos de visualizações e resultados.

## METODOLOGIA

Esse capítulo será iniciado com apresentação do *layout* do *plugin*, como mostram as Figura 1 e 2. Em seguida, serão apresentadas as premissas metodológicas utilizadas para o desenvolvimento da ferramenta.

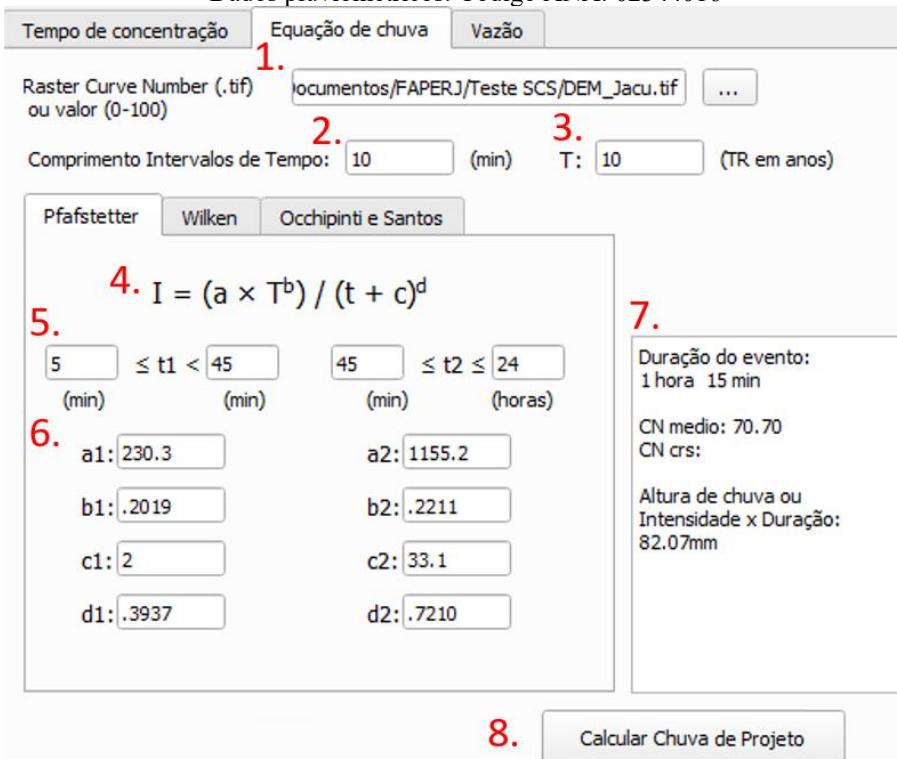
Figura 1 – Layout do *Plugin Hidrograma Unitário SCS*, aba Tempo de concentração

Tempo de concentração	Equação de chuva	Vazão						
Camada de contorno da Bacia: <b>1.</b> <input type="text" value="C:\documentos\FAPERJ\Teste SCS\bacia_rio_jurumirim_2.shp"/>	<input type="button" value="..."/>							
Canal Principal: <b>2.</b> <input type="text" value="eDrive/Documentos/FAPERJ/Teste SCS/rio_Jurumirim.shp"/>	<input type="button" value="..."/>							
Raster MDE (.tif) ou desnível (m): <b>3.</b> <input type="text" value="C:\OneDrive\Documentos\FAPERJ\Teste SCS\DEM_Jacu.tif"/>	<input type="button" value="..."/>							
<table border="1"> <tr> <td><b>Kirpich</b></td> <td><b>NRCS Lag</b></td> <td><b>California Curverts</b></td> </tr> <tr> <td><b>4.</b> <math>T_c = 3.989 \times (L^{0.77} / D^{0.385})</math></td> <td></td> <td><b>5.</b> CRS do talvegue: EPSG:31983 CRS da bacia: EPSG:31983 CRS do DEM: EPSG:4326  Resultados: Comprimento do Talvegue: 13.4210 Km Desnível (<math>\Delta H</math>): 1175.00 m Declividade média: 0.087549 m/m Área da Bacia: 69.4610 Km<sup>2</sup> Tc: 75.25 min ou 1.25 horas</td> </tr> </table>			<b>Kirpich</b>	<b>NRCS Lag</b>	<b>California Curverts</b>	<b>4.</b> $T_c = 3.989 \times (L^{0.77} / D^{0.385})$		<b>5.</b> CRS do talvegue: EPSG:31983 CRS da bacia: EPSG:31983 CRS do DEM: EPSG:4326  Resultados: Comprimento do Talvegue: 13.4210 Km Desnível ( $\Delta H$ ): 1175.00 m Declividade média: 0.087549 m/m Área da Bacia: 69.4610 Km <sup>2</sup> Tc: 75.25 min ou 1.25 horas
<b>Kirpich</b>	<b>NRCS Lag</b>	<b>California Curverts</b>						
<b>4.</b> $T_c = 3.989 \times (L^{0.77} / D^{0.385})$		<b>5.</b> CRS do talvegue: EPSG:31983 CRS da bacia: EPSG:31983 CRS do DEM: EPSG:4326  Resultados: Comprimento do Talvegue: 13.4210 Km Desnível ( $\Delta H$ ): 1175.00 m Declividade média: 0.087549 m/m Área da Bacia: 69.4610 Km <sup>2</sup> Tc: 75.25 min ou 1.25 horas						
<b>6.</b> <input type="button" value="Calcular Tempo de Concentração (Tc)"/>		<b>7.</b> Duração chuva (horas): <input type="text" value="1.25"/>						

Como forma de compreender os dados de entrada e os parâmetros que regem todo o processo, as caixas de texto de entrada e saída de dados, bem como os botões que ativam as funções, foram enumerados da seguinte forma:

1. Inserção de caminho de arquivo de contorno da bacia no formato *shapefile*;
2. Inserção de caminho de arquivo do canal principal da bacia no formato *shapefile*;
3. Inserção de arquivo matricial de modelo digital de elevação (MDE) no formato *tif* ou valor numérico em metros;
4. Equação escolhida para tempo de concentração (Tc);
5. Resultado do processamento de vetores, matrizes e cálculo de Tc;
6. Botão que aciona o cálculo de tempo de concentração, calculado pela Equação de Kirpich;
7. Duração da chuva de projeto (sempre igual ao tempo de concentração, em horas, nesta versão);

Figura 2 – Layout do *Plugin Hidrograma Unitário SCS* - aba equação de chuva  
Dados pluviométricos: Código ANA: 02344016



Tempo de concentração      Equação de chuva      Vazão

1. Raster Curve Number (.tif) ou valor (0-100)      2. Comprimento Intervalos de Tempo: 10 (min)      3. T: 10 (TR em anos)

Pfafstetter      Wilken      Occhipinti e Santos

4.  $I = (a \times T^b) / (t + c)^d$

5.  $5 \leq t_1 < 45$  (min)       $45 \leq t_2 \leq 24$  (horas)

6.  $a_1: 230.3$        $a_2: 1155.2$   
 $b_1: .2019$        $b_2: .2211$   
 $c_1: 2$        $c_2: 33.1$   
 $d_1: .3937$        $d_2: .7210$

7. Duração do evento: 1 hora 15 min  
 CN medio: 70.70  
 CN crs:  
 Altura de chuva ou Intensidade x Duração: 82.07mm

8. Calcular Chuva de Projeto

1. Inserção de arquivo matricial de *curve number (CN)*, no formato *.tif*, ou inserção manual dos valores, ambos de 0 a 100;
2. Tamanho do intervalo de tempo (nível de discretização dos cálculos de chuva e vazão);
3. Inserção do tempo de retorno (TR) em anos, de acordo com a demanda do projeto
4. Equação de chuva escolhida
5. Intervalos de tempo correspondentes para criação de curva IDF
6. Inserção das constantes de chuva para cada tempo
7. Caixa onde são exibidos valor médio de CN e altura de chuva de projeto;
8. Botão que gera a chuva de projeto associada.

Dependendo das projeções utilizadas, as unidades de medidas podem estar expressas em graus ou metros. Caso estejam em graus, a conversão é feita requisitando ao usuário informações sobre o sistema de coordenadas que será utilizado para realizar a transformação. O *plugin* é inteiramente desenvolvido em linguagem *python*, e funções como área e comprimento de feições, são nativas da biblioteca *qgis.core*. Outras funcionalidades são requisitadas por processamento do programa nativo, o próprio Qgis. Entre os exemplos, destacam-se: *rastersampling*, utilizada para extrair valores de elevação do modelo digital de elevação (MDE), baseado em pontos traçados automaticamente ao

longo do canal principal; e *cliprasterbymasklayer*, empregada para recortar arquivos matriciais de acordo com a área de interesse.

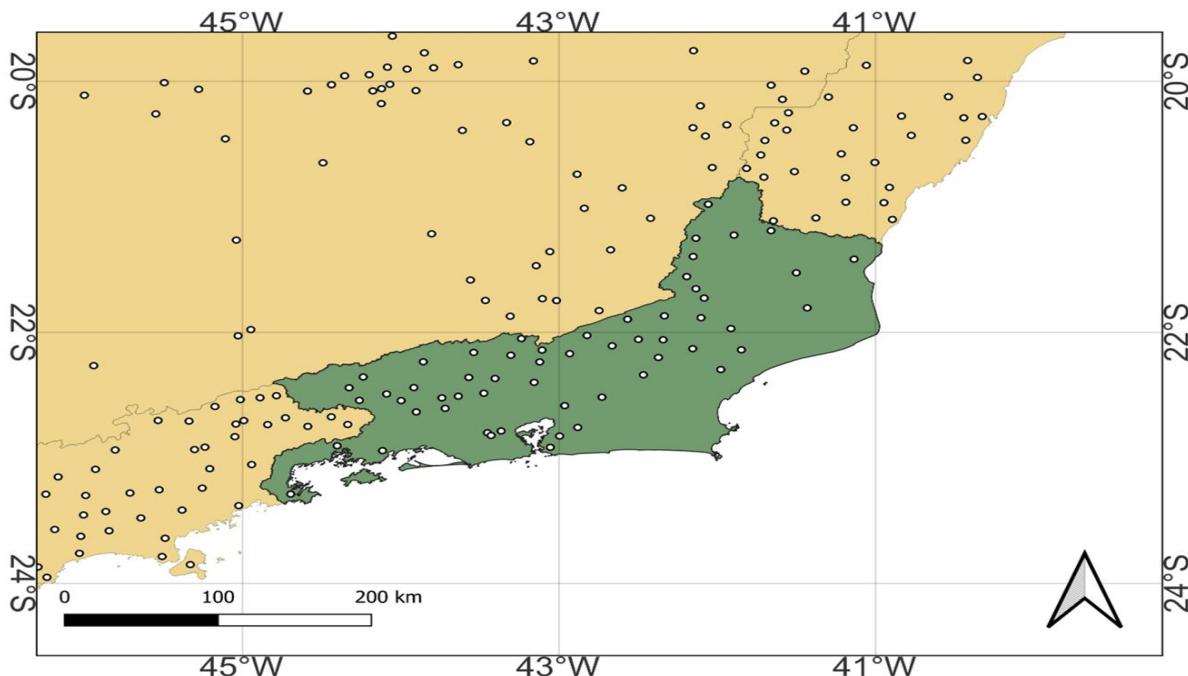
Aplicações reais do método SCS observadas pelo desenvolvedor apresentam diferenças metodológicas, conforme sub-rotinas aplicadas por diferentes órgãos e técnicos. Muitos trabalhos distinguem-se em adoção de tempo de concentração, por exemplo, com várias fórmulas existentes (como Kirpich, NRCS Lag ou California Culverts Practice), encontrando resultados diferentes para uma mesma bacia. A fórmula para tempo de concentração adotada neste contexto é a de Kirpich, que é calculada conforme Equação 1 (TUCCI, 2004).

$$T_c = 3,989 \times \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (1)$$

Onde  $T_c$  é o tempo de concentração em minutos,  $L$  é o comprimento do canal principal ou talvegue da bacia em quilômetros e  $S$  é a declividade média, em m/m, calculada a partir do desnível entre o exultório (jusante) e o ponto mais alto (montante) deste canal.

Ao acionar o botão que calcula o tempo de concentração, se torna visível no mapa do QGIS o *shapefile*, ou arquivo, contendo a espacialização das estações pluviométricas presentes no estudo do Atlas Pluviométrico do Brasil, desenvolvido pelo Serviço Geológico Brasileiro – SGB (antigo CPRM). Nos arquivos, são encontrados links com as constantes de chuva do posto escolhido a serem preenchidas, conforme figura 3.

Figura 3 - Estações pluviométricas para cálculo de curva IDF do SGB.



A distribuição temporal da chuva pode variar conforme o método adotado. Alguns órgãos, como o INEA-RJ, recomendam o método dos blocos alternados. No entanto, outros preferem métodos diferentes, utilizando hietogramas triangulares ou a distribuição de Huff. Neste trabalho é utilizado o método dos blocos alternados, conforme Menezes (2006). Para o cálculo da chuva efetiva ( $P_e$ ), não há variabilidade de métodos a serem utilizados, de modo que a equação 3 é amplamente utilizada em

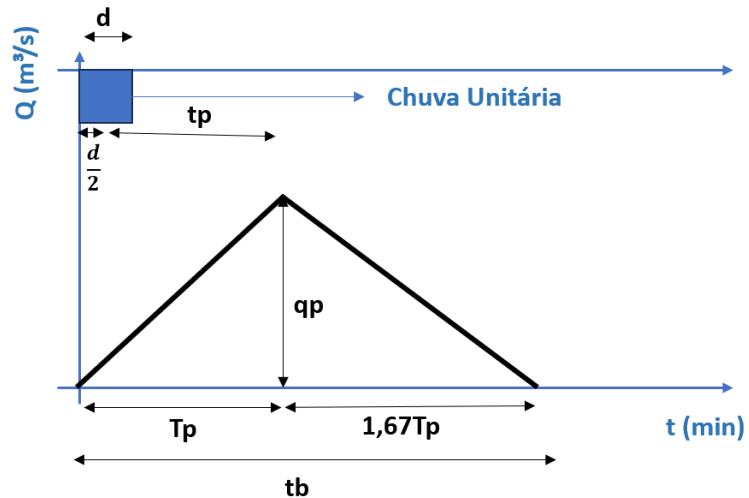
função do método SCS. Essa equação, originada de USDA (2004) e ajustada para o sistema métrico, apresenta a seguinte forma:

$$Pe = \frac{[P - (\frac{5080}{CN} - 50,80)]^2}{P + (\frac{20320}{CN} - 203,2)} \quad (2)$$

Onde  $Pe$  é a precipitação efetiva em milímetros,  $CN$  é o valor de *curve number* médio para a bacia (adimensional),  $P$  é o vetor acumulado de chuva distribuída e seu comprimento será em função de sua duração ( $d = T_c$ ) e da discretização de tempo escolhida.

Por fim, apresenta-se o hidrograma unitário, que serve como base para gerar o hidrograma final de projeto. Segundo Collischonn (2013), o hidrograma unitário é uma ferramenta utilizada para estimar a parcela de precipitação que se transforma em escoamento superficial (chuva efetiva). A teoria do hidrograma unitário considera que a precipitação efetiva é unitária, de intensidade constante ao longo de sua duração, distribui-se de forma homogênea ao longo de toda a área de drenagem. Seu hidrograma, apresentado na forma triangular (Figura 4), é comumente aplicado a “pulsos” de chuva de 1mm e 1cm.

Figura 4 - Hidrograma Unitário Triangular proposto pelo NRCS (COLLISCHONN 2013)



O tempo de ascensão ( $T_p$ ) corresponde ao intervalo estimado em que a vazão resultante atinge seu valor máximo (pico). O tempo de recessão ( $T_r$ ) representa o período necessário para que a vazão retorne a zero. Já o tempo de base ( $T_b$ ) refere-se à duração total em que é gerada de fato uma vazão resultante. A vazão de pico ( $Q_p$ ), por sua vez, é a vazão máxima resultante a um pulso de precipitação com duração  $d$ . As premissas básicas para a construção do hidrograma estão relacionadas com as equações a seguir:

$$tp = 0,6 t_c \quad (3.1)$$

$$T_p = tp + d/2 \quad (3.2)$$

$$T_r = 1,67 T_p \quad (3.3)$$

$$T_b = T_p + 1,67 T_p \quad (3.4)$$

$$Q_p = \frac{0,208 A}{T_p} \quad (3.5)$$

Onde  $T_p$  é o tempo de ascensão em horas,  $T_c$  é o tempo de concentração em horas,  $d$  é intervalo de tempo que define o número de blocos de chuva a serem distribuídos, definido em minutos,  $T_r$  é o tempo de recessão em horas,  $T_b$  é o tempo de base em horas,  $Q_p$  é a vazão de pico do hidrograma unitário em  $m^3/s.mm$ , e  $A$  é a área de drenagem da bacia em  $Km^2$ .

De maneira simplificada, o hidrograma de projeto é obtido pela convolução entre hidrogramas triangulares gerados para cada bloco de chuva efetiva, a partir do hidrograma unitário original. Nesses hidrogramas por bloco, os valores de  $T_p$  e  $T_b$  são mantidos, respeitando-se a diferença temporal em que os blocos ocorrem. Os novos valores de vazão de pico ( $Q_p'$ ) para cada bloco correspondem ao produto entre a chuva efetiva ( $P_e$ ), representada por cada bloco e o valor de  $Q_p$  do hidrograma unitário original, como será ilustrado nos resultados.

## RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os arquivos de saída do *plugin*, que se apresentam na forma de gráficos ou planilhas. Os resultados, bem como os presentes nas figuras 1 e 2, foram obtidos para o caso da Bacia do Rio Jurumirim em Angra dos Reis como mostra a figura 5.

Figura 5 – Bacia do Rio Jurumirim apresentando isolinhas de altitude com intervalo de contorno de 100m

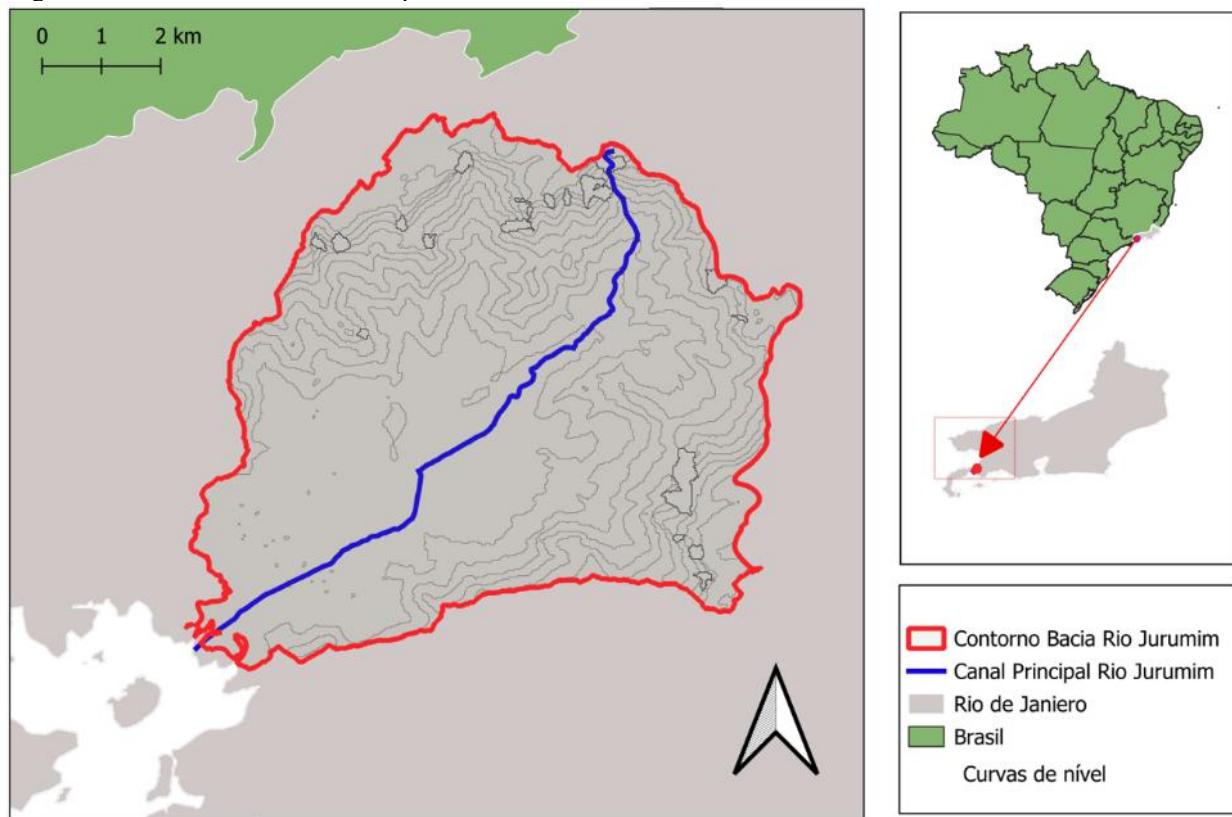
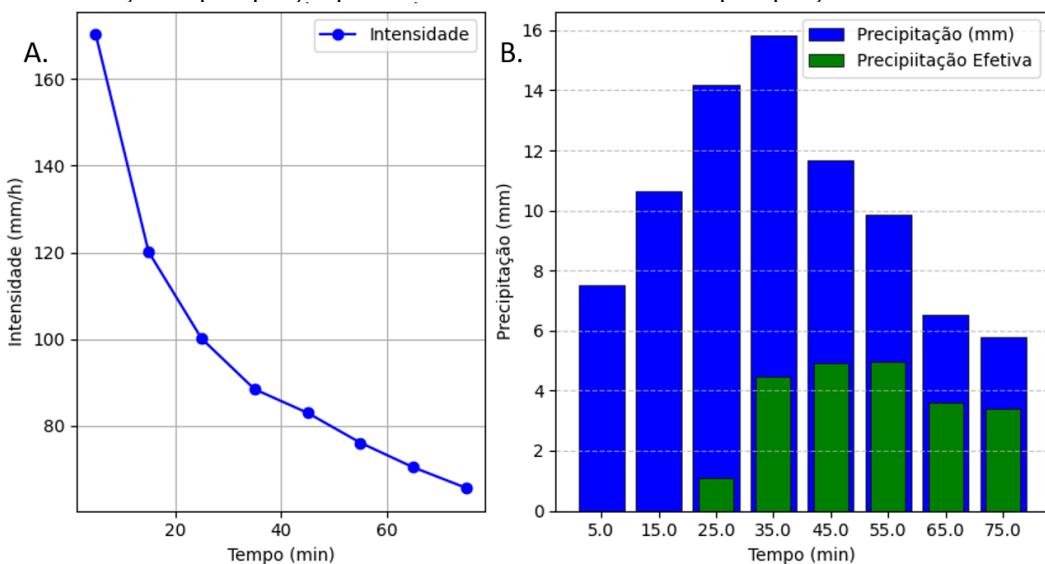
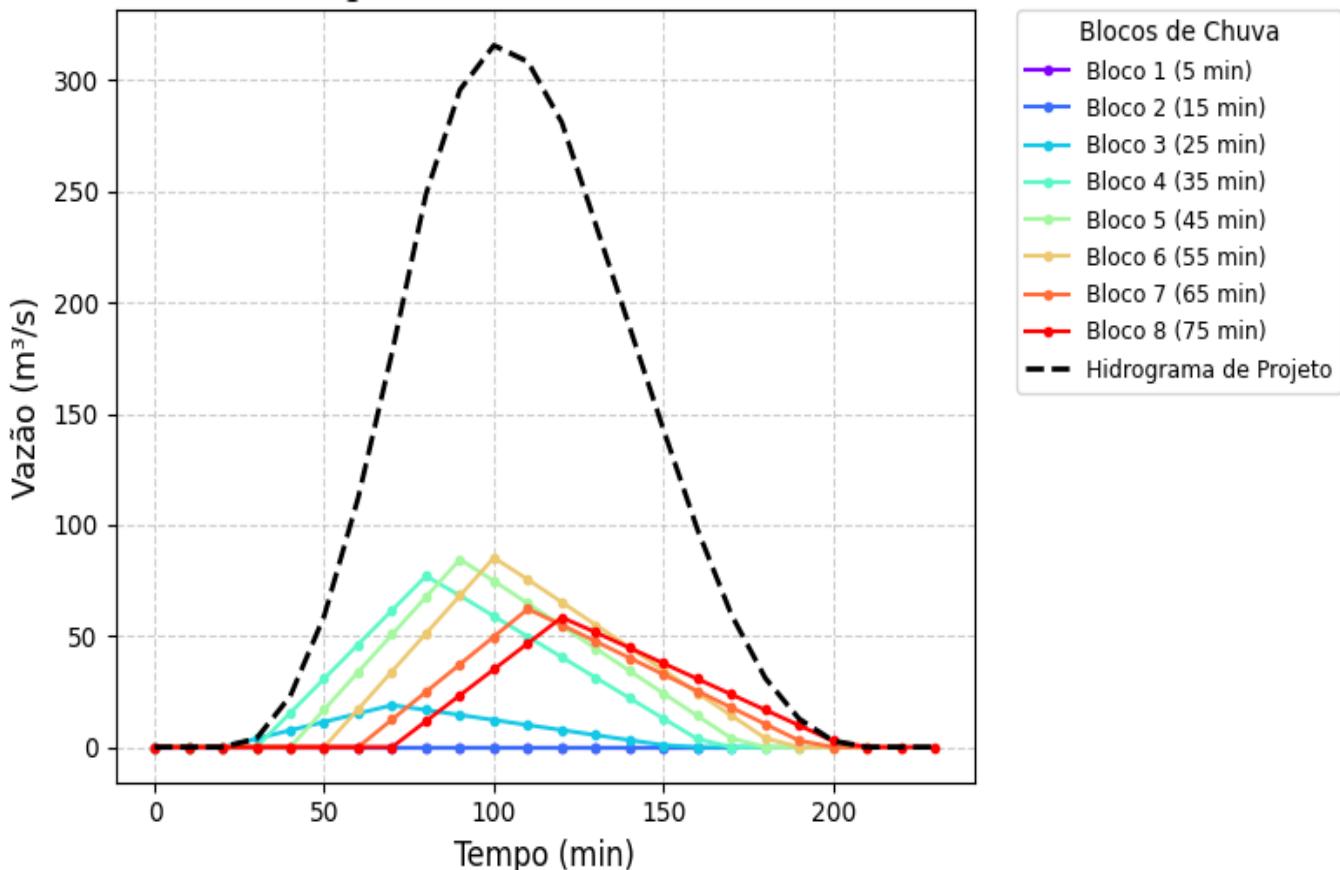


Figura 6 – Gráfico de Intensidade-Duração-Frequência para TR 10 anos e Distribuição de precipitação pelo método dos blocos alternado e precipitação efetiva.



A figura 6-A representa dados relacionados à chuva constando o gráfico de intensidade-duração-frequência, de acordo com a equação 2, até a duração total da chuva. Já a Figura 6-B representa, em azul, a precipitação distribuída pelo método dos blocos alternados e, em verde, a precipitação efetiva associada.

Figura 7 – Hidrograma Final de Projeto (em preto)



A Figura 6 ilustra a convolução dos hidrogramas triangulares gerados para cada bloco de chuva distribuída. Observa-se que os dois primeiros blocos não contribuem para o escoamento (são nulos), enquanto os demais resultam em vazões significativas contribuindo com um hidrograma com máximo de  $315\text{m}^3/\text{s}$ . No caso da chuva distribuída com intervalo de duração  $T_c = 75$  minutos, a vazão de pico ocorre no tempo de 100 minutos para a bacia estudada. O tempo de base também é incrementado, tendo em vista que o último bloco, igualmente com duração  $T_c$ , tem início aos 75 minutos.

Outros dois arquivos de saída são a planilha de distribuição de chuva, mostrando o ordenamento dos blocos, e a planilha que detalha os dados utilizados para a convolução, ilustrada pela Figura 6.

## DISCUSSÕES

O *plugin* “Hidrograma Unitário SCS” auxilia o projetista na estimativa da vazão máxima de projeto de forma prática e automatizada. No entanto, é fundamental que o usuário tenha domínio sobre o assunto, compreendendo as variáveis e condições determinantes para a obtenção do resultado. Pequenas variações nos valores de CN e no intervalo de tempo escolhido( $\Delta t$ ) influenciam consideravelmente nos resultados atingidos. Além disso, o usuário deve atentar-se ao sistema de coordenadas utilizado para cada arquivo de entrada e priorizar sempre os resultados obtidos em campo, a fim de garantir um estudo de qualidade e confiabilidade à sociedade.

Este projeto desenvolvido no contexto do edital FAPERJ nº 04/2024 visa criar soluções para empresas que possam ser replicadas, de maneira que o desenvolvimento intelectual é de propriedade do pesquisador e destinado à sociedade. Sendo este *plugin* e outras funcionalidades desenvolvidas ao longo do projeto de código aberto. Em rodapé encontra-se código fonte disponível em repositório, que na altura desta publicação pode apresentar alterações que visam atender cada vez mais as exigências de outros órgãos ambientais e se tornar um software mais robusto e versátil.

A ferramenta pode ser personalizado às necessidades de uma empresa ou instituição específica com exigência de noção média de programação de computadores pelo projetista, automatizando tarefas. Este *plugin* tem sua complexidade que pode se expandir em variedade de métodos no campo hidrológico e precisão e processamento de medidas no campo cartográfico enquanto utiliza o ambiente *Qgis* para sua execução. Este é um primeiro documento apresentando a versão 1.0.

## AGRADECIMENTOS

Esse trabalho conta com o financiamento FAPERJ nº 04/2024, que permite ao pesquisador desenvolver tecnologias em conjunto e aplicadas a problemas reais sem o qual ele não seria executável. Sua articulação se deu em ambiente também de união entre técnicos e pesquisadores no contexto do Mestrado Profissional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – UERJ que contribui para o crescimento profissional de três dos presentes autores.

## REFERENCIAS

- CPRM. Atlas Pluviométrico do Brasil (2018). Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: [\[http://www.cprm.gov.br\]](http://www.cprm.gov.br).
- COLLISCHONN, Walter. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2013.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006). *Manual de Hidrologia Aplicada* (Vol. 4). Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR). Rio de Janeiro: IPR/DNIT. pp. 105–106.
- MENEZES FILHO, F. C. COSTA, A. R. (2006). Aplicação do Método dos Blocos Alternados e da Convolução de Hidrogramas para Determinação de Escoamento Superficial Direto -pp. [1-17].
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. (2009) 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS. pp. 411–414 e pp.943
- TUCCI (2004), C. Escoamento artificial. In: TUCCI, C. (Organizador). Hidrologia 4: ciência e aplicação. ABRH/UFRGS, Porto Alegre. pp.391 – 441
- USDA – Natural Resources Conservation Service 2004. *National Engineering Handbook: Part 630 – Hydrology*. Washington, DC: USDA-NRCS. Cap. 1; Cap. 21