

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ALISSON CAPELLI DE SOUZA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO DO CAMPO
PARA OBTENÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA NO PARQUE MUNICIPAL JOAQUIM
TEODORO DE OLIVEIRA**

CAMPO MOURÃO

2023

ALISSON CAPELLI DE SOUZA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO DO CAMPO
PARA OBTENÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA NO PARQUE MUNICIPAL JOAQUIM
TEODORO DE OLIVEIRA**

**Hydrological modeling of the upper course of the rio do campo watershed for
maximum flow determination in the Joaquim Teodoro de Oliveira municipal park**

Trabalho de conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes.

CAMPO MOURÃO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ALISSON CAPELLI DE SOUZA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO DO CAMPO
PARA OBTENÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA NO PARQUE MUNICIPAL JOAQUIM
TEODORO DE OLIVEIRA**

Trabalho de conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Dr. Eudes José Arantes.

Data de aprovação: 16/novembro/2023

Eudes José Arantes
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Campo Mourão

Helton Rogério Mazzer
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Campo Mourão

Maria Cleide Baldo
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Campo Mourão

CAMPO MOURÃO

2023

Dedico este trabalho a meu avô
Oswaldo Capelli, (*in memoriam*) onde estiver
saiba que eu te amo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pela vida e oportunidade de trilhar esse caminho, a minha família, em especial meus pais Tarcísio e Andreia que nunca mediram esforços para me dar amor e a melhor educação possível, aos meus tios Sidilene e Carlos, meu primo Rafael Capelli que é um irmão para mim, a minha avó Alzira que sempre me deu amor e tudo que eu precisei e a pessoa que eu mais amei nessa vida, meu avô Osvaldo, que me acompanha hoje de longe no céu mas em vida foi meu maior exemplo qual sonho em um dia chegar perto.

Agradeço a todos meus amigos da república casa de praia que fizeram dessa jornada uma grande alegria com momentos únicos que sempre vou levar na memória e coração, em especial Olavo Veiga, Leonardo Barros, Daniela Barros, Kayque Farias, Gustavo de Jesus Pizzoloto, Gabriel Radael Besnaski, Marcos Paulo Santos e Urias de Moura Bueno Neto, quais nos momentos mais difíceis e mais alegres sempre estiveram comigo e ainda me acompanham escrevendo essa história.

Ao meu orientador prof. Eudes José Arantes que sempre esteve disponível em todos os horários e nunca se absteve para me apoiar nesse grande desafio que foi escrever essa monografia.

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos” (Isaac Newton).

RESUMO

O uso e a ocupação do solo tanto na área urbana quanto na rural tem grande impacto na variação da vazão de cursos d'água. Na área urbana este problema está atrelado a impermeabilização do solo e nas áreas rurais se deve ao manejo inadequado do uso do solo, que afetam diretamente na infiltração e escoamento superficial da água. A disponibilidade de dados hidrológicos são limitadas a locais específicos, dados críticos, como de vazões máximas, tem fundamental importância para o gerenciamento de obras, infraestrutura e expansão urbana, a partir desses motivos este estudo teve o propósito de realizar modelagens hidrológicas no alto curso da bacia rio do Campo a fim de se obter dados de vazão máxima para a unidade de conservação Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, localizado no município de Campo Mourão - PR. Para realizar a determinação da vazão máxima para tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos no parque, foi feito o uso de dois métodos diferentes, o *Soil Conservation Service Curve Number* (SCS- CN) qual foi realizado por meio do software computacional Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) e o método de regionalização de vazão que foi executado a partir das características de bacias próximas e uma série histórica de vazões ajustada pela distribuição de Gumbel. Os resultados de vazão máxima, para o exutório nos tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos pelo método SCS *Curve Number*, foram de $124,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $166 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $214,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ respectivamente, para o mesmo tempo de retorno, porém utilizando o método de regionalização os resultados foram de $109,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $132,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, e $156 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente. Conclui-se que os resultados obtidos foram satisfatórios para o estudo realizado aplicando o método SCS -CN porque apresentou maior confiabilidade comparado ao método de regionalização.

Palavras-chave: modelagem hidrológica; regionalização de vazões; vazões máximas, HEC-HMS.

ABSTRACT

The use and land occupation in both urban and rural areas have a significant impact on the variation of streamflow. In urban areas, this problem is linked to soil impermeability, while in rural areas, it is due to improper land use management, directly affecting water infiltration and surface runoff. Hydrological data availability is limited to specific locations, and critical data, such as maximum flow rates, are crucial for the management of construction, infrastructure, and urban expansion. For these reasons, this study aimed to conduct hydrological modeling in the upper course of rio do Campo watershed to obtain maximum flow data for the Joaquim Teodoro de Oliveira Municipal Park, located in Campo Mourão - PR. To determine the maximum flow for return periods of 25, 50, and 100 years in the park, two different methods were used: the Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN), performed using the Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) computational software, and the flow regionalization method, executed based on the characteristics of nearby basins and a historical flow series adjusted by the Gumbel distribution. The maximum flow results for the outlet at return periods of 25, 50, and 100 years by the SCS Curve Number method were $124.5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, $166 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, and $214.5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. Using the regionalization method for the same return period, the results were $109.46 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, $132.96 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, and $156 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. It is concluded that the results obtained were satisfactory for the study when applying the SCS-CN method because it showed greater reliability compared to the regionalization method.

Keywords: hydrological modeling, flow regionalization, hydrology, maximum flow, HEC-HMS.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	JUSTIFICATIVA.....	16
4	REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1	Modelos hidrológicos e classificações.....	17
4.2	Vazão máxima.....	18
4.3	Tempo de concentração	18
4.4	Tempo de retorno	19
4.5	Distribuição Temporal da Chuva.....	20
4.6	Método soil conservation service curve number (SCS-CN)....	20
4.7	Método de Muskingum-Cunge	29
4.8	Função de Transformação - Hidrograma Unitário SCS	30
4.9	Software The Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)	32
4.10	Regionalização de vazão máxima.....	33
4.11	Distribuição de Gumbel	34
5	MATERIAL E MÉTODOS	36
5.1	Descrição das características gerais da área de estudo	36
5.2	Delimitação das Sub-Bacias.....	37
5.3	Uso e ocupação do solo.....	37
5.4	Solos	38
5.5	SCS Curve Number (CN).....	38
5.6	Tempo de concentração	38
5.7	Intensidade-Duração-Frequência	38

5.8	Hietograma de blocos alternados	39
5.9	Modelagem da vazão máxima pelo software HEC-HMS	39
5.10	Regionalização de vazão máxima	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1	Delimitação e características das sub-bacias.....	42
6.2	Atribuição do valor do Curve Number	45
6.3	Hietograma de blocos alternados	49
6.4	Estimativa de vazão máxima pelo software HEC-HMS.....	55
6.4.1	Acréscimo da vazão de pico conforme tempo de retorno.....	56
6.4.2	Variáveis e determinação do pico de vazão	57
6.4.3	Tempo de pico, junções, trechos e exutório	58
6.5	Regionalização de vazões máximas	58
7	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	62
	APÊNDICE A – Hidrogramas HEC-HMS	71

1 INTRODUÇÃO

A maior parte da população humana mundial habita em áreas urbanas, a falta de planejamento territorial em processos de urbanização em aspectos como gestão do uso e ocupação do solo e manejo de recursos hídricos acaba por gerar diversos impactos ambientais negativos, em geral este ocorre pelo crescimento desordenado das cidades que aumenta o grau de impermeabilização do solo nas bacias hidrográficas (Kaye *et al.*, 2006).

Os processos erosivos são intensificados pela retirada de áreas com vegetação, em áreas urbanas este processo está diretamente relacionado com o aumento da população, conseqüentemente agrava-se os casos de assoreamento (Umeki, 2012).

Devido a impermeabilização do solo em áreas urbanas tem-se um maior volume do escoamento superficial que modifica as características naturais da bacia hidrográfica, isto ocorre pela ausência da infiltração de água no solo e como consequência a elevação na quantidade de enchentes em muitas cidades (Jabur, 2010).

Determinações dos elementos hidrológicos como a vazão, por meio de cálculos que tem como base o estudo topográfico, apresentam grande importância evitando dessa forma impactos negativos consequentes de uma alta vazão como colapso de estruturas e perdas econômicas (Gouvêa, 2015).

Bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas raramente possuem dados hidrológicos de vazões disponíveis, logo uma alternativa para se obter uma estimativa desses dados é utilizar métodos que fazem uso das características locais das chuvas mais intensas. Destaca-se a importância desses métodos para possíveis previsões de vazões máximas em cenários alternativos de desenvolvimento, aplicados em locais de estudo com diferentes níveis de urbanização (Collischonn; Dornelles, 2015).

A obtenção da vazão máxima tem grande importância para um melhor manejo de impactos ambientais como o assoreamento do quê? e prevenção de outros possíveis impactos negativos que possam vir a ocorrer, a cidade de de Campo Mourão - PR se encontra ainda em fase de crescimento urbano o que provoca alterações no uso e ocupação do solo, apresentando como consequência variações nas características da bacia hidrográfica alvo de estudo.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar a vazão máxima para uma sub-bacia dentro da bacia do rio do Campo onde o ponto de exutório se encontra na unidade de conservação Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, a partir de dois métodos de modelagem hidrológica para tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, para fins de comparação. Os resultados podem contribuir para o manejo de impactos ambientais como o assoreamento que ocorre no lago do parque e prevenção de outros possíveis impactos negativos que possam vir a ocorrer.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Obtenção de dados de vazão máxima para as sub-bacias do rio do Campo por meio de modelagem hidrológica, onde o ponto de exutório é o parque municipal Joaquim Teodoro de Oliveira – Campo Mourão-PR.

2.2 Objetivos Específicos

- Executar a modelagem hidrológica pelo método *Soil Conservation Service - Curve Number* com o uso do *software* HEC-HMS, para tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos.
- Executar a modelagem hidrológica da vazão máxima pelo método da Regionalização de Vazão para tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos.
- Comparar os resultados entre os dois métodos utilizados (método *SCS Curve Number* e o da Regionalização de Vazão) para a modelagem hidrológica.

3 JUSTIFICATIVA

Nas bacias hidrográficas do Brasil o número de postos pluviométricos e fluviométricos são reduzidos, assim há uma baixa disponibilidade de dados hidrológicos que são de grande importância no manejo de recursos hídricos (Lopes *et al.*, 2018).

A Lei Federal nº 6938/1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, tem como objetivo garantir a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida. Em seus princípios tem-se o incentivo a estudos e pesquisas tecnológicas com a orientação para o uso racional junto da proteção dos recursos ambientais e a proteção de áreas degradadas.

Dados de vazões máximas são fundamentais para dimensionamento de obras hidráulicas e estimativas de cheias (Tucci, 2009). Desta forma, se justifica a realização da modelagem hidrológica para a sub-bacia do rio Mourão, afim, de se obter dados de vazão máxima na unidade de conservação parque municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, como possíveis contribuições em obras e manejos que ajudem na preservação e contenção de impactos ambientais negativos no local.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Modelos hidrológicos e classificações

Na hidrologia explicar e modelar seus processos tem como principal objetivo antecipar os resultados hidrológicos de mudanças das condições físicas dentro de uma área de estudo como em bacias hidrográficas, o avanço para desenvolver e aperfeiçoar modelos hidrológicos é consequência da necessidade de se prever e integrar as dinâmicas e relações dos sistemas ecológicos, hidrológicos e humanos (Benettin *et al.* 2016; Blochl *et al.*, 2019; Kirchner, 2006).

A maior parte dos modelos hidrológicos tem sua base fundamentada em uma combinação de aproximações, o que os diferem é o seu grau de confiança em dados empíricos, analíticos ou na representação de seus princípios (Garner *et al.*, 2023).

Em relação aos dados de entrada para modelos hidrológicos, dados de precipitação estão entre os principais, as observações pluviométricas são consideradas as mais confiáveis, porém com a falta de disponibilidade de estações métodos e ferramentas de estimativa, junto de diversas variáveis, geram resultados aproximados para esses dados (Han *et al.* 2023).

Os modelos hidrológicos tem grande importância na gestão de recursos hídricos, ecológicos, climáticos, agronômicos e socioeconômicos, otimizando a capacidade de decisão em problemas complexos de diferentes escalas com aproximações satisfatórias (Hao *et al.*, 2023).

De acordo com Moreira (2005), as classificações dos modelos hidrológicos ocorrem de acordo com o tipo de variáveis a serem usadas na modelagem (estocástico ou determinístico), como as variáveis se relacionam (empíricos ou conceituais) e se existe ou não reações espaciais (distribuídos ou concentrados).

Um modelo estocástico envolve pelo menos uma variável com comportamento aleatório, como a vazão afluente futura em um reservatório. Se as probabilidades não são consideradas, o modelo é chamado de determinístico. Mesmo com entradas aleatórias, o modelo é determinístico se cada entrada resultar em uma única saída. Sistemas multivariados não lineares podem parecer caóticos, mas são erroneamente interpretados como variáveis aleatórias (Fayal, 2008).

Os modelos hidrológicos se dividem em conceituais e empíricos, os primeiros refletem os processos físicos com certo empirismo nos parâmetros, enquanto os últimos não estão ligados diretamente a esses processos, a classificação também

inclui modelos físicos que se aproximam da física do sistema usando equações diferenciais, mas enfrentam desafios na estimativa de parâmetros devido à variabilidade espacial (Fayal, 2008).

Os modelos concentrados enfocam o tempo, representando as variáveis em termos de média espacial e desconsiderando a variação local, os modelos distribuídos consideram a variação espacial das características físicas de uma bacia hidrográfica, integrando tempo e espaço na representação de variáveis e parâmetros do modelo (Cunha, 2004; Fayal, 2008).

4.2 Vazão máxima

A vazão máxima pode ser definida como a maior vazão que ocorre na seção de um canal de drenagem dentro de um período de tempo definido, esta acaba por representar as condições de inundações em um determinado local, dessa forma a vazão máxima é um indicador importante para a compreensão da ocorrência de inundações (Tucci, 2002).

A falta de dados de vazão e monitoramento de corpos hídricos acaba por dificultar o planejamento e gestão adequada das atividades humanas nas bacias hidrográficas, onde a quantidade de estações fluviométricas é menor que a de estações pluviométricas, dessa forma a maior disponibilidade de dados de chuva incentiva a modelagem de vazão por modelos chuva-vazão (Ferreira; Reis; Souza, 2021; Blanco; Figueiredo, 2017).

Para se estimar dados de vazão máxima é necessário levar em consideração as características da chuva, área, declividade e superfície da bacia hidrográfica, já para o cálculo de estimativa de chuva se deve definir o tempo de concentração na bacia (Lima *et al.*, 2016).

4.3 Tempo de concentração

O tempo de concentração é um parâmetro hidrológico que surgiu da hipótese que uma bacia hidrográfica responde como um sistema linear em relação ao escoamento superficial direto, a partir desta hipótese o tempo de concentração pode ser definido como o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica esteja contribuindo para um ponto de exutório (Silveira, 2005).

A precisão na determinação de um tempo de concentração é essencial, pois métodos racionais, hidrogramas unitários e vários modelos de chuva-vazão amplamente utilizados dependem dessa estimativa, diversas equações empíricas foram desenvolvidas para calcular esse parâmetro levando em consideração as características físicas da bacia, sua ocupação e a intensidade da chuva (Esteves; Mediodo, 2003)

A formulação para o cálculo de tempo de concentração de George Ribeiro, é a mais usada pelo Instituto Estadual do Ambiente – INEA, a mesma apresenta bons resultados para formulação de estimativa de vazões máximas para bacias com área menor que 19000 km^2 e pode ser calculada pela Equação (1), (Botelho, 2011; Silveira 2005).

$$T_c = \frac{16 \cdot L}{(1,05 - 0,2 \cdot p) \cdot (100 \cdot I)^{0,04}} \quad (1)$$

Onde:

Tempo de Concentração = T_c , dado em [min].

Relação entre área com cobertura vegetal e área total do talvegue da bacia = p , dado em [%].

Comprimento do talvegue principal = L , dado em [km].

Declividade média do talvegue principal = I , dado em [m/m].

4.4 Tempo de retorno

O tempo de retorno pode ser definido como uma estimativa do tempo em que um evento pode ser superado ou igualado, se tratando de eventos extremos como análises de vazão máxima, o tempo de retorno de uma vazão máxima é o intervalo médio de tempo dado em anos que leva entre duas ocorrências subsequentes de uma vazão maior ou igual a vazão máxima, o mesmo pode ser calculado pela Equação (2) (Collischonn; Dornelles, 2015).

$$TR = \frac{1}{P} \quad (2)$$

Onde:

Tempo de retorno = TR , dado em [anos].

Probabilidade de ocorrer um evento igual ou superior = P , dado em [%].

4.5 Distribuição temporal da chuva

Em geral, para estudos direcionados a drenagem, são adotadas relações de intensidade-duração-frequência (IDF) e modelos matemáticos do tipo chuva-vazão para definir os hidrogramas de projeto (Abreu; Sobrinha; Brandão, 2017).

O cálculo de precipitação pode ser obtido pela definição de um hidrograma por meio do método dos blocos alternados, este é caracterizado por ser uma solução simples que calcula a partir da intensidade gerada pela IDF um hidrograma onde o pico, resultado de uma duração cumulativa de precipitação até o limite da duração crítica do evento, está no primeiro intervalo de tempo, em seguida o hietograma é reordenado de modo a posicionar o pico de precipitação em um bloco central alternando então a sequência de precipitação entorno deste bloco de pico (Ribeiro, 2015; Abreu; Sobrinha; Brandão, 2017).

De acordo com Almeida, Mendonça e Reis (2015), o cálculo da IDF pode ser representado pela relação entre período de retorno, tempo de duração do evento e parâmetros localmente determinados, conforme Equação (3).

$$i = \frac{k \cdot T^a}{(T_c + b)^c} \quad (3)$$

Onde:

Tempo de concentração = T_c , dado em (mm/h)

Intensidade máxima = i , dado em [mm/hora].

Período de retorno = T , dado em [anos].

Parâmetros adimensionais determinados para o local = k, a, b, c .

4.6 Método soil conservation service - curve number (SCS-CN)

O método Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) foi publicado pela primeira vez no ano de 1956 na seção quatro do manual National Engineering Handbook pela antiga instituição norte americana Soil Conservation Service, que agora recebe o nome de National Resources Conservation Center, é um dos métodos mais populares usados para realização de cálculos de escoamento superficial, pois além de levar em consideração características hidrológicas do local e características físicas

da bacia hidrográfica como tipo de solo e uso da terra, o mesmo é de fácil entendimento e aplicação (Mishra, 2003).

De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), o método SCS-CN tem sua fundamentação na equação de balanço hídrico com sua aplicação na superfície do solo onde este é relacionado à capacidade de armazenamento de água no solo em duas hipóteses. A equação de balanço hídrico é escrita como:

$$P = Ia + F + Q \quad (4)$$

Onde:

P = precipitação ocorrida ao longo de um evento de chuva, dado em $[mm]$.

Ia = perdas iniciais, dado em $[mm]$.

F = máxima infiltração acumulada potencial, dado em $[mm]$.

Q = escoamento superficial, dado em $[mm]$.

Para a primeira hipótese é considerado que a razão entre escoamento superficial (Q) e a diferença entre a precipitação ocorrida ao longo de um evento de chuva (P) e as perdas iniciais (Ia) dado em mm , é a igual razão entre a infiltração acumulada no solo (F) dado em mm e a máxima infiltração acumulada potencial (S) dada em mm , dada pela Equação (5):

$$\frac{Q}{P - Ia} = \frac{F}{S} \quad (5)$$

A segunda hipótese atribui às perdas iniciais (Ia) o valor de 20% da máxima infiltração acumulada potencial (S), representada por:

$$Ia = 0,2 \cdot S \quad (6)$$

Ao combinar as Equações (4), (5) e (6) tem-se que:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P + 0,8 \cdot S)} \quad (7)$$

O valor da máxima infiltração acumulada potencial (S) pode ser relacionado com um parâmetro adimensional ligado as características do solo, de acordo com Hawkins *et al.*, (2009), este pode ser calculado por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (8)$$

Onde CN é um parâmetro adimensional usado para mensurar a capacidade de infiltração do solo, o mesmo pode variar de 0 a 100 e quanto mais próximo de zero maior a capacidade de infiltração do solo analisado (Collischonn; Dornelles 2015).

Tem-se quatro grupos de classificação hidrológica de solos usados para o método SCS-CN, disponibilizados por meio de estudos que analisavam variados dados de infiltração e comparações entre os mesmos, onde a base dessas comparações eram a capacidade mínima de infiltração razoavelmente constante (Genovez; Sartori, 2011). Segue abaixo a disposição dos quatro grupos de solos, suas características para as condições brasileiras (Quadro 1).

Quadro 1 – Grupos de solos usados no método SCS-CN para as condições brasileiras.

(continua)

Grupo	Característica
A	<ul style="list-style-type: none"> • Solos muito profundos com profundidade maior que 200 cm ou profundos entre 100 a 200 cm; • Solos com alta taxa de infiltração e alto grau de resistência e tolerância à erosão; • Solos porosos com baixo gradiente textural (< 1,20); • Solos de textura média; • Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil;

Quadro 1 – Grupos de solos usados no método SCS-CN.

(continua)

Grupo	Característica
A	<ul style="list-style-type: none"> • Solos bem drenados ou excessivamente drenados; • Solos com argila de atividade baixa, minerais de argila 1:1; • A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa. <p>Dentro do grupo A pode-se ter: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho com textura argilosa ou muito argilosa junto de uma alta macroporosidade; Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.</p>
B	<ul style="list-style-type: none"> • Solos profundos com profundidade de 100 a 200 cm; • Solos com moderada taxa de infiltração, resistência e tolerância a erosão; • Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50; • Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso; • Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil; • Solos com argila de atividade baixa, minerais de argila 1:1;

Quadro 1 – Grupos de solos usados no método SCS-CN.

(continua)

Grupo	Característica
B	<ul style="list-style-type: none"> • Solos com argila de atividade baixa, minerais de argila 1:1; • A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa. <p>Dentro do grupo B pode-se ter:</p> <p>Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, com textura média e horizonte superficial de textura arenosa;</p> <p>Latossolo Bruno, Nitossolo Vermelho, Neossolo Quartzarênico, Argissolo Vermelho ou Vermelho-Amarelo de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.</p>
C	<ul style="list-style-type: none"> • Solos profundos entre 100 e 200 cm ou pouco profundos entre 50 e 100 cm; • Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; • São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; • Solos associados a argila de atividade baixa; • A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.

Quadro 1 – Grupos de solos usados no método SCS-CN

(conclusão)

Grupo	Característica
C	<p>Dentro do grupo C pode-se ter: Argissolo pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; Cambissolo de textura média e Cambissolo Háptico ou Húmico, mas com características físicas semelhantes aos Latossolos (Latosólico); Espodossolo Ferrocárbico; Neossolo Flúvico.</p>
D	<ul style="list-style-type: none"> • Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão; • Solos rasos de profundidade maior que 50 cm; • Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade, minerais de argila 2:1; • Solos argilosos associados à argila de atividade alta; • Solos orgânicos. <p>Dentro do grupo D pode-se ter: Neossolo Litólico; Organossolo; Gleissolo; Chernossolo; Planossolo; Vertissolo; Alissolo; Luvissolo; Plintossolo; solos de mangue; afloramentos de rocha; demais Cambissolos que não se enquadram no grupo C; Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta</p>

Fonte: Adaptado de Sartori (2004).

Os valores mensurados para CN são relacionados aos quatro grupos de solos exibidos no Quadro (1), ao uso do solo e características das superfícies do solo, esses parâmetros se dividem de acordo com Tucci (2001) mostrados no Quadro (2), para bacias rurais e bacias urbanas e suburbanas, conforme disposto a seguir (Quadro 3).

Quadro 2 - Parâmetros adimensionais de CN para bacias rurais.

(continua)

Uso do Solo	Superfície do solo	A (CN)	B (CN)	C (CN)	D (CN)
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	84	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	75	82	85
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	69	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagem	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras Estrada de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92

Quadro 2 - Parâmetros adimensionais de CN para bacias rurais.

(conclusão)

Uso do Solo	Superfície do solo	A (CN)	B (CN)	C (CN)	D (CN)
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
Uso do Solo	Superfície do solo	A (CN)	B (CN)	C (CN)	D (CN)
Florestas	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76
Chácaras Estrada de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Adaptado de Tucci (2001).

Quadro 3 - Parâmetros adimensionais de CN para bacias urbanas e suburbanas.

(continua)

Utilização ou cobertura do solo		A (CN)	B (CN)	C (CN)	D (CN)
Zonas cultivas	Sem conservação do solo	72	81	88	91
	Com conservação do solo	62	71	78	81

Quadro 3 - Parâmetros adimensionais de CN para bacias urbanas e suburbanas.

(continua)

Utilização ou cobertura do solo		A (CN)	B (CN)	C (CN)	D (CN)
Pastagem ou terrenos	Em más condições	68	79	86	89
Prada	Em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais	Cobertura ruim	45	66	77	83
	Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, 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 escritório		89	92	94	93
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais	Lotes (m^2): <500 e % média impermeável: 65	77	85	90	92
	Lotes (m^2): 1000 e % média impermeável: 38	61	75	83	87

Quadro 3 - Parâmetros adimensionais de CN para bacias urbanas e suburbanas.

(conclusão)

Utilização ou cobertura do solo		A (CN)	B (CN)	C (CN)	D (CN)
Zonas residenciais	Lotes (m^2): 1300 e % média impermeável: 30	57	72	81	86
Zonas residenciais	Lotes (m^2): 2000 e % média impermeável: 25	54	70	80	85
	Lotes (m^2): 4000 e % média impermeável: 20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, entre outros.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas	Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
	Paralelepípedos	76	85	89	91
	Terra	72	82	87	89

Fonte: Adaptado de Tucci (2001).

4.7 Método de Muskingum-Cunge

Os modelos hidrológicos distribuídos apresentam em sua estrutura o balanço hídrico no solo e geração do escoamento a partir da precipitação junto da propagação de vazões ao longo de uma rede de drenagem (Pontes *et al.*, 2015).

É demonstrado no estudo realizado por Cunge em 1969, que a equação diferencial do método de Muskingum, proposta por McCarthy em 1939, é uma analogia a equação da onda cinemática onde a difusão da onda de cheia era resultado

de um erro numérico qual dependia de intervalos de discretização (Morresi; Zucarelli, 1999).

De acordo com Pontes e Collischonn (2012), Cunge propôs uma alternativa para se estimar os valores K e X , dessa forma a difusão resultante do erro numérico se igualava a difusão real da onda de cheia, este método passou a ser chamado de Muskingum-Cunge.

O método de Muskingum-Cunge de propagação de cheias apresenta a vantagem de uma aplicação simplificada utilizando uma aproximação das equações de Saint Venant, que são aplicadas em modelos hidrodinâmicos com resultados mais precisos, porém estes modelos dependem de um maior processamento de dados computacionais em simulações (Paranhos, 2023).

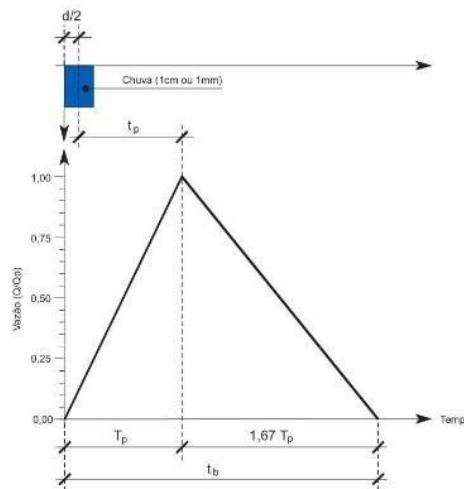
4.8 Função de Transformação - Hidrograma Unitário SCS

Em casos onde dados de precipitação e vazão para bacias específicas são inexistentes é viável a aplicação do hidrograma unitário SCS, este é amplamente aplicado em estimativas de escoamento para pequenas bacias hidrográficas, o mesmo foi desenvolvido por Victor Mockus em 1957 e também pelo Serviço de Conservação do Solo - (SCS) dos Estados Unidos da América (Shatnawi; Ibrahim, 2022).

O método consiste em um hidrograma adimensional, o mesmo é definido como um hidrograma de escoamento direto que é resultante da unidade de profundidade da chuva efetiva que ocorre em uma determinada duração de tempo sobre a área da bacia (Guta, 2022).

A obtenção do hidrograma unitário pode ser realizado por uma aproximação de um triângulo (Figura 1) que é definido pela vazão de pico, pelo tempo de pico e pelo tempo de base do hidrograma, onde esses parâmetros são calculados pelas seguintes Equações (Collischonn; Dornelles 2015).

Figura 1 – hidrograma unitário SCS.



Fonte: Collischonn e Dornelles (2015).

É estimado como 60% do tempo de contração da bacia o tempo de pico:

$$t_p = 0,6 \cdot t_c \quad (10)$$

Onde:

Tempo de concentração = (t_c), dado em [horas].

Tempo de pico = (t_p), dado em [horas].

O tempo de subida é determinado como o tempo de pico somado a metade da duração da chuva (d):

$$T_p = t_p + \frac{d}{2} \quad (11)$$

Onde:

Tempo de subida = (T_p), dado em [horas].

Tempo de pico = (t_p), dado em [horas].

O tempo de base do hidrograma pode ser aproximado por:

$$t_b = T_p + 1,67 \cdot T_p \quad (12)$$

Onde:

Tempo de base do hidrograma = (t_b), dado em [horas].

Tempo de subida = (T_p), dado em [horas].

A vazão de pico do hidrograma unitário para uma chuva de 1 *mm* é dada pela seguinte equação:

$$q_b = \frac{0,208 \cdot A}{T_p} \quad (13)$$

Onde:

Vazão de pico do hidrograma unitário = (q_b), dado em [$m^3 \cdot s^{-1}$].

Área da bacia = (A), dado em [km^2]

Tempo de subida do hidrograma = (T_p), dado em [horas].

4.9 Software The Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)

Desenvolvida pelo corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos (U.S Army Corps of Engineers) a plataforma Hydrologic Engineering Center (HEC) faz a disposição de módulos para simulação, onde o *software* HEC-HMS é destinado para simulação hidrológica (Souza, 2012).

O software é disponibilizado de forma gratuita ao público e seu uso não é restrito, o mesmo consiste em um sistema de modelagem hidrológica voltado para a simulação de processos hidrológicos que ocorrem dentro de sistemas de bacias hidrográficas, o mesmo aborda diversos procedimentos tradicionais na área de análises hidrológicas como hidrogramas unitários, roteamento hidrológico, análises de infiltração para determinados eventos entre outros, mas também inclui processos usados em simulações contínuas como evapotranspiração e contabilidade de umidade do solo (USACE-HEC, 2022).

É disponibilizado no software ferramentas que auxiliam na otimização de modelos de previsão de vazão, transporte de sedimentos, qualidade da água entre outros dispostos em um ambiente totalmente integrado que faz a inclusão de

mecanismos de computação, ferramentas de relatório de resultados e banco de dados (USACE-HEC, 2022).

4.10 Regionalização de vazão máxima

Situações de ausência e falta de disposição de dados hidrológicos de vazões máximas, médias e mínimas para lugares específicos são comuns e suprir essa carência de informação, com a instalação de redes hidrométricas, torna-se muitas vezes inviável devido ao alto custo de implementação, operação e manutenção, dessa forma é necessário se efetuar uma estimativa desses dados com base em informações já existentes e disponibilizadas por postos fluviométricos com localidade próxima, um dos métodos que executam essa estimativa é a regionalização (Tucci, 2001).

De acordo com Tucci (2002), a regionalização refere-se na hidrologia a transferência de informações de um determinado local para outro em uma área que se tenha um comportamento hidrológico semelhante, onde essas informações podem se dar na forma de um parâmetro, função ou até mesmo variável com base no princípio de similaridade espacial entre os mesmos, permite-se assim essa transferência.

Neste contexto é importante definir estes conceitos, tem-se variável como uma expressão que identifica em um processo ou fenômeno o seu comportamento, a função hidrológica pode ser definida como a relação entre uma ou mais variáveis explicativas ou estatística e outra variável hidrológica, já o parâmetro pode ser interpretado como uma característica específica dentro de um sistema hídrico (Tucci, 2002).

A previsão a longo prazo da vazão máxima em um lugar é estatística, onde a mesma é determinada pelo ajuste de uma distribuição de valores máximos com base em uma série histórica de dados já registrados no local (Tucci, 2002).

É indicado para o ajuste de séries de vazões máximas, usadas na regionalização, a distribuição de Gumbel pois este método estatístico tem fácil aplicação e resultados satisfatórios para o mesmo (Crespo, 1982).

Apesar de a regionalização hidrológica consistir em um método complexo ao ser aplicado de forma detalhada e cuidadosa, uma das formas mais simples de executar o mesmo é se estabelecer uma relação linear entre a vazão e a área de drenagem da bacia, mas a mesma pode ser executada também por outros modelos

de equação e com a aplicação de mais variáveis. (Collischonn; Dornelles, 2015).

Ao se tratar da estipulação da equação de regressão, de acordo com Tucci (2002), em geral tem-se um bom ajuste da vazão média de cheia, dada pela média entre as vazões máximas anuais, a uma curva de potência com a área de drenagem e também outras variáveis, estas seguem em geral dois tipos de equação apresentadas a seguir:

$$Q = a \cdot A + b \cdot P + c \cdot DD \quad (14)$$

e

$$Q_{max} = a \cdot A^b \cdot P^c \cdot DD^d \quad (15)$$

Onde Q_{max} é a vazão máxima dada em $m^3 \cdot s^{-1}$, a , b e c são parâmetros adimensionais, A é área de drenagem dada em km^2 , P é a precipitação dada em mm e DD é a densidade de drenagem dada por $km \cdot km^{-2}$.

Tem-se como objetivo da regionalização de vazão máxima a busca e equacionamento por relações entre valores de vazão máxima obtidos de uma série histórica e características físicas da bacia e da região entre os locais selecionados para assim se estimar um valor de vazão máxima para o ponto sem dados disponíveis, de acordo com Collischonn e Dornelles (2015), a forma de equação de regressão mais apresentada para este método é dada por:

$$Q_{max} = a \cdot A^b \quad (16)$$

Onde Q_{max} é a Vazão máxima, a e b são parâmetros adimensionais para regiões com características climáticas e geológicas parecidas e A é a área da bacia dada em km^2 .

4.11 Distribuição de Gumbel

É possível estimar-se valores de vazão máxima ao usar como base uma disposição de séries históricas de vazões anuais ou parciais, onde as séries anuais registram as vazões máximas em cada ano hidrológico, e as séries parciais a partir

de uma vazão indicada faz uso de valores máximos, para ajustar os valores de vazão máxima nessas séries aplica-se uma distribuição de extremos também chamada de distribuição de probabilidade (Tucci, 2001).

Dentre as funções de distribuição de probabilidade a distribuição de Gumbel, que foi introduzida no ano de 1941, é uma das mais utilizadas para valores extremos em estudos hidrológicos, esta refere-se a forma assintótica limite para um grupo de variáveis originais e aleatórias $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ que são independentes e tem uma distribuição uniforme, determinada por um modelo $F_X(X)$ de cauda superior exponencial (Naghettini; Pinto, 2007).

De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), a distribuição de Gumbel, também chamada de distribuição de valores extremos do tipo I, pode ser usada para estimar a probabilidade de uma determinada vazão ser excedida ou igualada em um ano aleatório pela seguinte equação:

$$Pr = 1 - e^{-e^{-b}} \quad (17)$$

Onde Pr é a probabilidade estimada, e é a base dos logaritmos naturais e b é a variável reduzida qual pode ser calculada por:

$$b = \frac{1}{0,7794 \cdot s} \cdot (x - \bar{Q} + 0,45 \cdot s) \quad (18)$$

Onde s é o desvio padrão das vazões máximas anuais, Q_{max} é a vazão máxima dada em $m^3 \cdot s^{-1}$ e \bar{Q} é a média das vazões máximas anuais. Ao combinar as Equações (17) e (18), tem-se que:

$$Q_{max} = \bar{Q} - s \cdot \left\{ 0,45 + 0,7797 \cdot \ln \left[\ln \cdot \left(\frac{TR}{TR - 1} \right) \right] \right\} \quad (19)$$

Onde TR é o tempo de retorno desejado em anos.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição das características gerais da área de estudo

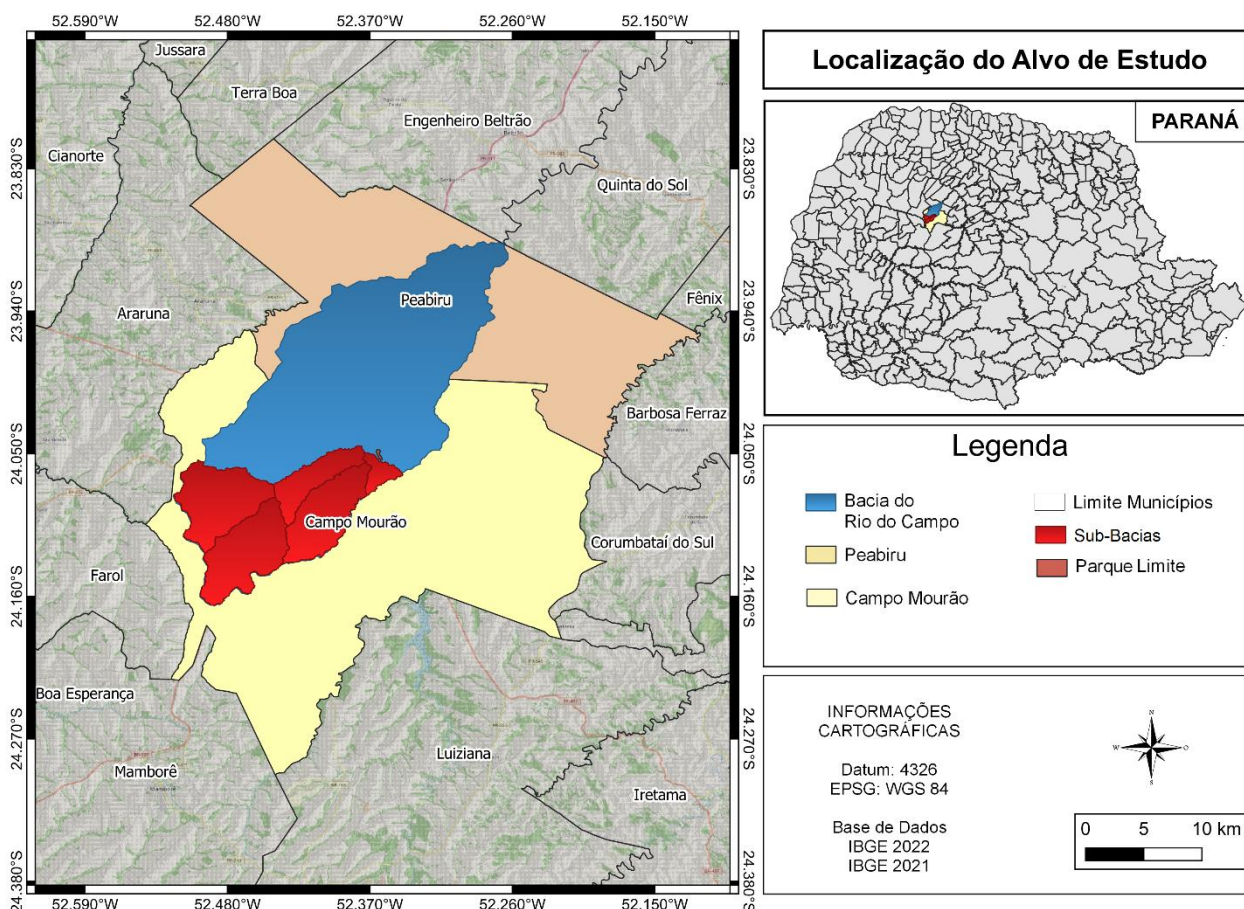
O município de Campo Mourão se encontra na região Sul do Brasil no estado do Paraná em uma altitude de 630 metros acima do nível mar, sua localização está entre as coordenadas 24°02'04" de latitude sul e 54°22'56" de longitude oeste, o município está próximo ao trópico de Capricórnio a -24 de latitude, a partir desta informação indica-se que a região se encontra em uma ampla faixa de transição climática (Calderon; Borsato, 2017).

Tem-se para o município de Campo Mourão uma área de aproximadamente 746,595 km^2 com uma população de 96.102 habitantes e a principal atividade econômica é a agropecuária, onde a lavoura temporária tem a maior área de ocupação com 57,606 ha (Ipardes, 2022).

As características climáticas da região apresentam o tipo climático Cfa - Clima Mesotérmico Subtropical que envolvem verões quentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida e geada pouco frequente. A temperatura média anual varia entre 20° C e 21° C, em que as médias máximas oscilam entre 26° C e 28° C, e mínimas entre 15° C e 17° C (Koppen, 1948; Maack, 1981) citar Atlas climático do estado do Paraná, fonte mais recente.

A bacia hidrográfica do rio do Campo, ocupa uma área de 384 km^2 onde deste total 247 km^2 se encontra no município de Campo Mourão - PR e 137 km^2 no município de Peabiru - PR Figura 2 (Vilwock *et al.*, 2018).

Figura 2 – Localização do local de estudo.



Fonte: autoria própria.

5.2 Delimitação das sub-bacias

A delimitação das sub-bacias dentro da bacia do rio do Campo foi executada no *software* HEC-HMS por meio de um Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido na plataforma EarthExplorer (USGS, 2022).

O *software* possibilitou gerar a partir do MDE o processamento de trechos de rios e as confluências, comprimento, declividades, delimitar o ponto de exutório, área de drenagem, delimitar as sub-bacias hidrográfica junto dos dados numéricos dessas informações em seus limites.

5.3 Uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo foi gerado no *software* QGIS versão 3.16 (QGIS.ORG, 2022) com dados retirados da plataforma MapBiomas para o ano de 2021 e delimitados para os limites das sub-bacias. Os cálculos de métricas de paisagem da cobertura da terra e proporção de cobertura da terra em porcentagem

foram executados com o uso do complemento LecoS (ECOLOGY CONSERVATION, 2022).

5.4 Solos

O levantamento de dados de solos foi realizado por meio da base de dados disponibilizada pelo ITCG (2023), que foram delimitados e processados para a área de estudo da sub-bacia no software QGIS 3.16 (QGIS.ORG, 2022).

5.5 SCS Curve Number (CN)

Para a obtenção dos valores de CN foram usadas as informações sobre as classes de solos presentes nas sub-bacias delimitadas, para assim classificá-los de acordo com o Quadro 1, com essa classificação e dados de uso e cobertura do solo os valores de CN foram gerados de acordo com o Quadro 2 e Quadro 3. O processamento desses dados foi executado por meio do *software* QGIS 3.16 que possibilitou a geração de uma média geral do valor de CN em cada sub-bacia.

5.6 Tempo de concentração

O tempo de concentração foi calculado por meio da Equação (1), para todas as cinco sub-bacias delimitadas dentro da bacia do rio do Campo, com seus respectivos dados de relação entre área com cobertura vegetal, comprimento do talvegue principal e declividade média do talvegue principal.

5.7 Intensidade-Duração-Frequência

A distribuição temporal da chuva foi calculada por meio da equação da IDF para o município de Campo Mourão levantada no estudo de Arantes *et al.*, (2009), representada pela Equação 20.

$$i = \frac{901,51 \cdot Tr^{0,1803}}{(Tc + 11)^{0,7508}} \quad (20)$$

Onde

Intensidade máxima = i , dado em [$mm \cdot h^{-1}$].

Tempo de retorno = Tr , dado em [$anos$].

Tempo de concentração = Tc , dado em [$minutos$].

5.8 Hietograma de blocos alternados

O cálculo de precipitação foi gerado por meio do método do hietograma de blocos alternados para cada tempo de retorno, neste método foram selecionados intervalos de tempo de chuva de acordo com o tempo de concentração de cada sub-bacia e os valores para os intervalos disponíveis dentro do software HEC-HMS, foi necessário arredondar os valores de tempo de concentração para adequá-los aos intervalos de tempo do HEC-HMS.

Para definir a precipitação acumulada, por meio da Equação (21), foi feito o uso dos dados de intensidade máxima e intervalo de tempo em horas.

$$Pac = \frac{i}{It} \quad (21)$$

Onde:

Precipitação acumulada = Pac , dada em $[mm]$.

Intensidade máxima = i , dada em $[mm \cdot h^{-1}]$.

Intervalo de tempo = It , dado em $[horas]$.

A precipitação em cada intervalo de tempo, em mm , foi definida por meio da subtração da precipitação acumulada do intervalo de tempo posterior pela precipitação acumulada do intervalo alvo.

Com os valores de precipitação para cada intervalo de tempo definido foi gerado um hietograma onde o pico, resultado da duração cumulativa de precipitação até o limite de tempo da duração crítica do evento, está no primeiro intervalo de tempo seguido dos outros valores de precipitação em ordem decrescente. A partir deste hietograma foi gerado o hietograma de blocos alternados, onde os “blocos” de precipitação foram reordenados de modo a posicionar o pico de precipitação em um bloco central alternando então a sequência de precipitação entorno deste bloco de pico, dando a forma de uma pirâmide para o hietograma.

5.9 Modelagem da vazão máxima pelo software HEC-HMS

No software HEC-HMS, com as bacias já delimitadas e os trechos de rios e confluências, comprimento de trechos de rios, declividades de trechos de rios,

delimitação do ponto de exutório e área de drenagem, o primeiro passo foi selecionar o método de perda como SCS Curve Number e indicar os valores de perdas iniciais, calculadas pela Equação (6), e CN médio obtido para cada sub-bacia.

O método de transformação foi definido como hidrograma unitário SCS e então indicado os valores de tempo de pico, calculados pela Equação (10), para cada sub-bacia. Para execução da modelagem foi necessário criar dentro do software um modelo meteorológico e defini-lo como modelo específico, para assim indicar os valores de precipitação em cada intervalo de tempo de acordo com os hidrogramas de blocos alternados para cada sub-bacia, esse processo foi executado para os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos.

O método de propagação foi definido como o método de Muskingum Cunge, onde foi indicado os dados de comprimento, declividade média, coeficiente de rugosidade de Manning, vazão média no trecho e largura do canal.

O coeficiente de rugosidade de Manning para canais com leito pedregoso e talude vegetado varia de 0,025 para condições muito boas a 0,040 para condições ruins, os valores medianos seriam para condições boas e regulares 0,030 e 0,033 respectivamente (Babstista; Coelho e Cirilo, 2001; Porto, 1998). Foi escolhido o valor de 0,033 para o respectivo coeficiente na aplicação da modelagem, para canais com leito pedregoso e talude vegetado em condições regulares.

De acordo com o estudo de Pretzel (2017), a vazão específica para o Rio do Campo tem o valor de $0,01905463 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$, este foi o valor usado para o método de modelagem.

5.10 Regionalização de vazão máxima

Os dados das bacias selecionadas para a regionalização de vazões foram obtidos por meio da Rede Hidrometeorológica Nacional ANA (2023), coordenada pela Agência Nacional de Água e Saneamento Básico em parceria com outras instituições federais e entidades estaduais.

As bacias foram selecionadas de acordo com a proximidade da bacia alvo de estudo e tamanho da área, onde essas foram a bacia de Quinta do Sol, Bacia ETA de Campo Mourão e Bacia de Salto Natal. Os dados de vazão máxima das respectivas bacias hidrográficas foram transferidos para o software SisCAH 1.0, de livre acesso e disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa, neste foram calculadas as

médias anuais de vazão máxima e aplicado o método de probabilidade de Gumbel por meio da Equação (19) para os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos.

A partir dos dados de vazão obtidos pela probabilidade de Gumbel e valores de área das respectivas bacias hidrográficas foram estipulados os valores das variáveis a e b da Equação (16) pelo método dos mínimos quadrados para os tempos de retorno determinados, posteriormente com a ferramenta solver no software Excel os valores de a e b foram ajustados para se obter um maior coeficiente de correlação.

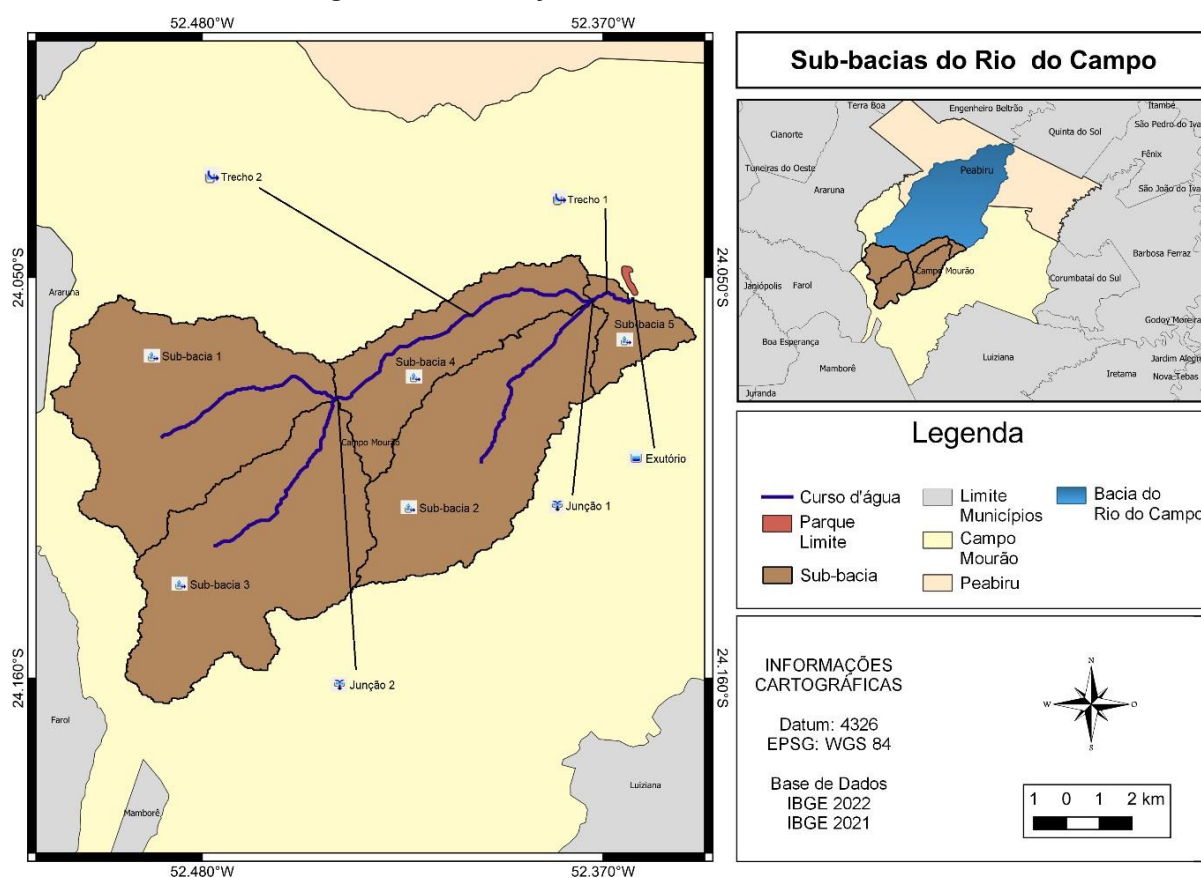
Com as variáveis da equação de regionalização determinados e ajustados as vazões máximas das respectivas bacias foram regionalizadas por meio da Equação (16) a partir do valor de área da bacia alvo de estudo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Delimitação e características das sub-bacias

Foram delimitadas cinco sub-bacias dentro da bacia do rio do Campo de acordo com a recomendação do software HEC-HMS, onde o ponto de exutório foi marcado pouco antes do limite da área do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, Figura (3).

Figura 3 - Delimitação das sub-bacias estudadas.



Fonte: autoria própria

Os resultados de declividade, comprimento dos trechos de rio, perímetro e área, para cada uma das cinco sub-bacias foram gerados e dispostos no Quadro 4.

Quadro 4 – Características físicas das sub-bacias

(continua)

Sub-bacias	Área (km^2)	Declividade	Comprimento do rio principal (km)	Área vegetada
1	34,94	0,08	11,14	99,77%
2	17,07	0,07	12,05	76,36%

Quadro 4 – Características físicas das sub-bacias

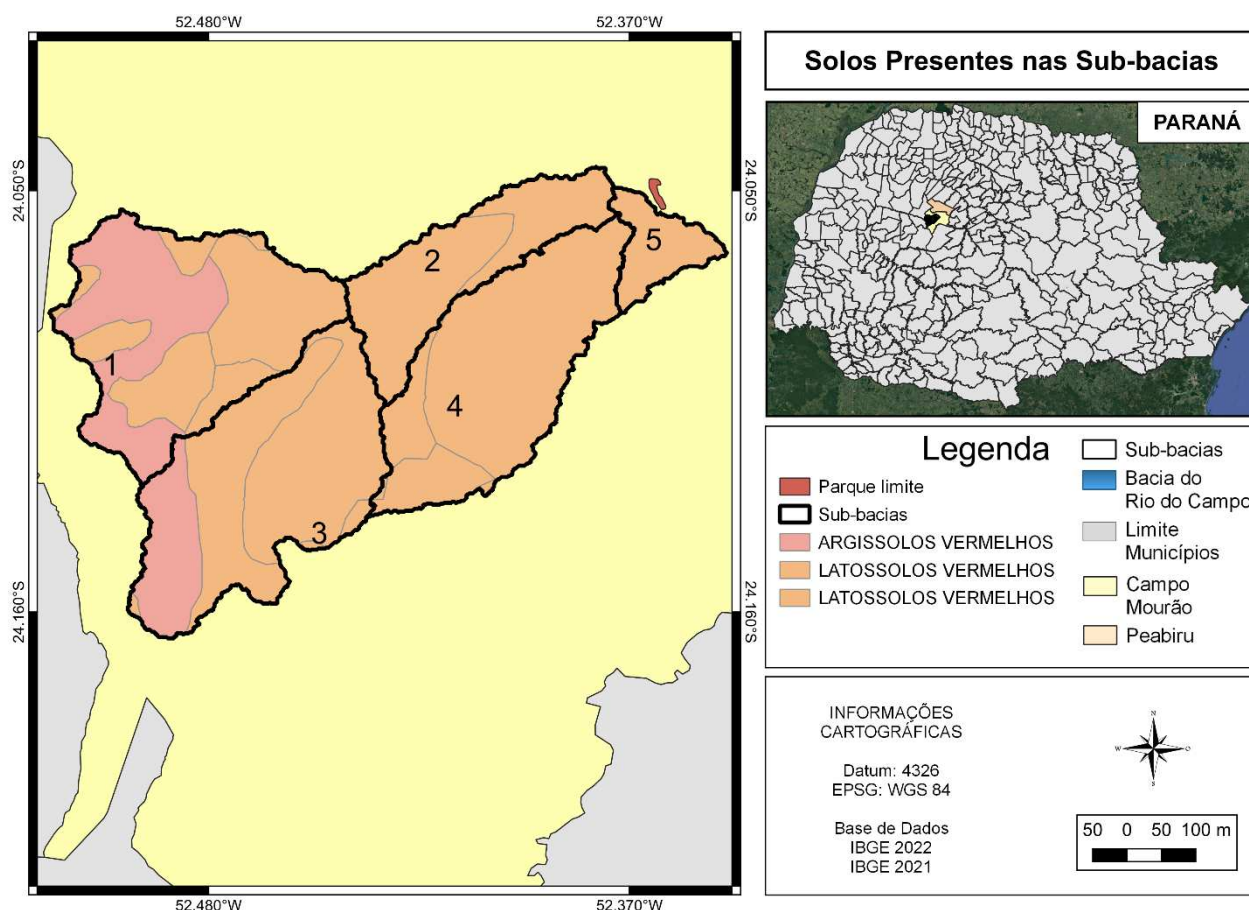
(conclusão)

Sub-bacias	Área (km ²)	Declividade (m/m)	Comprimento do rio principal (km)	Área vegetada
3	35,25	0,08	13,17	99,10%
4	30,37	0,07	12,50	96,02%
5	5,19	0,06	3,51	79,71%

Fonte: autoria própria.

A Figura 4, mostra os solos presentes dentro das cinco sub-bacias delimitadas para a área de estudo.

Figura 4 – Classes de solos das sub-bacias.

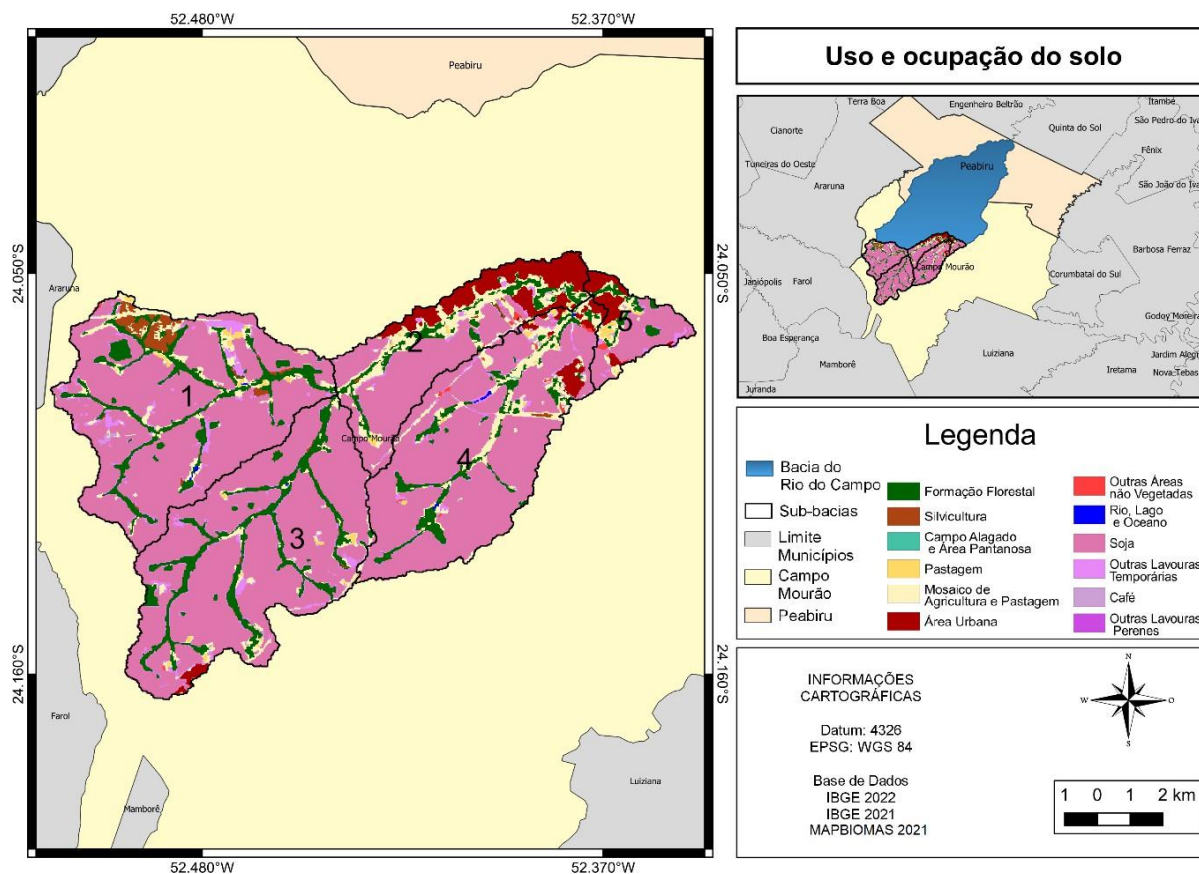


Fonte: autoria própria.

É possível visualizar a presença de três tipos de solos, Argissolos Vermelhos Distróficos, Latossolos Vermelhos Distroféricos e Latossolos Vermelhos Distróficos. De acordo com as características dos solos a partir do Quadro 1, os Argissolos Vermelhos Distróficos como grupo B, Latossolos Vermelhos Distroféricos como grupo A e os Latossolos Vermelhos Distróficos como Grupo A.

A Figura 5, representa os dados de uso e ocupação do solo presentes dentro das cinco sub-bacias delimitadas para a área de estudo.

Figura 5 – Uso e ocupação do solo das sub-bacias.



Fonte: autoria própria.

Para uma melhor compreensão destes dados foi elaborado o Quadro 5 a seguir, com informações de área em porcentagem para cada classe de uso e ocupação do solo.

Quadro 5 – Dados de uso e ocupação para as sub-bacias

(continua)

Classe	Área da Classe (%)				
	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5
Formação Florestal	12,19	9,26	12,58	8,02	9,49
Silvicultura	3,39	0,37	0,11	0,17	0
Pastagem	0,93	0,74	0,64	0,60	3,30

Quadro 5 – Dados de uso e ocupação para as sub-bacias

(conclusão)

Classes	Área da Classe (%)				
	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5
Mosaico de agricultura e pastagem	6,23	15,73	3,49	9,65	10,12
Outras áreas não vegetadas	0,13	0,34	0,03	0,49	1,37
Rio, lago e Oceano	0,10	0	0,02	0,20	0
Soja	71,70	47,31	77,75	73,80	50,70
Outras lavouras temporárias	5,13	2,58	4,29	3,29	4,64
Café	0,20	0,39	0,24	0,49	0,46
Campo alagado e área pantanosa	0	0	0	0,03	0
Área urbanizada	0	23,29	0,85	3,26	19,91
Outras lavouras perenes	0	0	0	0	0

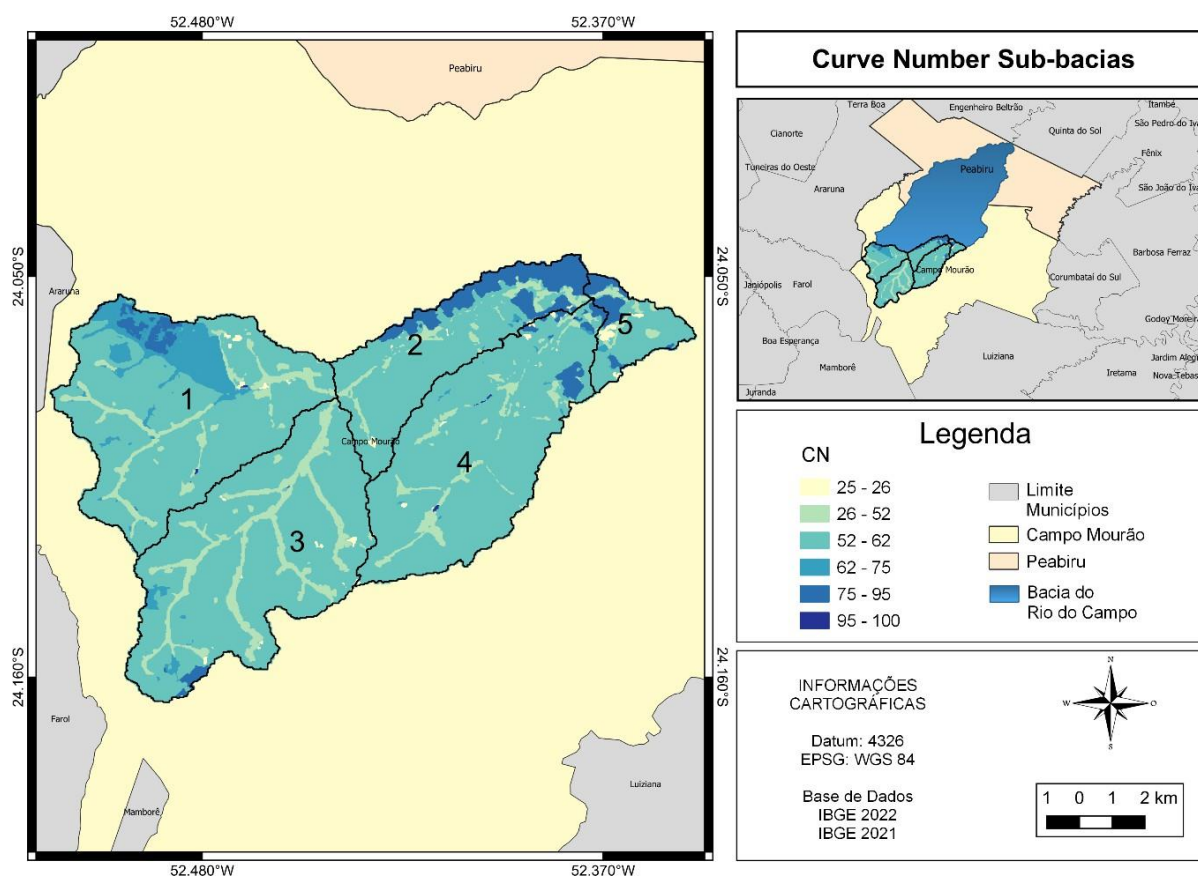
Fonte: autoria própria.

Ao analisar o Quadro 5 se vê que para todas as sub-bacias a classe de uso e ocupação do solo com maior predominância é a soja, para a classe de área urbanizada se tem a maior porcentagem para sub-bacia 2 e sub-bacia 5 correspondendo a 23,29% e 19,91% respectivamente.

6.2 Atribuição do valor do Curve Number

O valor do curve number foi atribuído para cada sub-bacia de acordo com as associações dos dados de solo e uso e ocupação do solo com o Quadro 2 e Quadro 3, possibilitando dessa forma a geração de um mapa com esses valores Figura 6.

Figura 6 – Distribuição do valor de Curve Number para as sub-bacias



Fonte: autoria própria.

A partir da Figura 6 é notório que o *curve number* com valores entre 62 e 75 são os mais presentes nas sub-bacias, mas ainda assim são exibidos valores maiores e valores menores, como a Figura 6 tem a finalidade da visualização da distribuição dos valores de CN o Quadro 6 foi elaborado para uma exibição exata dos valores em cada associação de acordo com o Quadro 2 e Quadro 3.

Quadro 6 – Valores de CN atribuídos na associação de dados

(continua)

Classe de Uso e Ocupação	Grupo de solo	Valor de CN
Formação Florestal	A	36
Formação Florestal	B	70
Silvicultura	A	36
Silvicultura	B	76
Pastagem	A	25
Pastagem	B	59

Quadro 6 – Valores de CN atribuídos na associação de dados

(conclusão)

Classe de Uso e Ocupação	Classe de Solo	Valor de CN
Mosaico de Agricultura e Pastagem	A	62
Mosaico de Agricultura e Pastagem	B	71
Outras Áreas não Vegetadas	A	72
Outras Áreas não Vegetadas	B	82
Soja	A	62
Soja	B	71
Outras Lavouras Temporárias	A	62
Outras Lavouras Temporárias	B	71
Café	A	62
Café	B	71
Campo Alagado e Área Pantanosa	A	45
Campo Alagado e Área Pantanosa	B	66
Área urbanizada	A	77
Área urbanizada	B	85
Rio, Lago e Oceano	A	100
Rio, Lago e Oceano	B	100

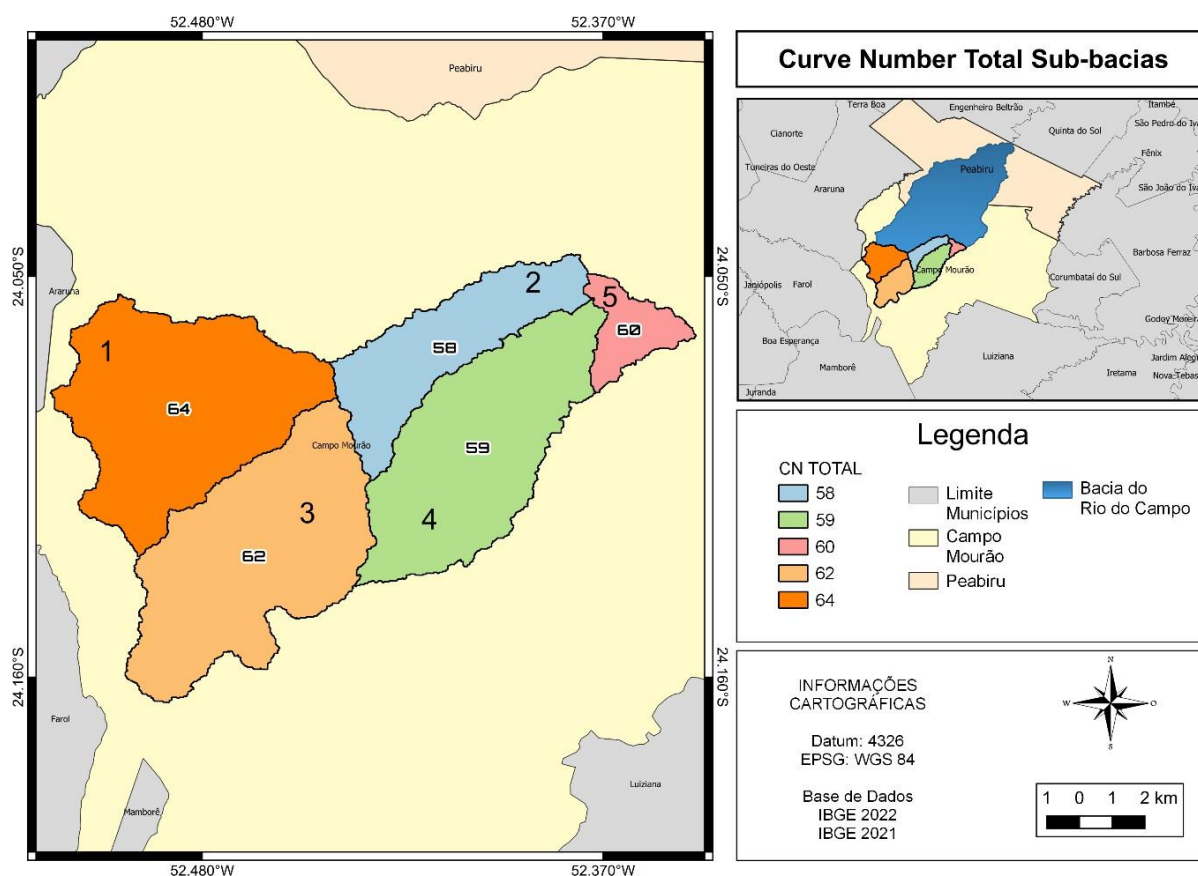
Fonte: autoria própria

De acordo com o Quadro 6 se percebe que os solos pertencentes ao grupo A acarretam em um valor de CN menor e os solos do grupo B em um valor de CN maior com uma diferença considerável neste intervalo, as classes de uso e

conservação do solo mais impactantes em altos valores de CN são Rio, Lago e Oceno, Área Urbanizada e outras áreas não vegetadas.

A partir dos dados de CN processados, foi gerada uma **média total** para cada sub-bacia, conforme é representada na Figura 7.

Figura 7 – Média total da *Curve number* das sub-bacias do rio do Campo.



Fonte: autoria própria.

Apesar de a sub-bacia 2 e sub-bacia 5 apresentarem a maior área em proporção de área urbanizada as mesmas não obtiveram os maiores valores nos totais de CN, 58 e 60 respectivamente, isso ocorre pela maior presença de Argissolo Vermelho Distrófico, atribuído como grupo B, nas sub-bacias 1 e 3 que foi determinante para um maior valor de CN, 64 e 62, respectivamente.

No estudo realizado por Junior (2019), onde foi aplicado o método para obtenção do valor de CN em toda bacia do rio do Campo, a sub-bacia com maior área em porcentagem para área urbanizada e presença da classe de solo Latossolo Vermelho Distroférrico, obteve o maior valor de CN correspondendo a 72, a diferença desses valores entre os dois estudos se dá pela área urbanizada no estudo de Junior (2019) ser maior em porcentagem que neste estudo para a sub-bacia analisada e ainda por possíveis motivos de diferença na associação de dados, já que os

parâmetros utilizados não foram os mesmos.

A máxima infiltração acumulada potencial e as perdas iniciais foram calculadas por meio da Equações 8 e 6, e dispostas no Quadro 7.

Quadro 7 – Valores de máxima infiltração acumulada potencial e as perdas iniciais para as sub-bacias

Sub-bacias	Valor de S (mm)	Perdas iniciais (mm)	CN
1	142,88	28,58	64
2	183,93	36,79	58
3	155,68	21,14	62
4	176,51	31,14	59
5	169,33	33,87	60

Fonte: autoria própria.

A sub-bacia com maior taxa de máxima infiltração acumulada potencial é a sub-bacia 2 com 183,93 mm, já a menor taxa é atribuída a sub-bacia 1 com 142,88, este resultado condiz com o Abreu *et al.* (2022), que fizeram uma simulação do escoamento superficial pós eventos de chuva na cidade de Lavras – MG, onde quando menor o valor de CN maior é a capacidade da máxima infiltração acumulada potencial e isso impacta proporcionalmente nas perdas iniciais.

6.3 Hietograma de blocos alternados

Por meio da Equação (1) e dados obtidos anteriormente foi calculado o tempo de concentração para cada sub-bacia conforme o Quadro 8.

Quadro 8 – Valores de tempo de concentração para as sub-bacias.

Sub-bacias	Tempo de Concentração (min)
1	192,67
2	199,07
3	227,56
4	216,06
5	58,47

Fonte: autoria própria.

Devido as características físicas de cada sub-bacia, exibidas no Quadro 4, foram obtidos diferentes resultados para o tempo de concentração onde o fator mais determinante para este foi o comprimento do rio principal visto que a declividade não possui grande variação entre as sub-bacia. O alvo de estudo com maior tempo de

concentração Quadro 8 foi a sub-bacia 3 com 227,56 *min* já a sub-bacia 5 obteve o menor resultado com 58,47 *min*.

A intensidade máxima de precipitação foi calculada pela Equação 20, onde para este foi necessário calcular o tempo de pico pela Equação (10) de acordo com o Quadro 9 para cada tempo de retorno.

Quadro 9 – Valores de intensidade máxima de precipitação.

Sub-Bacias	Intensidade máxima ($mm \cdot h^{-1}$)		
	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
1	29,75	33,71	38,20
2	29,07	32,94	37,32
3	26,42	29,94	33,92
4	27,42	31,07	35,20
5	66,71	75,59	85,65

Fonte: autoria própria.

A variação entre as intensidades no mesmo tempo de retorno se leva por conta dos diferentes tempo de concentração, já em relação a variação da intensidade entre os tempos de retorno para cada sub-bacia de acordo com Oliveira e Petrucci (2019), ao longo dos períodos de retorno é esperado que a intensidade máxima de precipitação aumente já que estes são diretamente proporcionais pois se tratam de eventos extremos.

Os valores dos tempos de concentração tiveram de ser adequados (Quadro 8) de acordo com a disponibilidade de valores para o mesmo no *software* HEC-HMS, a partir desta os dados de intensidade máxima e tempo de pico foram recalculados (Quadro 10).

Quadro 10 – Valores adequados de tempo de concentração.

Sub-bacias	Tempo de concentração (<i>min</i>)	Tempo de pico (<i>min</i>)
1	180	108
2	180	108
3	210	126
4	200	120
5	60	36

Fonte: autoria própria.

Quadro 11 – valores de intensidade máxima de precipitação.

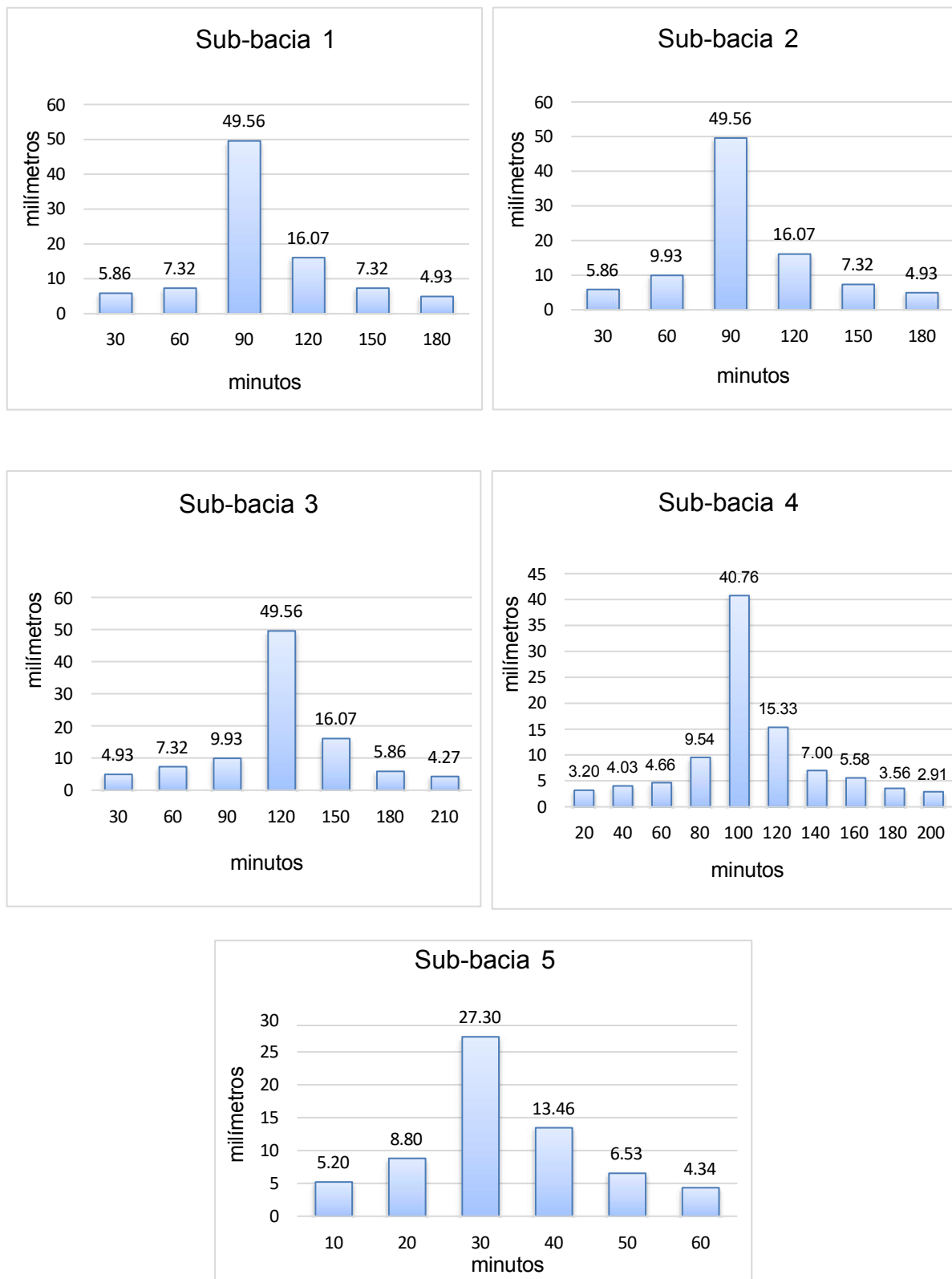
Sub-bacias	Intensidade máxima para o novo tempo de retorno ($mm \cdot h^{-1}$)		
	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
1	31,22	35,37	40,08
2	31,22	35,37	40,08
3	27,98	31,70	35,93
4	28,97	32,83	37,20
5	65,63	74,37	84,26

Fonte: autoria própria.

Aproximação dos valores de intensidade máxima obtidos com os tempos de concentração primeiramente definidos, não irão afetar os próximos resultados de maneira significativa.

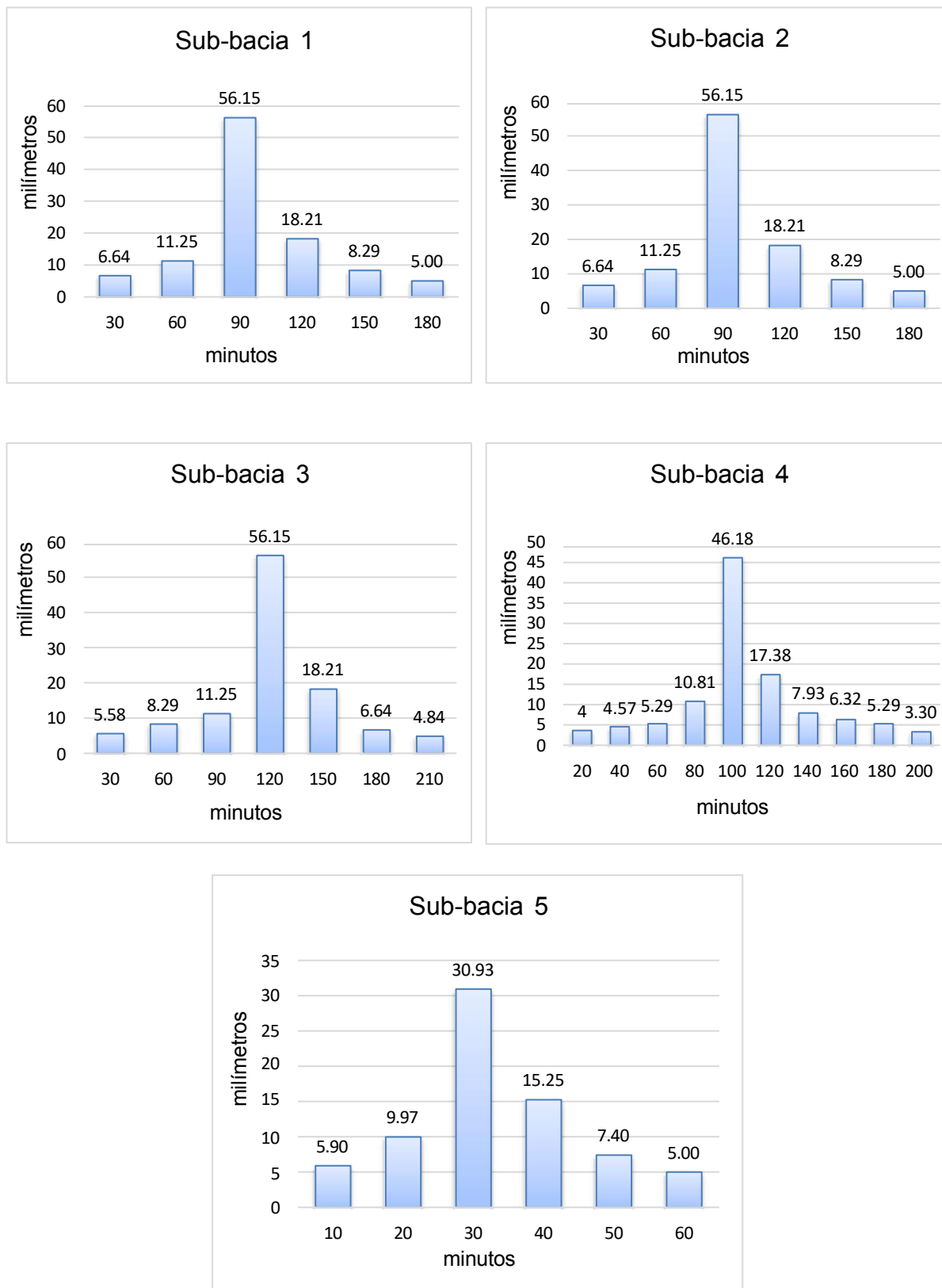
A partir dos dados de intensidade máxima (Quadro 11) foram executados os cálculos da precipitação para cada intervalo de tempo e assim gerados os hietogramas de precipitação pelo método de blocos alternados (Figuras 8, 9 e 10).

Figura 8 – Hietogramas de blocos alternados para TR de 25 anos



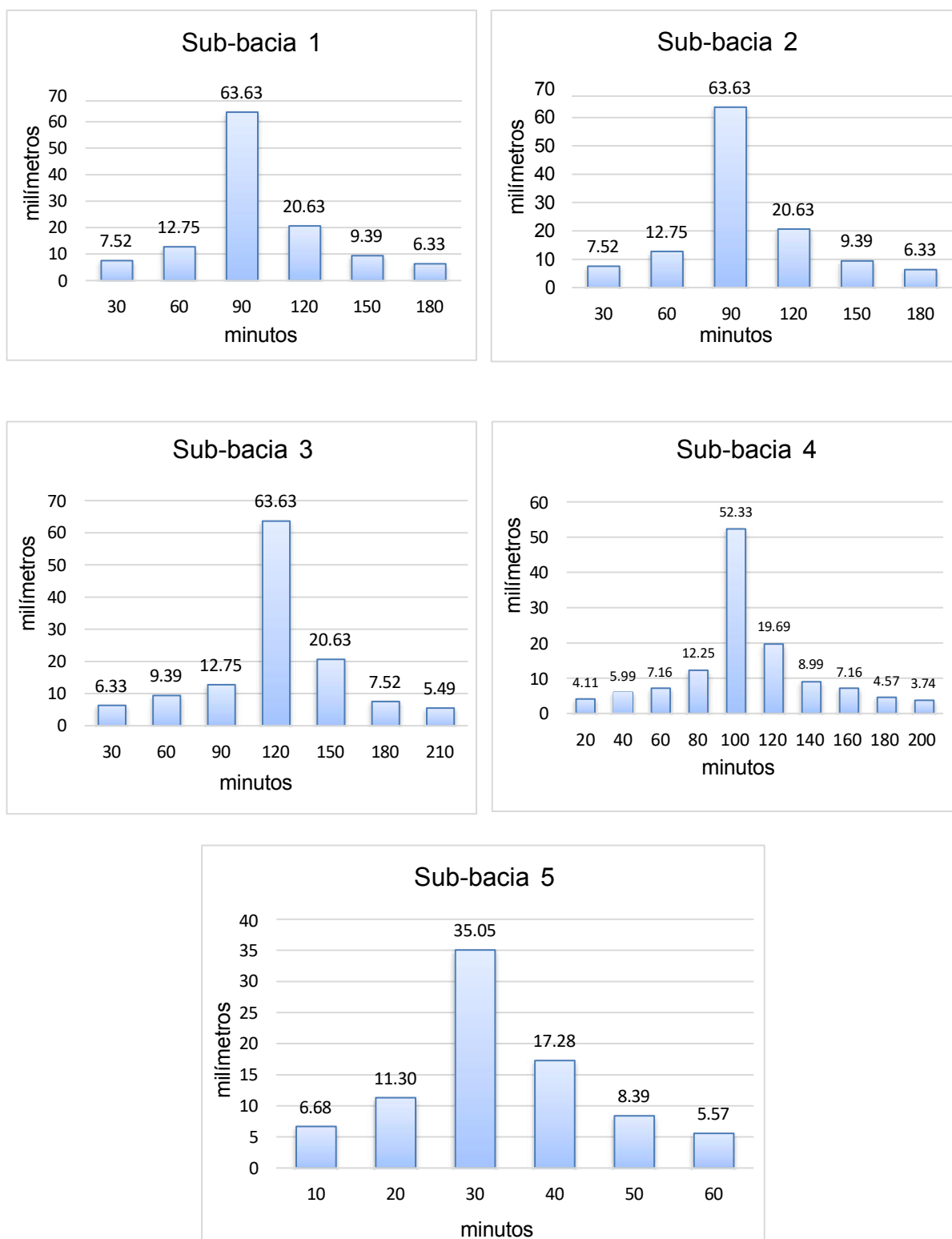
Fonte: autoria própria.

Figura 9 – Hietogramas de blocos alternados para TR de 50 anos



Fonte: autoria própria.

Figura 10 – Hietogramas de blocos alternados para TR de 100 anos



Fonte: autoria própria.

Os hietogramas de blocos alternados mostram como a precipitação se distribui ao longo do tempo para cada sub-bacia e tempo de retorno, o Quadro 12

apresenta os dados de precipitação máxima para cada sub-bacia e respectivo tempo de retorno.

Quadro 12 – Valores de precipitação máxima

Precipitação máxima (mm)			
Sub-bacias	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
1	49,56	56,15	63,63
2	49,56	56,15	63,63
3	49,56	56,15	63,63
4	40,76	46,18	52,33
5	27,30	30,93	35,05

Fonte: autoria própria.

As mesmas observações feitas para a intensidade máxima (Quadro 9) em relação a variação entre os valores no mesmo tempo de retorno e variação dos mesmos entre os tempos de retorno para cada sub-bacia são vistas também para a precipitação máxima. Devido a alteração do tempo de concentração, se teve consequentemente uma variação dos valores de precipitações máximas quais não são significativos.

6.4 Estimativa de vazão máxima pelo software HEC-HMS

As simulações no *software* HEC-HMS pelo método SCS curve number foram executadas para os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos respectivamente, conforme o Quadro 13, Quadro 14 e Quadro 15.

Quadro 13 – Simulação TR 25 anos SCS curve number

Elemento hidrológico	Área de Drenagem (km²)	Pico de Vazão (m³ · s⁻¹)	Tempo de Pico (horas)	Volume (mm)
Sub-bacia 1	34,94	61,4	03:50	19,01
Sub-bacia 2	17,07	22,0	03:20	13,44
Sub-bacia 3	35,25	57,6	04:30	20,06
Sub-bacia 4	30,37	35,9	05:30	15,79
Sub-bacia 5	5,19	7,4	01:20	5,02
Junção 2	70,19	113,8	04:10	19,54
Trecho 2	70,19	84,3	05:30	17,21
Junção 1	117,63	126,6	05:20	16,30
Trecho 1	117,63	124,5	05:30	16,19
Exutório	122,83	124,5	05:30	15,72

Fonte: autoria própria.

Quadro 14 – Simulação TR 50 anos SCS curve number

Elementos hidrológicos	Área de drenagem (km ²)	Pico de vazão (m ³ · s ⁻¹)	Tempo de pico (horas)	Volume (mm)
Sub-bacia 1	34,94	87,1	03:50	26,94
Sub-bacia 2	17,07	30,7	03:10	18,71
Sub-bacia 3	35,25	77,8	04:30	27,05
Sub-bacia 4	30,37	51,3	05:20	22,76
Sub-bacia 5	5,19	11,4	01:20	7,84
Junção 2	70,19	156,7	04:10	27,00
Trecho 2	70,19	109,1	05:20	23,05
Junção 1	117,63	169,5	05:10	22,35
Trecho 1	117,63	166,0	05:20	22,16
Exutório	122,83	166,0	05:20	21,56

Fonte: autoria própria.

Quadro 15 – Simulação TR 100 anos SCS curve number

Elementos hidrológicos	Área de Drenagem (km ²)	Pico de vazão (m ³ · s ⁻¹)	Tempo de pico (horas)	Volume (mm)
Sub-bacia 1	34,94	115,3	03:40	35,83
Sub-bacia 2	17,07	42,7	03:10	26,05
Sub-bacia 3	35,25	102,8	04:30	35,76
Sub-bacia 4	30,37	70,1	05:20	30,78
Sub-bacia 5	5,19	16,6	01:20	11,56
Junção 2	70,19	207,5	04:10	35,79
Trecho 2	70,19	135,9	05:10	29,60
Junção 1	117,63	220,2	05:10	29,39
Trecho 1	117,63	214,5	05:20	29,10
Exutório	122,83	214,5	05:20	28,36

Fonte: autoria própria.

6.4.1 Acréscimo da vazão de pico conforme tempo de retorno

Ao comparar os resultados entre os Quadros 13 14 e 15 é notório o acréscimo na vazão de pico para as sub-bacias e exutório conforme o aumento do tempo de retorno o Quadro 16 mostra a proporção deste acréscimo entre as transições dos tempos de retorno.

Quadro 16 – Proporção do acréscimo no pico de vazão em relação ao tempo de retorno.

Elementos hidrológicos	TR 25 – 50 anos	TR 50 – 100 anos
Sub-bacia 1	41,87%	32,38%
Sub-bacia 2	39,55%	39,08%
Sub-bacia 3	35,07%	32,13%
Sub-bacia 4	42,90%	36,65%
Sub-bacia 5	54,05%	45,62%
Exutório	33,33%	29,22%

Fonte: autoria própria.

Este fato já era esperado visto que a intensidade máxima das precipitações aumenta de forma proporcional ao tempo de retorno para eventos extremos, no trabalho de Junior (2019), o acréscimo proporcional também ocorre com o aumento do tempo de retorno em seu estudo para toda Bacia do rio do Campo.

6.4.2 Variáveis e determinação do pico de vazão

Em relação a determinação do pico de vazão foram usadas diversas variáveis dentro de sua estimativa, de acordo com Rocha e Lima (2022), a área de drenagem, declividade do rio principal, tempo de concentração, comprimento do rio principal e a precipitação são fatores de alto impacto na determinação de vazões máximas onde o coeficiente de relação entre as variáveis e determinação de vazão pode mudar para cada método.

Os resultados de pico de vazão foram diretamente proporcionais a área de drenagem das bacias, ao se comparar os resultados de vazão entre as sub-bacias 4 e 5 se tem uma grande diferença para esses valores mesmo com características de solo parecidas e valores de CN aproximados, porém ao se fazer a mesma comparação para as sub-bacias 1 e 3 a sub-bacia 1 possui um pico de vazão maior mesmo com uma área de drenagem menor, características de solo parecidas e valores de CN aproximados.

No estudo realizado por Ahani *et al.*, (2010), na aplicação do método SCS Curve Number para a determinação de pico de vazão para uma bacia hidrográfica no Irã, chegaram à conclusão de que o valor de CN e o volume de precipitação foram os mais determinantes para o resultado, porém afirmam que as interações entre as variáveis podem ser muito sensíveis principalmente para grandes diferenças entre tempos de retorno, o que demanda grande atenção.

Desta forma é visto que uma grande área de drenagem, que recebe um maior volume de captação de água, não é a variável mais determinante para o pico de vazão neste estudo.

A vazão pico também depende da infiltração e precipitação acumulada, onde de acordo com o volume de precipitação e área de drenagem uma baixa taxa de infiltração, determinada pelo valor de CN, impacta diretamente no escoamento superficial. O mesmo, junto dos respectivos tempos de base, pode ser observado para cada sub-bacia nos hidrogramas do Apêndice (A) para as sub-bacias, onde a infiltração é proporcional ao valor de CN atribuído.

6.4.3 Tempo de pico, junções, trechos e exutório

Os valores de tempo de pico para as sub-bacias 1, 2 e 5, ficaram entre 1:20 e 3:50 *horas*, já para sub-bacias 3 e 4, junção 1 e 2, trecho 1 e 2 e exutório este valor ficou entre 4:10 e 5:30 *horas*. Em relação aos hidrogramas dos trechos da bacia e junções fornecidos pelo *software* HEC-HMS, os mesmos foram disponibilizados no Apêndice (A)

Para os resultados de pico de vazão no exutório no tempo de retorno de 25 anos se obteve um valor de $124,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, no tempo de retorno de 50 anos $166 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e no tempo de retorno de 100 anos $214,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, onde os hidrogramas para cada tempo retorno está disponível no Apêndice (A).

6.5 Regionalização de vazões máximas

Os dados de vazão máxima das bacias selecionadas disponibilizados pela ANA se encontravam incompletos com valores faltantes para meses de alguns anos, para a bacia ETA Campo Mourão os dados disponíveis são referentes ao período de dezembro de 2001 a janeiro de 2008, para bacia Quinta do Sol de setembro de 1974 a abril de 1971 e para bacia Salto Natal de março de 1974 a setembro de 1976.

Os dados obtidos e calculados das bacias hidrográficas selecionadas para o método de regionalização estão dispostos no Quadro 17.

Quadro 17 –Dados das bacias hidrográficas selecionadas.

Bacia hidrográfica	Área (km^2)	Gumbel $Q_{\max 25}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Gumbel $Q_{\max 50}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Gumbel $Q_{\max 100}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
ETA Campo Mourão	79	78,60	94,99	11,47
Salto Natal	853	342,74	403,60	464,01
Quinta do Sol	1530	464,16	535,17	615,07

Fonte: autoria própria.

A regionalização de vazões máximas foi calculada por meio da Equação (20), onde as variáveis a e b foram determinadas para cada tempo de retorno de acordo com o Quadro 18.

Quadro 18 – valores determinados para as variáveis da equação de regionalização.

Variável	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
<i>a</i>	6,829985555	9,109001868	11,47509601
<i>b</i>	0,576681474	0,557250451	0,54296423
<i>R</i> ²	0,99854	0,997526	0,996556

Fonte: autoria própria.

A partir dos valores das variáveis definidas, obtiveram-se bons coeficientes de correlação, os mesmos foram aplicados na Equação (20) resultando no valor da vazão máxima regionalizada para cada tempo de retorno para todas as sub-bacias e exutório de acordo com suas respectivas áreas (Quadro 19).

Quadro 19 – valores de vazões máximas regionalizadas.

Elemento hidrológico	$Q_{\max 25}$ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	$Q_{\max 50}$ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	$Q_{\max 100}$ ($m^3 \cdot s^{-1}$)
Sub-bacia 1	53,019	65,992	79,019
Sub-bacia 2	35,077	44,271	53,556
Sub-bacia 3	53,289	66,317	79,397
Sub-bacia 4	48,901	61,032	73,226
Sub-bacia 5	17,654	22,803	28,058
Exutório	109,466	132,964	156,377

Fonte: autoria própria.

Os resultados obtidos da regionalização foram comparados com os resultados da modelagem obtida pelo método SCS Curve Number, onde as variações foram dispostas no Quadro 20.

Quadro 20 – variação no resultado entre os métodos.

Elemento hidrológico	Regionalização X SCS Curve Number		
	Variação (%) $Q_{\max 25}$	Variação (%) $Q_{\max 50}$	Variação (%) $Q_{\max 100}$
Sub-bacia 1	15,81	24,23	45,91
Sub-bacia 2	59,44	44,21	25,43
Sub-bacia 3	8,09	17,32	29,47
Sub-bacia 4	36,21	18,97	4,46
Sub-bacia 5	138,57	100,03	69,03
Exutório	13,73	24,84	37,17

Fonte: autoria própria.

Em geral as variações nos resultados entre os dois métodos de modelagem hidrológica ocorrem decorrente do fator de área já que este é único parâmetro físico

aplicado na equação de regionalização, para sub-bacias com área acima 31 km^2 , as variações foram menores para tempos de retorno maiores já para as sub-bacias maiores e exutório, que é a soma da área de todas sub-bacias, ocorreu o inverso.

As series de vazões históricas escolhidas devem ser preferencialmente do mesmo período de tempo e parâmetros hidrológicos semelhantes para se evitar erros, o que não ocorreu neste estudo devido à falta de informações provindas dos postos fluviométricos e da diferença de área entre as bacias o que deixa os resultados deste método menos confiáveis, além desses fatores a aplicação deste método é mais adequada para bacias grandes (Tucci, 2002).

De acordo com Borsato e Martoni (2004), bacias grandes tem uma área superior a 1000 km^2 , bacias medianas possuem área de 3 km^2 a 1000 km^2 e bacias pequenas possuem área menor que 3 km^2 . Dessa forma é visto em relação a área da sub-bacia alvo de estudo, o método de regionalização pode propagar erro já que a mesma possui uma área de classificação média.

A modelagem realizada no software HEC-HMS fez o uso do método SCS Curve Number além de diversas variáveis o que atribui a este maior confiabilidade que o método de modelagem pela regionalização, de acordo com Scharffenberg (2016), o HEC-HMS pode ser aplicado tanto em bacias hidrográficas de todos os portes.

O principal resultado desse estudo, referente a vazão máxima nos exutórios apresentaram variações aceitáveis visto que os dois métodos têm diferentes parâmetros de aplicação, onde este é um indicativo que os resultados obtidos estão dentro de uma faixa aceitável.

7 CONCLUSÃO

A falta de dados hidrológicos específicos no Brasil é de difícil acesso, deste modo a modelagem hidrológica é uma ferramenta alternativa na obtenção de dados confiáveis para as mais diversas aplicações, neste estudo a falta de dados de vazões máximas para o Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, no município de Campo Mourão, acabou por motivar a sua modelagem por dois métodos diferentes.

O método SCS *Curve Number* executado pelo software HEC-HMS apresentou resultados de maior confiabilidade visto que sua execução é adequada para o tamanho da sub-bacia alvo de estudo, além de fazer o uso de diversos parâmetros hidrológicos como área de drenagem, coeficiente de rugosidade, hietogramas entre outros, assim se chegou a um resultado de vazão máxima para o exutório nos tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos no valor de $124,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $166 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $214,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ respectivamente.

Já no método regionalização para este estudo foi feito o uso de apenas uma variável hidrológica, a área das bacias selecionadas que não foram semelhantes a área da sub-bacia estudada e os dados de vazões máximas disponíveis também estavam incompletos além de não corresponderem ao mesmo período entre as bacias. Estes fatores trazem menos confiabilidade aos resultados obtidos por este método que foram de $109,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $132,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, e $156 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, para os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos respectivamente para o exutório.

Ao se comparar os dois métodos a variação nos resultados é maior com o aumento do tempo de retorno o que já era esperado, porém a mesma está em uma faixa aceitável visto que os métodos tem grande diferença em parâmetros e aplicação, este fato é um grande indicativo de que os resultados obtidos são aceitáveis.

Dessa forma a modelagem hidrológica executada neste estudo se mostra eficiente, onde o método SCS *Curve Number* executado por meio do software HEC-HMS apresenta maior confiabilidade. Os resultados aqui apresentados podem servir de base para outras aplicações, obras e estudos na unidade de conservação, o que demonstra a importância da modelagem hidrológica.

REFERÊNCIAS

ABREU, F. G *et al.* Análise da distribuição temporal em eventos hidrológicos extremos. **Eng. Sanit Ambient**, v.22, n.21, p. 239-250, março/abril, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/yXk5sJQYZNF6LgxTfZRDKwc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 jan. 2023.

BENETTIN, P *et al.* Transit times-the link between hydrology and water quality at the catchment scale. **Wires Water**, v.3, p. 629-657, 2016. Disponível em: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wat2.1155>. Acesso em: 14 jun. 2023.

BLANCO, C. J. C; FIGUEIREDO, N. M. Modelos de RNA como ferramentas de previsão de aflúências e de níveis de água em AHE. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, v.9, n. 2, p. 110-123, 2017. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/15037>. Acesso em: 23 nov. 2023.

BORSATO, F; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 26 n. 2, p. 273-285, 2004. Acesso em 21 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascihumansoc.v26i2.1391>.

AHANI, H *et al.*, Sensitivity analysis and impact quantification of the main factors affecting peak discharge in the SCS curve number method: An analysis of Iranian watersheds. **Quaternary International**, v. 226, n.1, p. 66-74, 2010. Acesso em: 28 set 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.05.011>.

ALMEIDA, K. N; MENDONÇA, A. S. F; REIS, J. A. T. Avaliação do desempenho dos métodos expedidos de determinação de equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.35, p. 63-77, 2015. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/207. Acesso em: 23 set. 2022.

BLOSCHL, G. *et al.*, Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH) – a community perspective. **Hydrological Sciences Journal**, v.64, n.10, p. 1141-1158, 2019. Disponível em:

<https://tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/02626667.2019.1620507?needAccess=true>.

Acesso em: 14 jun. 2023.

BOTELHO, R. G. M; JÚNIOR, J. E. F. F. Análises comparativas do tempo de concentração: Um estudo de caso na bacia do rio Cônego, município de Nova Friburgo/RJ. *in*: **XIC Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2011. Disponível em:

https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/153/0b4c20f7e82170db2ceff1aa8a6a52ac_5a57d8c9a287545a525d05397b7d1450.pdf. Acesso em: 11 abr. 2023.

CALDERON, G.; BORSATO, V. A. O fenômeno La Niña e sua influência na disponibilidade hídrica no município de Campo Mourão-PR. **Geosp – Espaço e Tempo**, v. 21, n. 1, p. 177-197, abril. 2017. ISSN 2179-0892. Disponível em:

<http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/116476>. Acesso em: 25 out. 2022.

CIRILO, J. A; COSTA, W. D. P, M; MAIA, A. Z. Barragem subterrânea: Um programa pioneiro em Pernambuco. *In*: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 4, Campina Grande, 1998. Campina Grande: ABRH, 1998.

COLAVITE, A. P. **Cartografia Aplicada à Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio do Campo - PR**. Dissertação (Especialização em

Planejamento e Gerenciamento Urbano e Rural) – Curso de Pós Graduação em Planejamento e Gerenciamento Urbano e Rural, Maringá, 2008.

Disponível em: <http://bdtd.unoeste.br:8080/jspui/handle/jspui/1034>. Acesso em: 10 set. 2022.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre - RS, CD.G Casa de Soluções e Editora, 2015.

CRESPON, E. J. **Regionalização de vazão máxima do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 1982. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/222671/000017001.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 9 set. 2022.

CUNHA, L. K. **Sistemas avançados de previsão hidrológica e operação hidráulica em tempo real**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, 2004. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/672>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Ecology Conservation. **LecoS**: Landscape Ecology Statistics. 2021. Disponível em: <https://conservationecology.wordpress.com/qgis-plugins-and-scripts/lecos-land-cover-statistics/>. Acesso em: 20 out. 2022.

ESTEVES, R. L; MEDIONDO, E. M. Análises comparativas entre equações e observações do tempo de concentração em uma bacia urbana de São Carlos – SP. **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2023. Disponível em: <http://www.shs.eesc.usp.br/downloads/docentes/eduardo-mario-mendondo/Esteves-Mendondo-ABRH-XV-SBRH-Curitiba-2003.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

EUA. United States Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (USACE-HEC). **HEC-HMS**. 2022. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>. Acesso em: 18 out. 2022

FAYAL, M. A. **Previsão de vazão por redes neurais artificiais e transformada**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/12169/12169_1.PDF. Acesso em: 24 ago. 2023.

FERREIRA, E. C; REIS, L. N. G; SOUZA, J. R. Medição da vazão do rio Canastra em Itapuranga (Goiás) como estratégia de planejamento e gestão de bacias hidrográficas. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 17, n.2, 2021. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/82104958/2918.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2023.

GARNER, K; KELLER, A. A; KNIPPING, E; RAO, N; THOMAS, J. Hydrological models for climate-based assessments at the watershed scale: A critical review of existing hydrologic and water quality models. **Science of The Total Environment**, v. 867, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161209>. Acesso em: 27 nov. 2023.

GENOVEZ, A. S.; SARTORI, S. Critérios para classificação hidrológica de solos tropicais brasileiros. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, XIX., 2011, Maceió.

GOUVÊA, C. J. T. **Cálculo de Vazão de Bacia Hidrográfica Visando a Construção D Uma Obra de Arte**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FEAU), Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos-SP, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.univap.br/dados/000035/000035be.pdf>. Acesso em: 09 set. 2022.

GUTA, HÉLDER. Aplicação de HEC-HMS para modelagem de precipitação – escoamento em Moçambique e França. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos do Nordeste e 15º - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa*, XVI., 2022, Caruaru – PE.

HAN, D; LIU, Y; RAMIREZ, M. A. R; WANG, J; ZHUO, L. Hydrological model adaptability to rainfall inputs of varied quality. **Water Resources Research**, v. 59, n.2, 2023. Disponível em: Acesso em: <https://doi.org/10.1029/2022WR032484>. 27 nov. 2023.

HAO, L; HOU, Y; SANCHIS, M. G; SUN, G; TANG, R; WEI, X; YOUSEFPOUR, R; ZHANG, Z. Forest hydrology modeling tools for watershed management: A review. **Forest Ecology and Management**. v. 530, 2023. Disponível em: Acesso em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120755>. 27 nov. 2023.

HAWKINS, R. H. *et al.* **Curve number hydrology: state of the practice**. [S.l]: ASCE-EWRI, 2009.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno estatístico: município de Campo Mourão - PR**, 2022. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87300&btOk=ok>. Acesso em 19 out. 2022.

JABUR, A. S. **Alterações Hidrológicas Decorrentes de Mudança do Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco – PR.** 2010. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/24919>. Acesso em: 09 set. 2022.

JUNIOR, R. S. R. **Determinação da vazão máxima da bacia hidrográfica do Rio do Campo utilizando o software HEC-HMS.** Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7075>. Acesso em 16 ago 2023.

KAYE, J. P. *et al.* A distinct urban biogeochemistry. **Trends in Ecology and Evolution.** [S. l.], v. 21, n. 4, p.192-199, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.12.006>. Acesso em: 07 set. 2022.

KIRCHNER, J. W. Getting the right answers for the right reasons: linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology. **Water Resources Research**, v. 42, p. 1-5, 2006. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005WR004362>. Acesso em: 14 jun. 2023.

LIMA, J. S. S. *et al.*, Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre –ES. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 02, p. 327-332, 2008. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83801>. Acesso em: 26 set. 2023.

LOPES, T. R. *et al.*, Regionalização de Vazões Máximas e Mínimas para a Bacia do Rio Ivaí - PR. **IRRIGA**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 180-188, 2018. Disponível em: <https://energia.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2018>. Acesso em: 23 set. 2022.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1981.

MORRESI, M. V; ZUCARELLI, G. V. Aplicación de métodos de propagação de ondas de crecida. *in: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Belo Horizonte - MG, 1999. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=9467>. Acesso em: 17 mai. 2023.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. **Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology**. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 2003.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

OLIVEIRA, L. A; PETRUCCI, E. Relações entre intensidade máxima, duração e frequência das precipitações máximas de 24 horas e equação de chuvas intensas para a cidade de Uberlândia – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14162>. Acesso em 12 set. 2023.

PARANHOS, R. N. **A influência do número de estações pluviométricas na eficiência do modelo MGB utilizando a auto-calibração dos parâmetros de solo**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/257748>. Acesso em: 19 mai. 2023.

PONTES, P. R. M; COLLISCHONN, W; FAN, F. M; PAIVA, R. C. D; BUARQUE, D. C. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.4, p.883-904, 2015. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/156/d1794a9de01a2cda0ade3e472de558fb_544aa821f14776ee2092f3dd967d8aeb.pdf. Acesso em: 17. Jan 2023.

PONTES, P. R. M; COLLISCHONN, W. Conservação de Volume em Modelos Simplificados de Propagação de Vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.17, n.4, p. 83-96, 2012. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/229908?locale-attribute=pt_BR. Acesso em: 17. Jan 2023.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 1.ed. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540 p.

QGIS.ORG. Qgis Association. **QGIS**: geographic information system. 2022.

Disponível em: <https://www.qgis.org/>. Acesso em: 05 out. 2022.

RIBEIRO, W. M. **Geração de hidrogramas de projeto em cenários de urbanização no seminário Paraibano**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Campina Grande, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/10419/3/WESLEY%20MAYCON%20ARA%c3%9aJO%20RIBEIRO%20-%20TCC%20-%20ENGENHARIA%20AMBIENTAL%202019.pdf>. Acesso em: 09 set. 2022.

ROCHA, J. S; LIMA, N. I. E. Equações adimensionais para determinação de vazões máximas para diferentes tempos de retorno em regiões semiáridas. **Eng Sanit Ambient**, v. 27, n. 1, p. 11-23, 2022. Acesso em: 28 nov 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/QxYhRYF7xmKyfH7JB6ZCLDb/?format=pdf&lang=pt>.

SCHARFFENBERG, W. **Hydrologic Modeling System HEC HMS User's Manual: Version 4.2**. Davis: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2016. Acesso em: 20 out. 2023. Disponível em: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.2.pdf.

SHATNAWI, A; IBRAHIM, M. Derivation of flood hydrographs using SCS synthetic unit hydrograph technique for Housha catchment area. **Water Supply**. v. 22, n.5, p. 4888-4901, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/ws.2022.169>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SILVEIRA; A. L. P. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n.1, p. 5-23, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/231244>. Acesso em: 10 abr. 2023.

SOUZA, R. M; CRISPIM, D. C; FORMIGA, K. T. M. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial: caso de estudo bacia do córrego samambaia. **REEC**, v.5, n.2, p.1-11, 2012. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/20176/12136>. Acesso em: 18 out. 2022

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciências e aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH. 2001.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: ABRH, 2002.

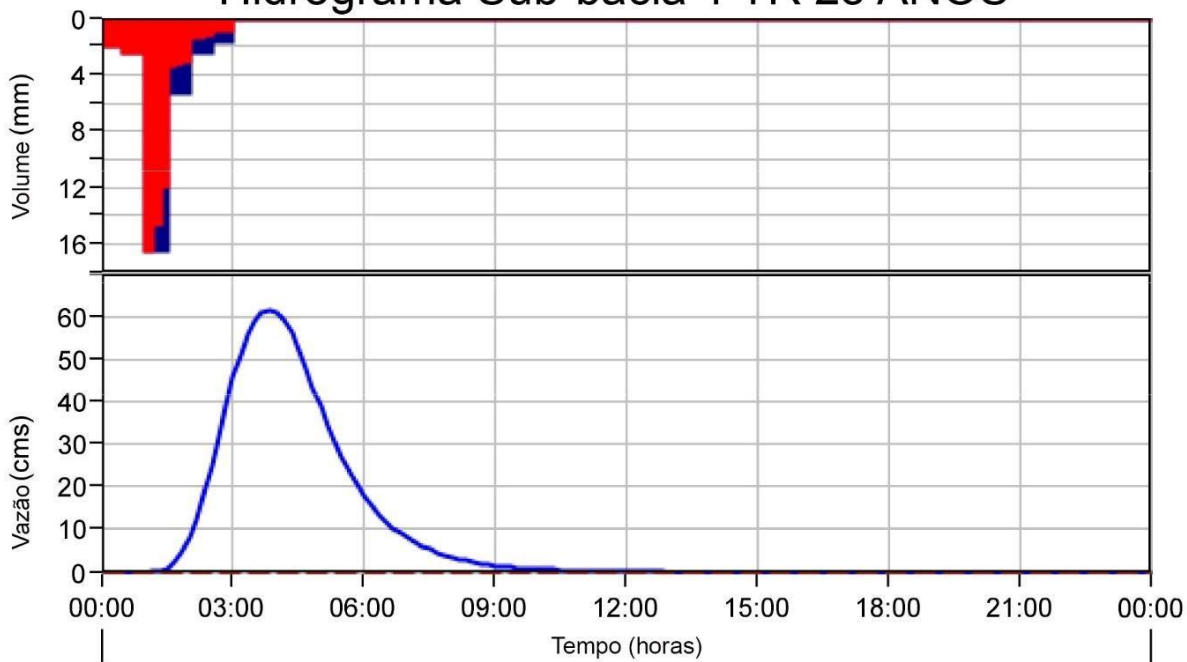
UMEKI, Kelly Leiko. **Estudo do Transporte de Sedimentos na Bacia Hidrográfica Rio do Campo, Campo Mourão-PR**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012. Disponível em:
https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6819/2/CM_COEAM_2012_1_12.pdf.
Acesso em: 10 out. 2022.

USGS – coloque por extenso (EUA). **Earth Explorer**. Disponível em:
<https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 18 out. 2022.

VILWOCK, F. H *et al.* Avaliação de traços de metais pesados em rios da bacia hidrográfica do Rio do Campo, município de Campo Murão – PR. **XII SINAGEO**, 2018.

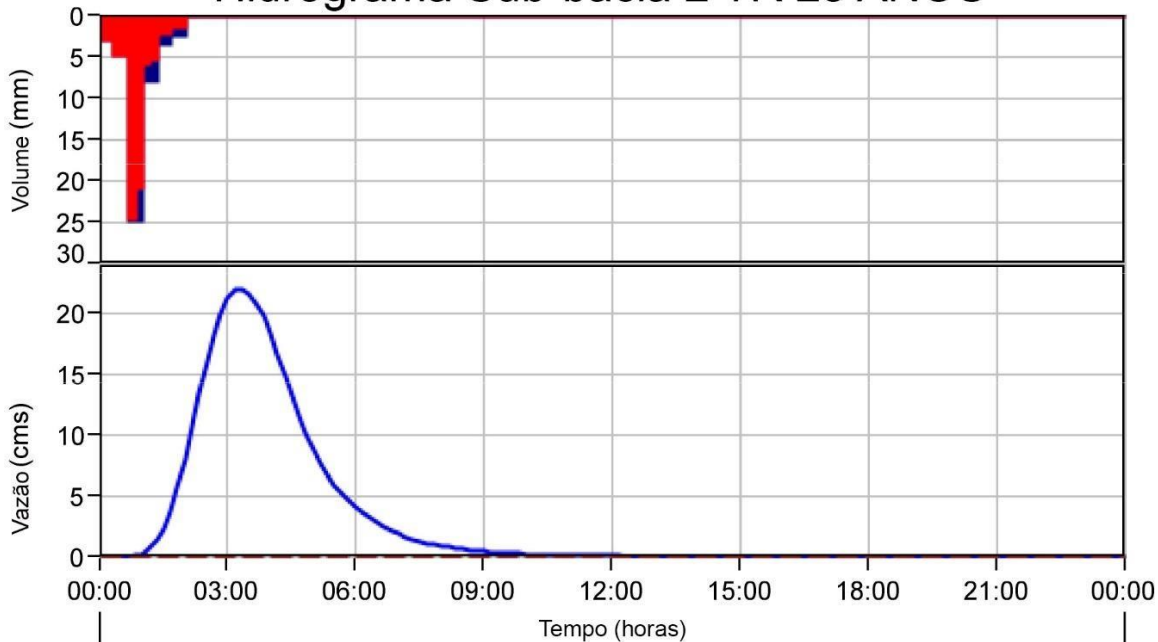
APÊNDICE A – Hidrogramas HEC-HMS

Hidrograma Sub-bacia 1 TR 25 ANOS

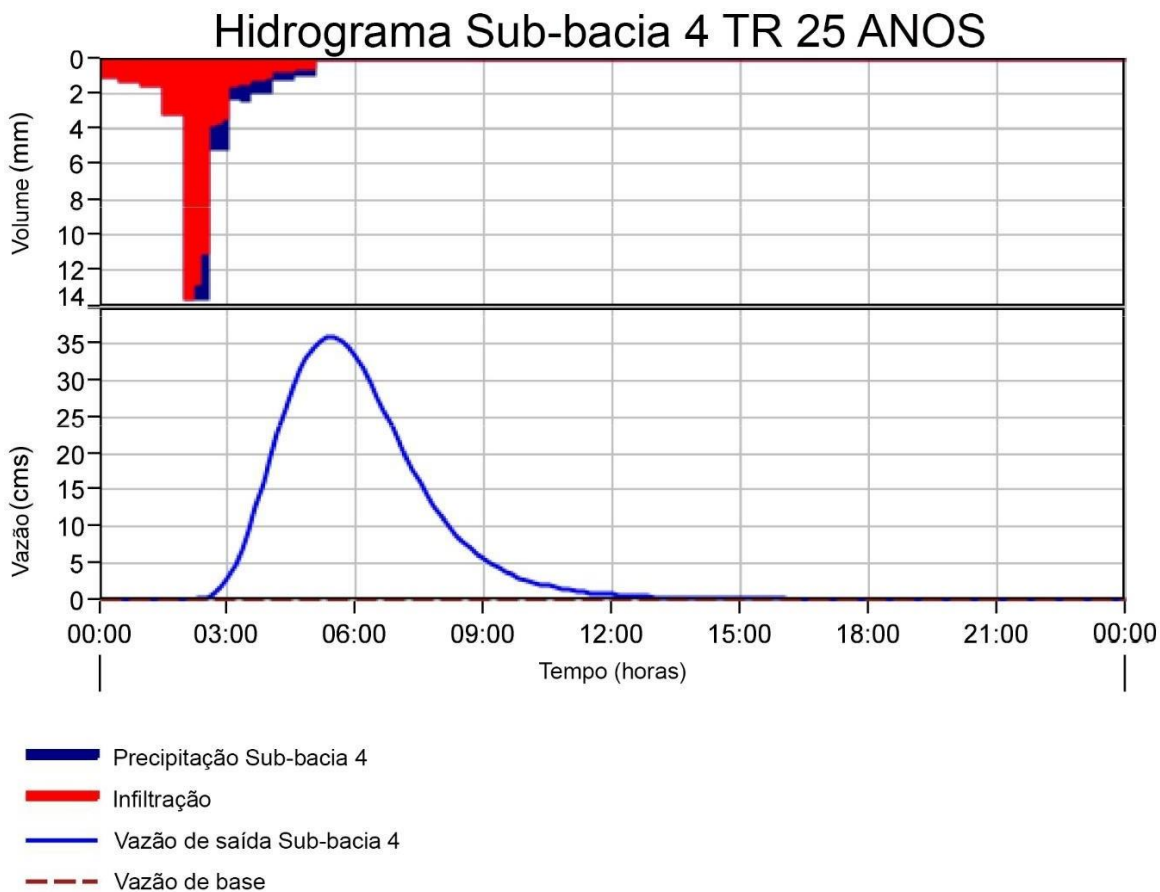
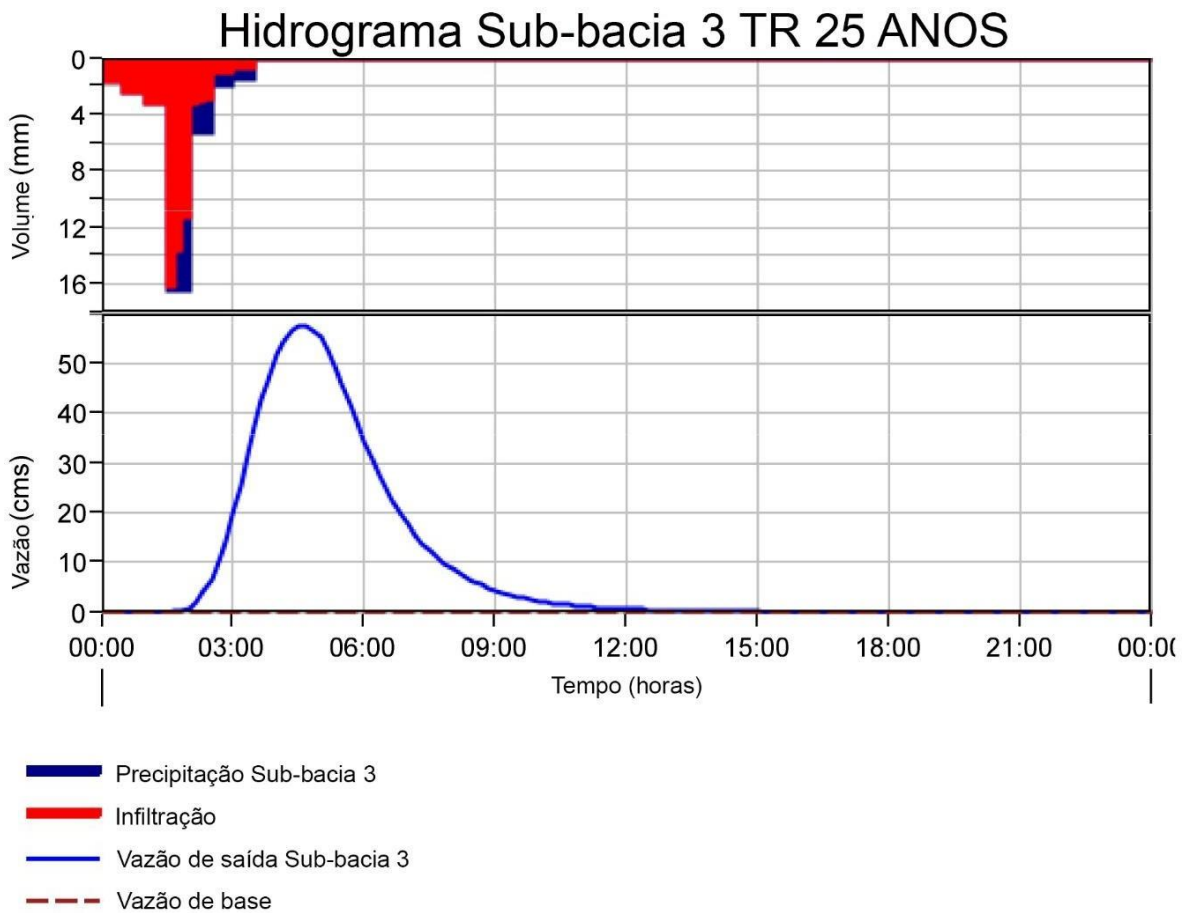


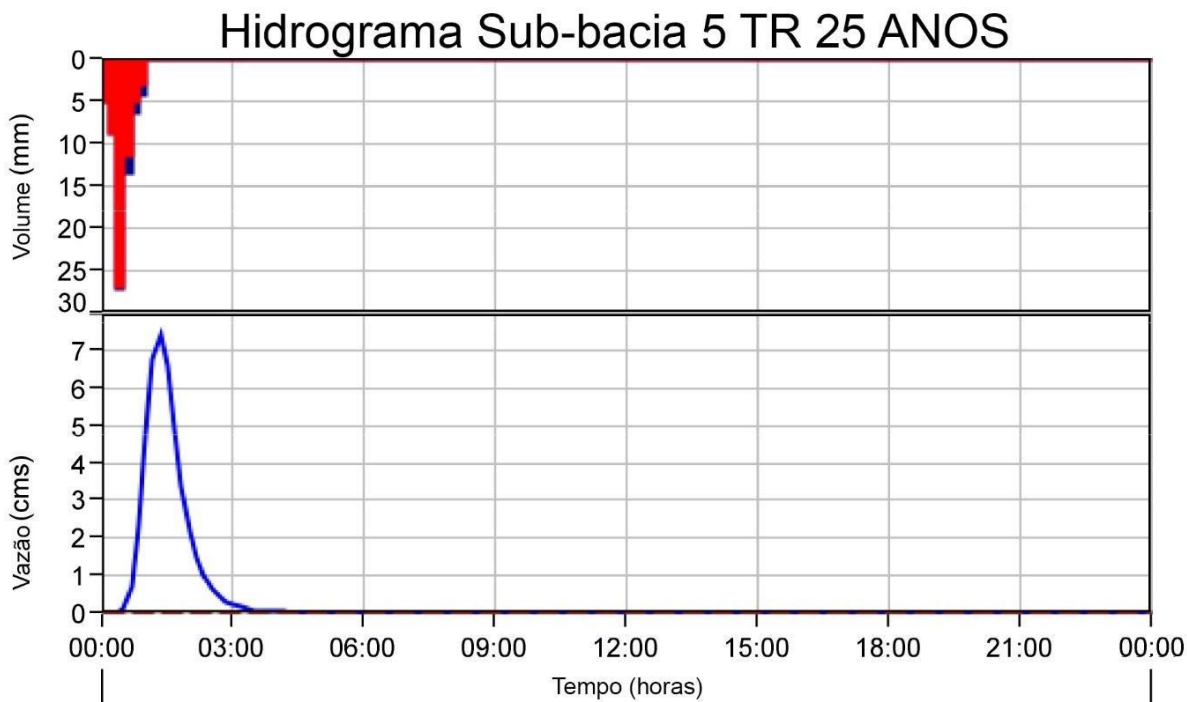
- Precipitação Sub-bacia 1
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 1
- - - Vazão de base

Hidrograma Sub-bacia 2 TR 25 ANOS

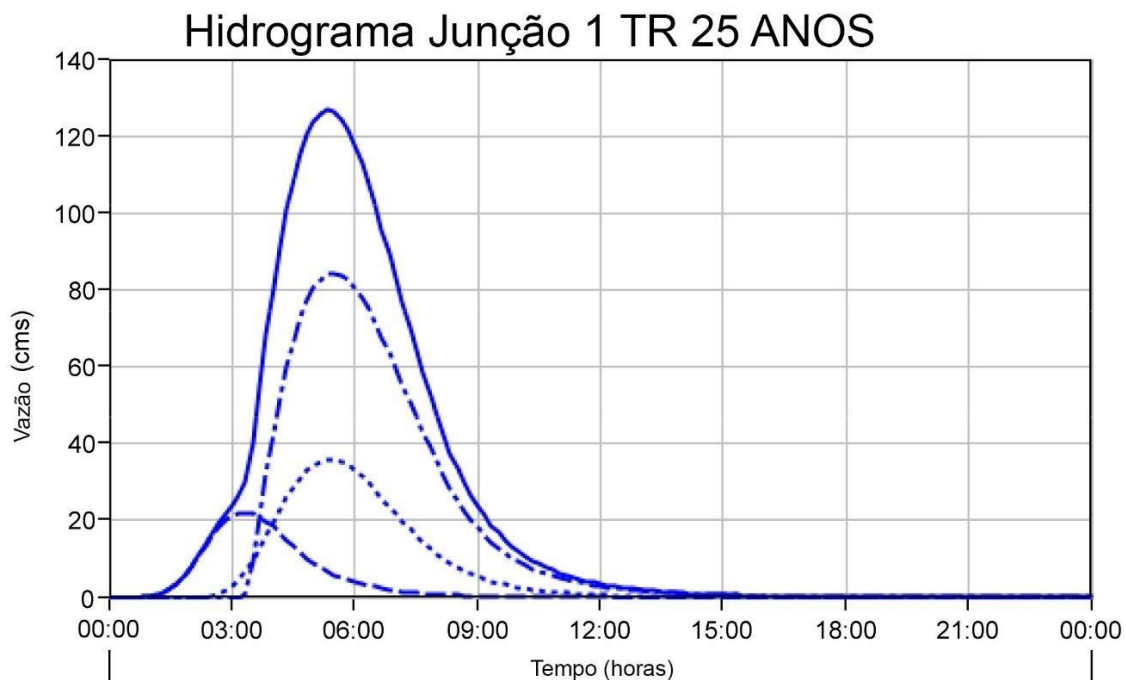


- Precipitação Sub-bacia 2
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 2
- - - Vazão de base

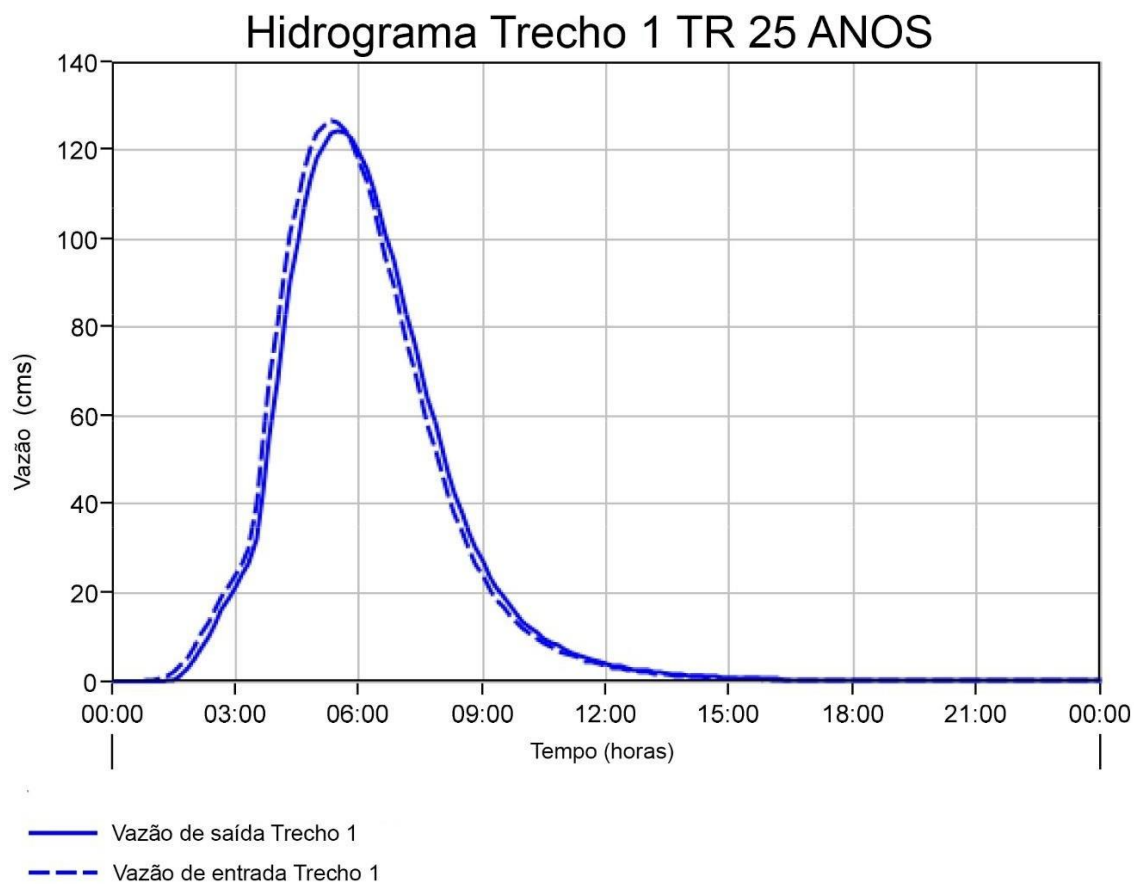




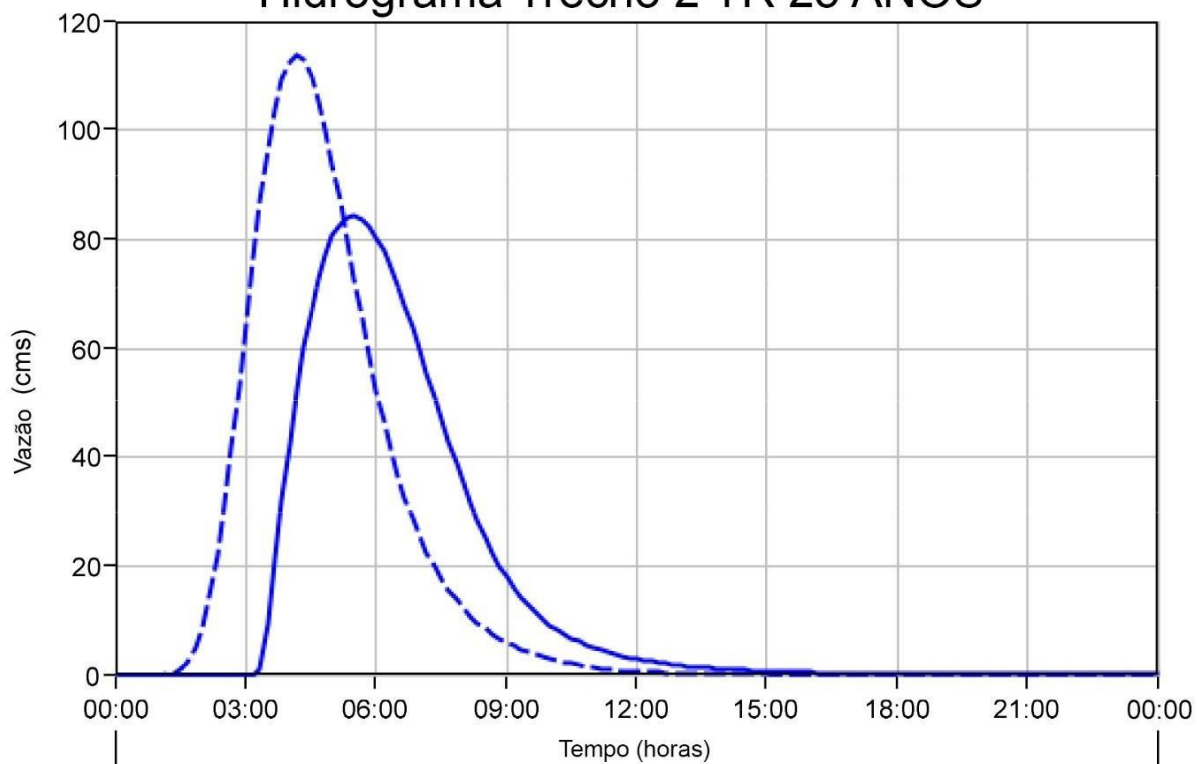
- █ Precipitação Sub-bacia 5
- █ Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 5
- - - Vazão de base



- Vazão de saída Junção 1
- - - Vazão de saída Sub-Bacia 2
- · · Vazão de saída Sub-bacia 4
- . - . Vazão de saída Trecho 2

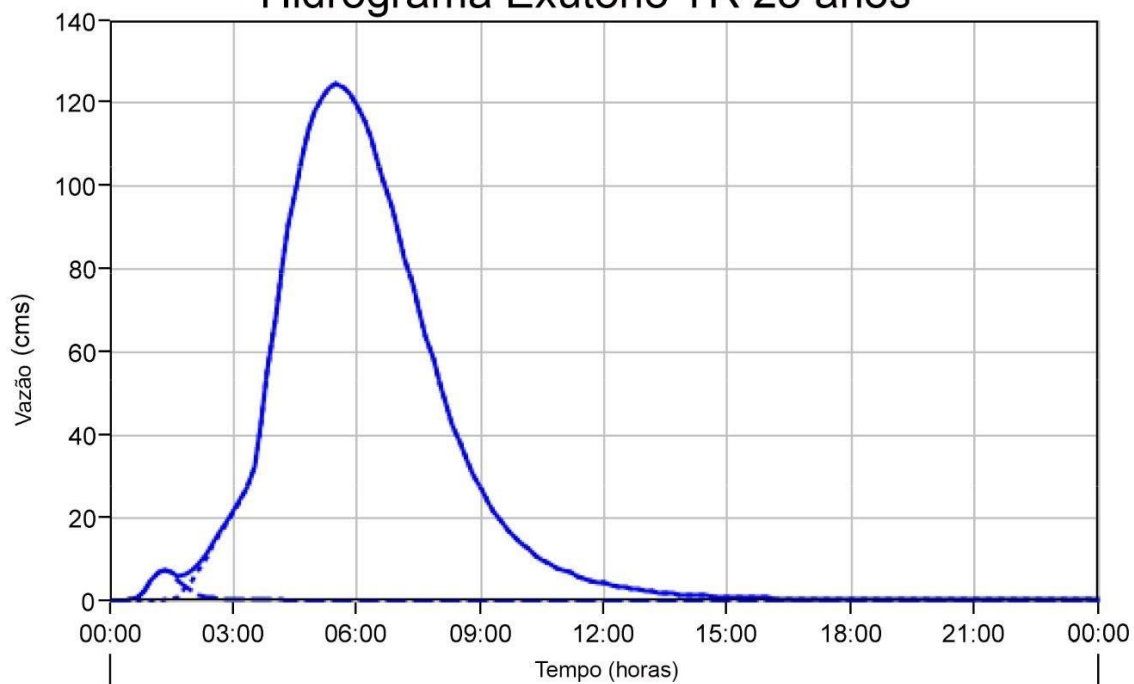


Hidrograma Trecho 2 TR 25 ANOS



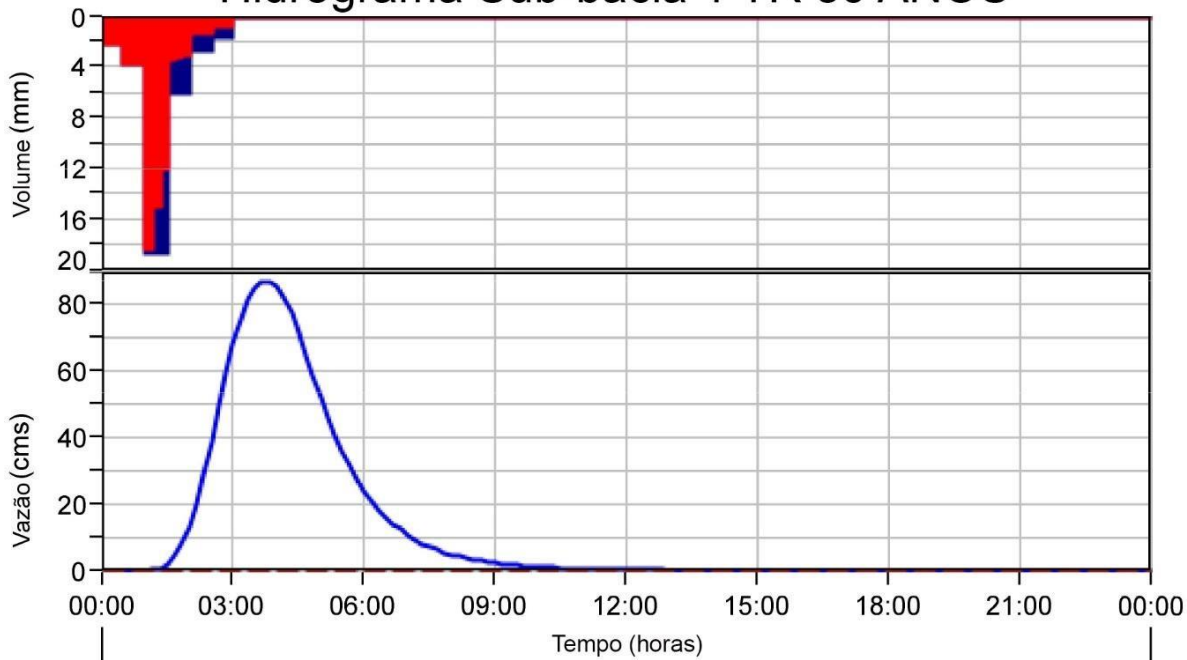
— Vazão de saída Trecho 2
 - - - Vazão de entrada Trecho 2

Hidrograma Exutório TR 25 anos



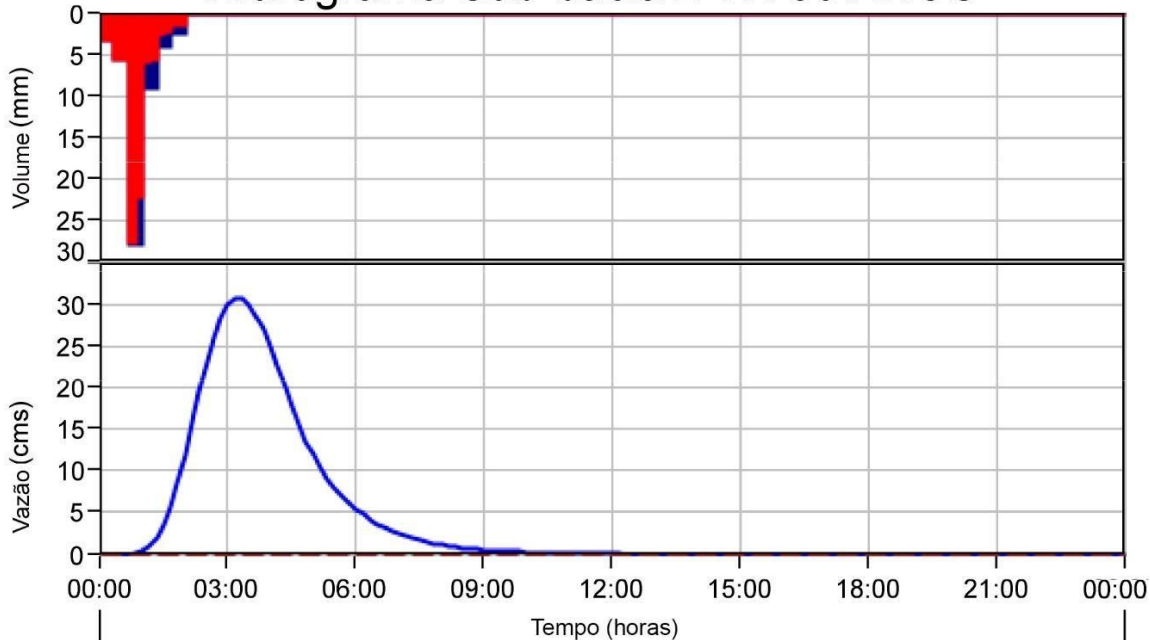
— Vazão de saída exutório
 - - - Vazão de saída Sub-bacia 5
 Vazão de saída Trecho 1

Hidrograma Sub-bacia 1 TR 50 ANOS



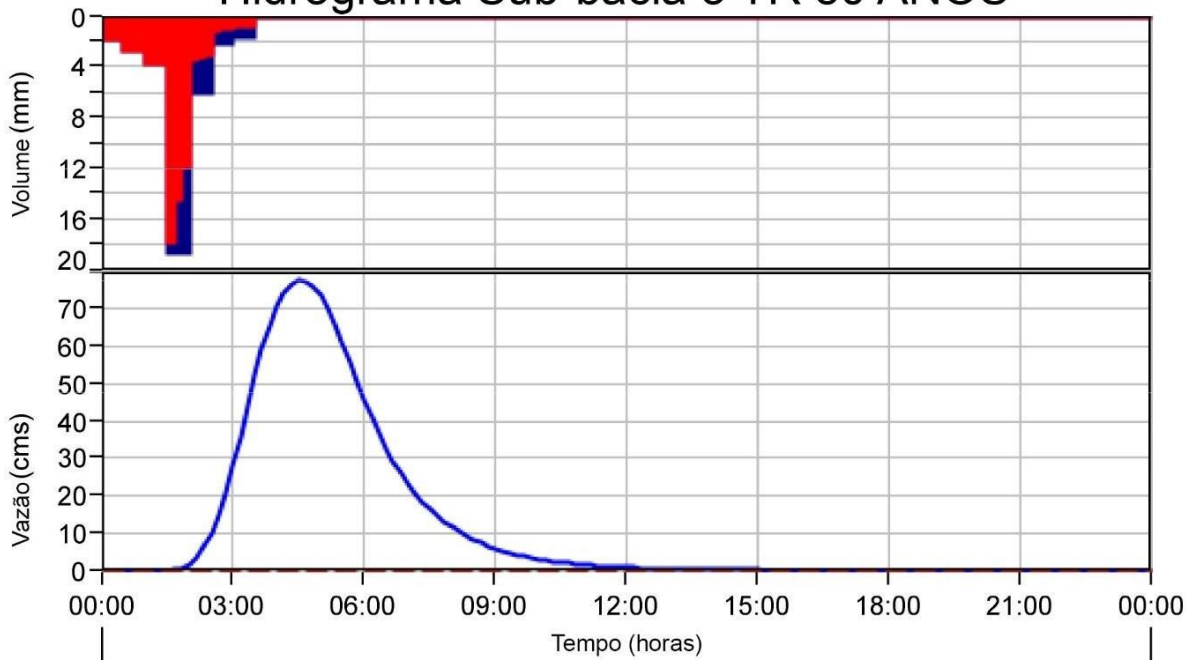
- Precipitação Sub-bacia 1
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 1
- - - Vazão de base

Hidrograma Sub-bacia 2 TR 50 ANOS



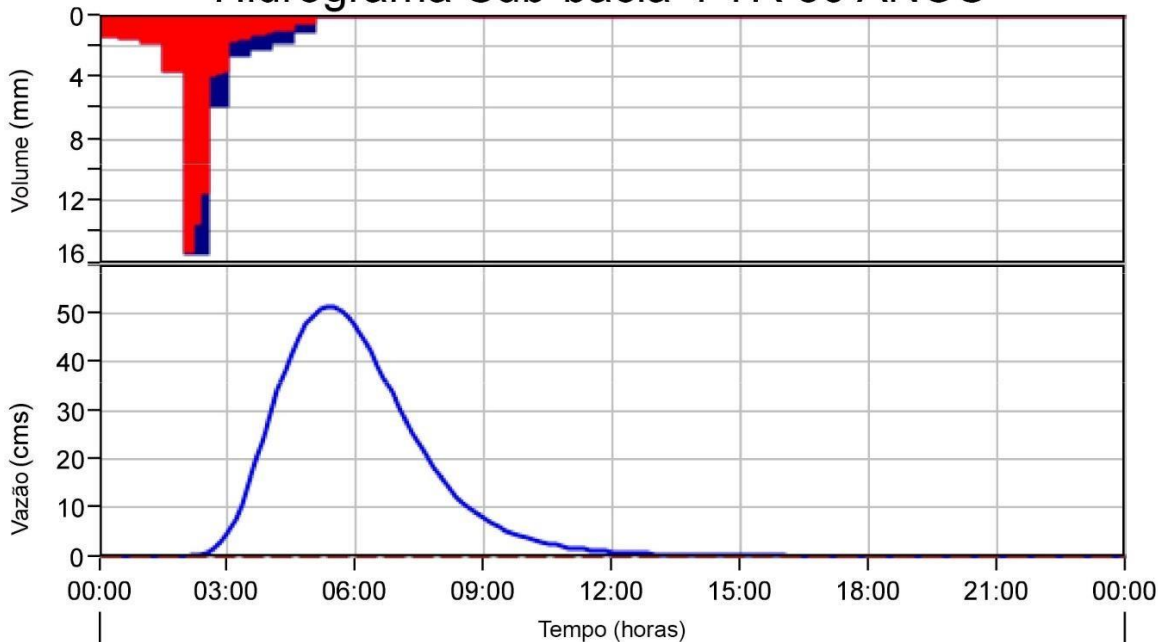
- Precipitação Sub-bacia 2
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 2
- - - Vazão de base

Hidrograma Sub-bacia 3 TR 50 ANOS

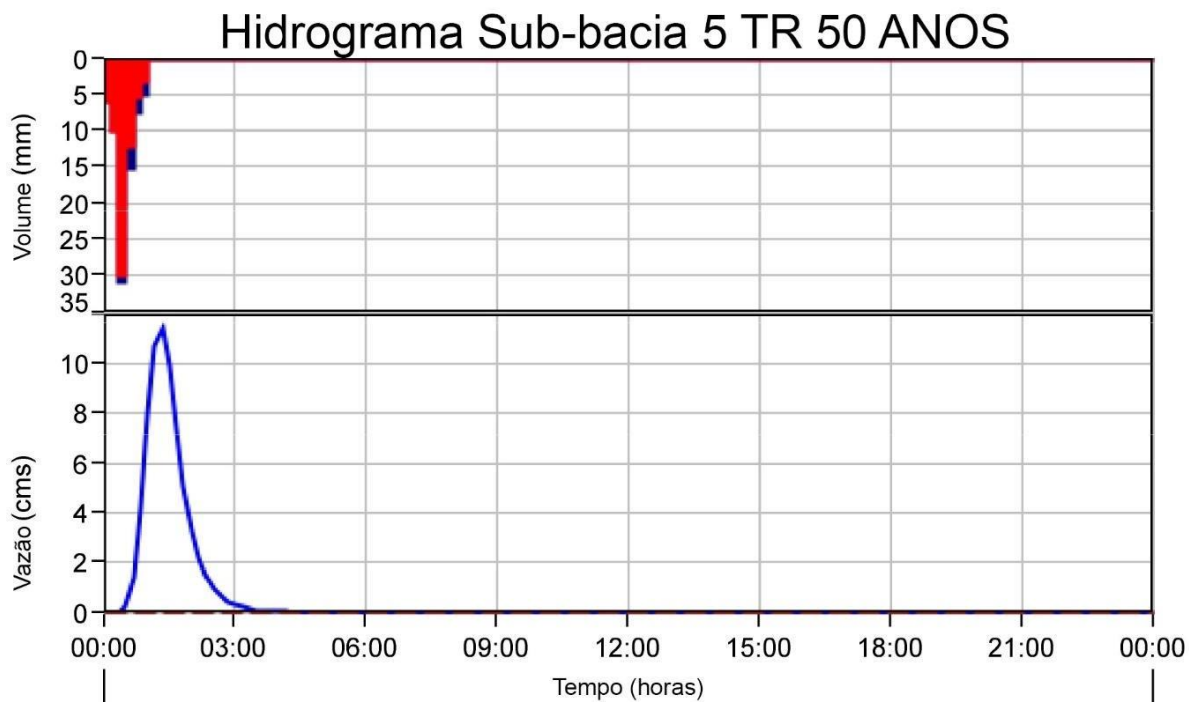


- Precipitação Sub-bacia 3
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 3
- - - Vazão de base

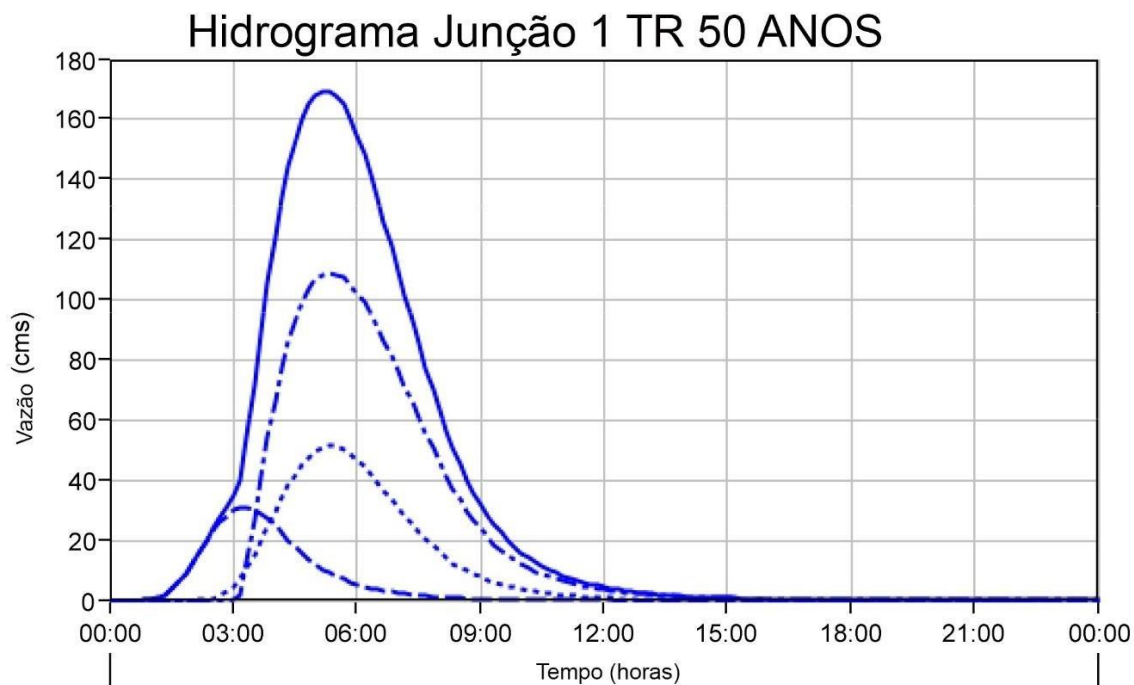
Hidrograma Sub-bacia 4 TR 50 ANOS



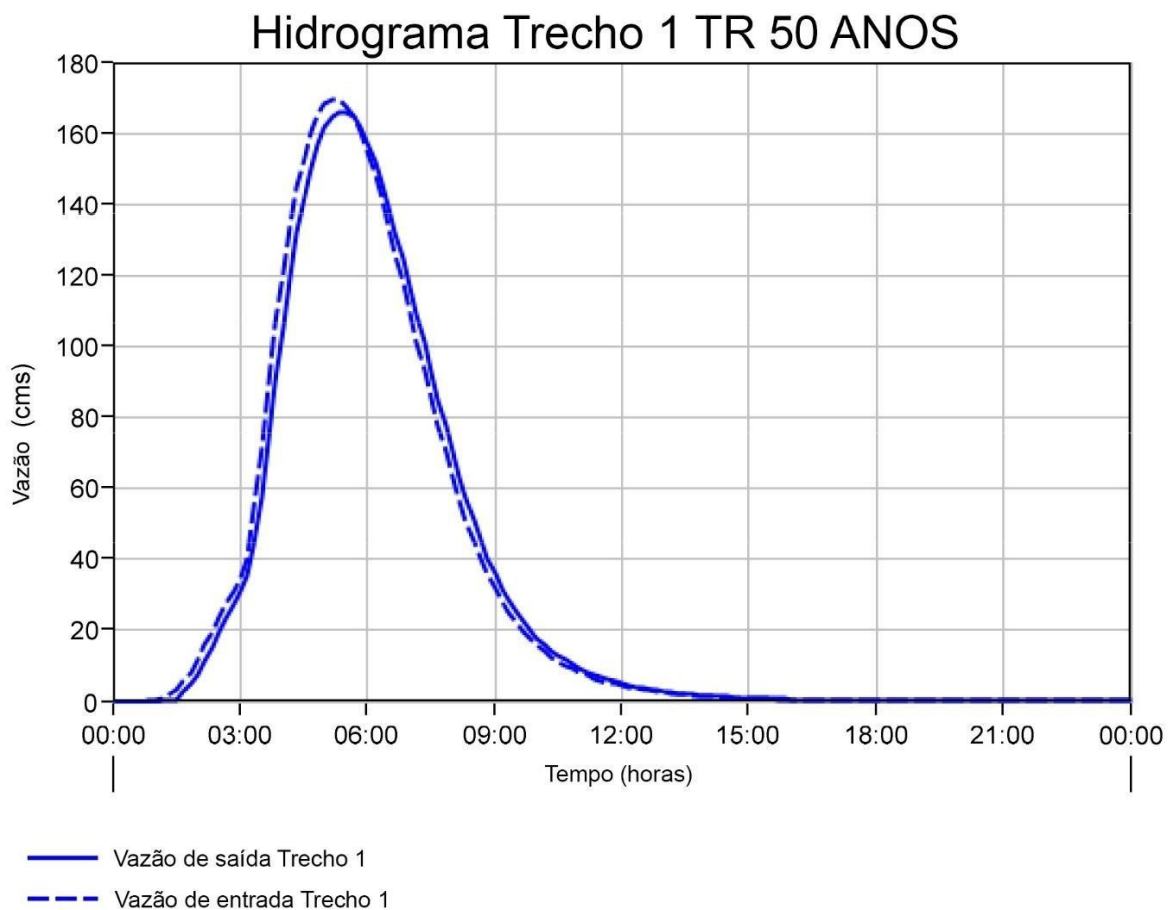
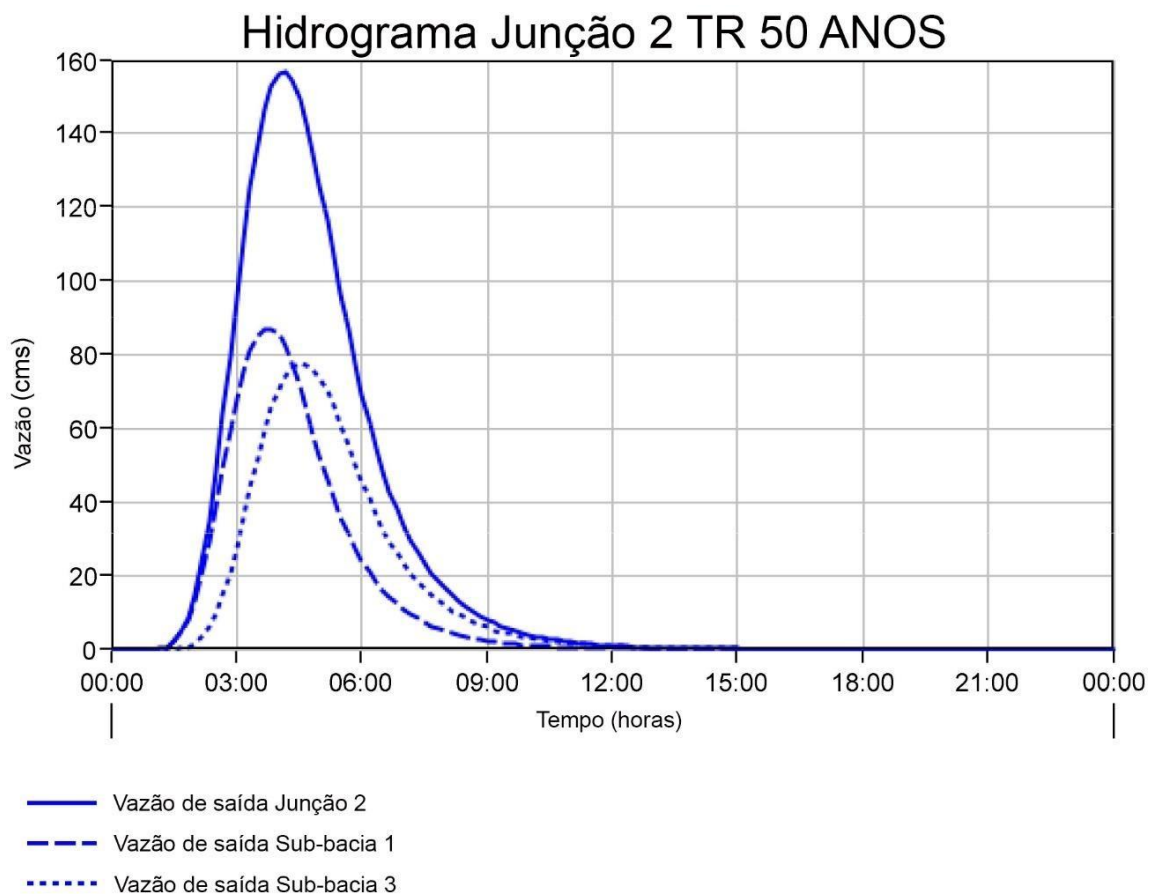
- Precipitação Sub-bacia 4
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 4
- - - Vazão de base

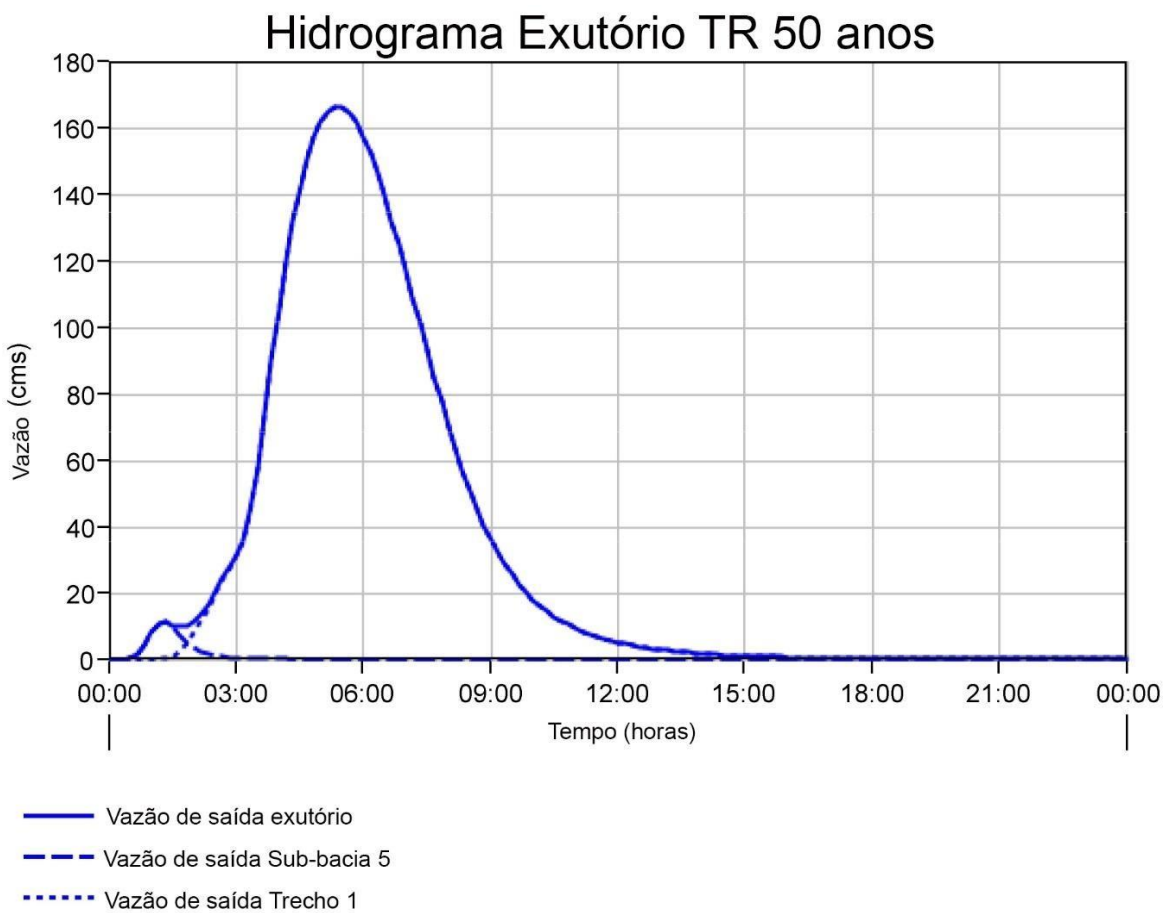
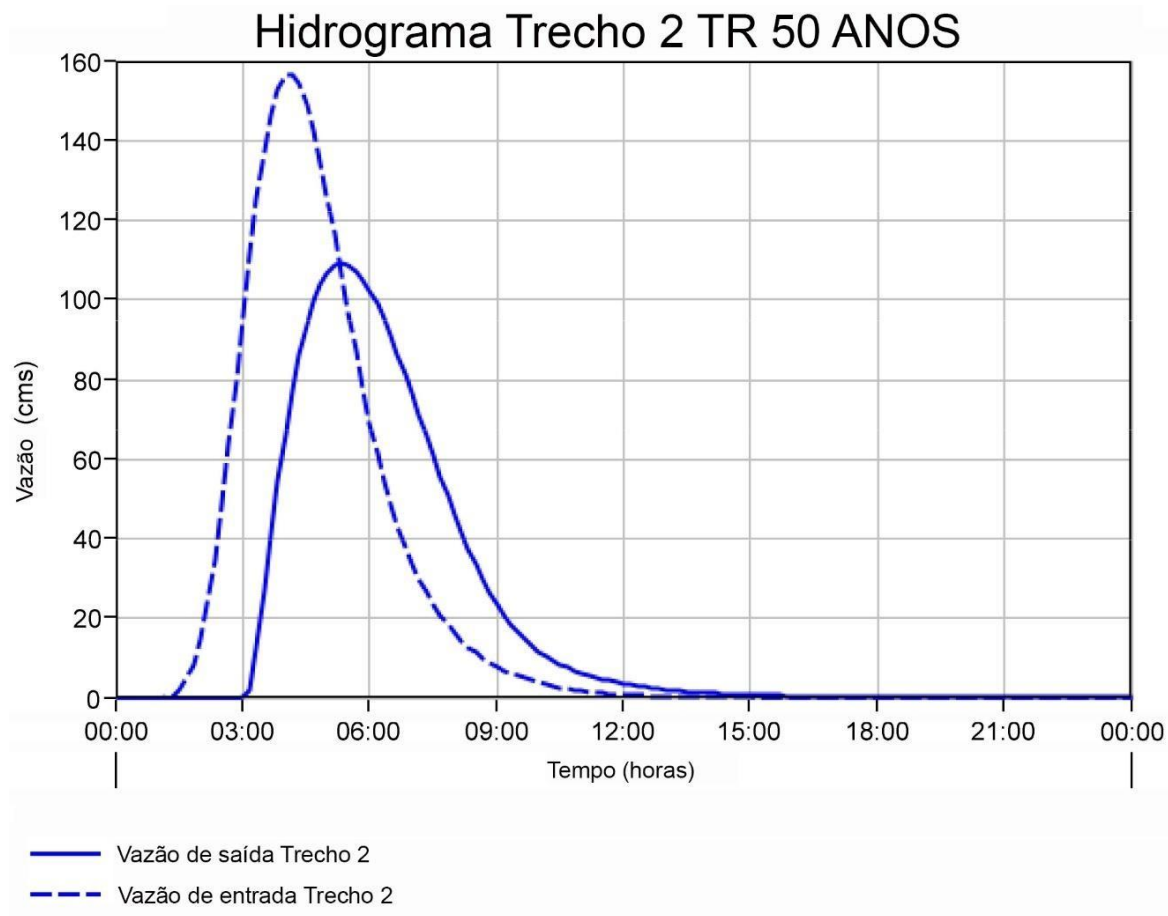


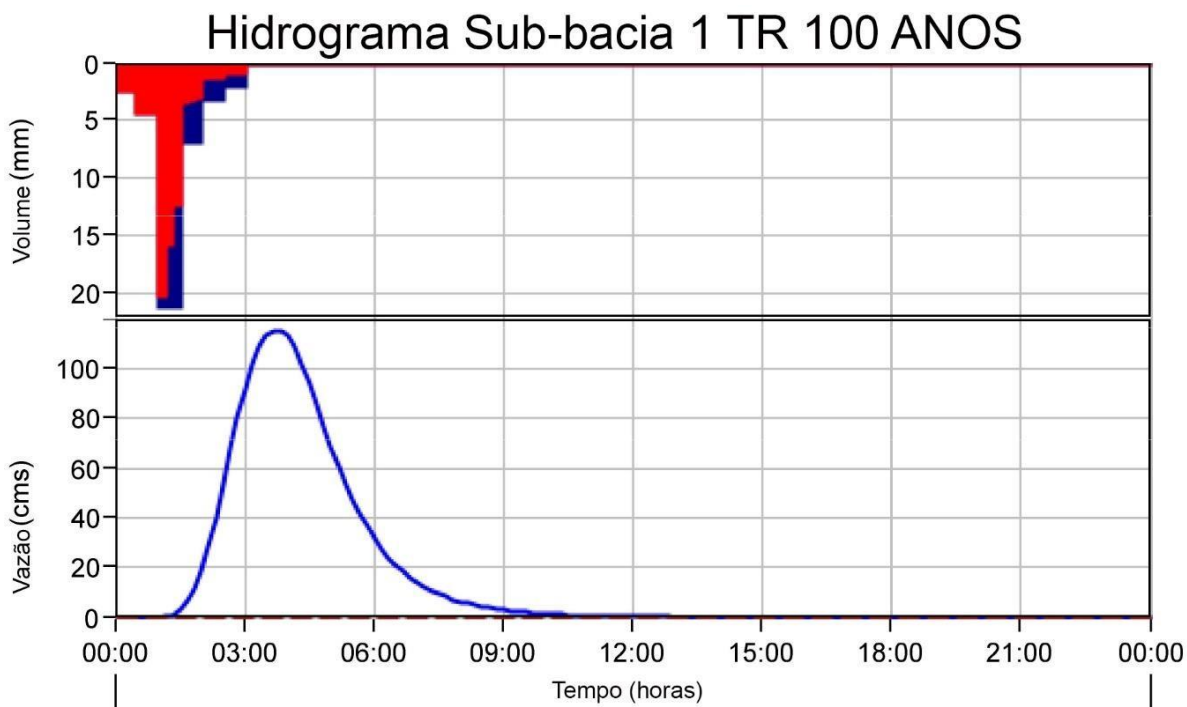
- Precipitação Sub-bacia 5
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 5
- Vazão de base



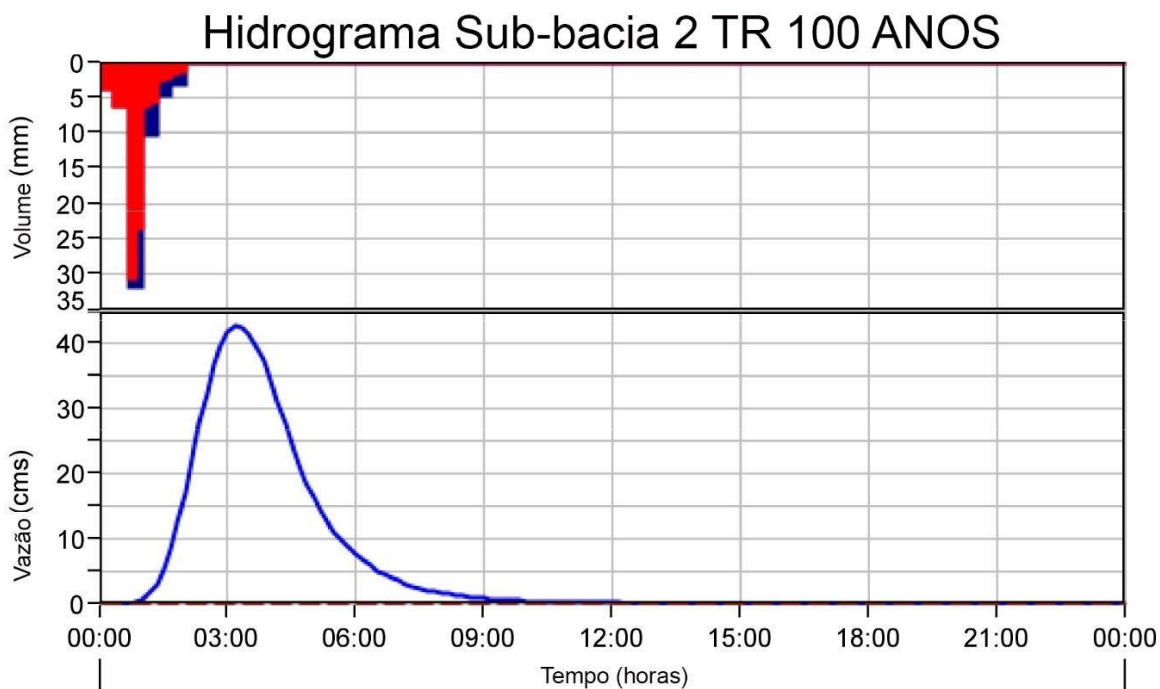
- Vazão de saída Junção 1
- - - Vazão de saída Sub-Bacia 2
- Vazão de saída Sub-bacia 4
- . - . Vazão de saída Trecho 2



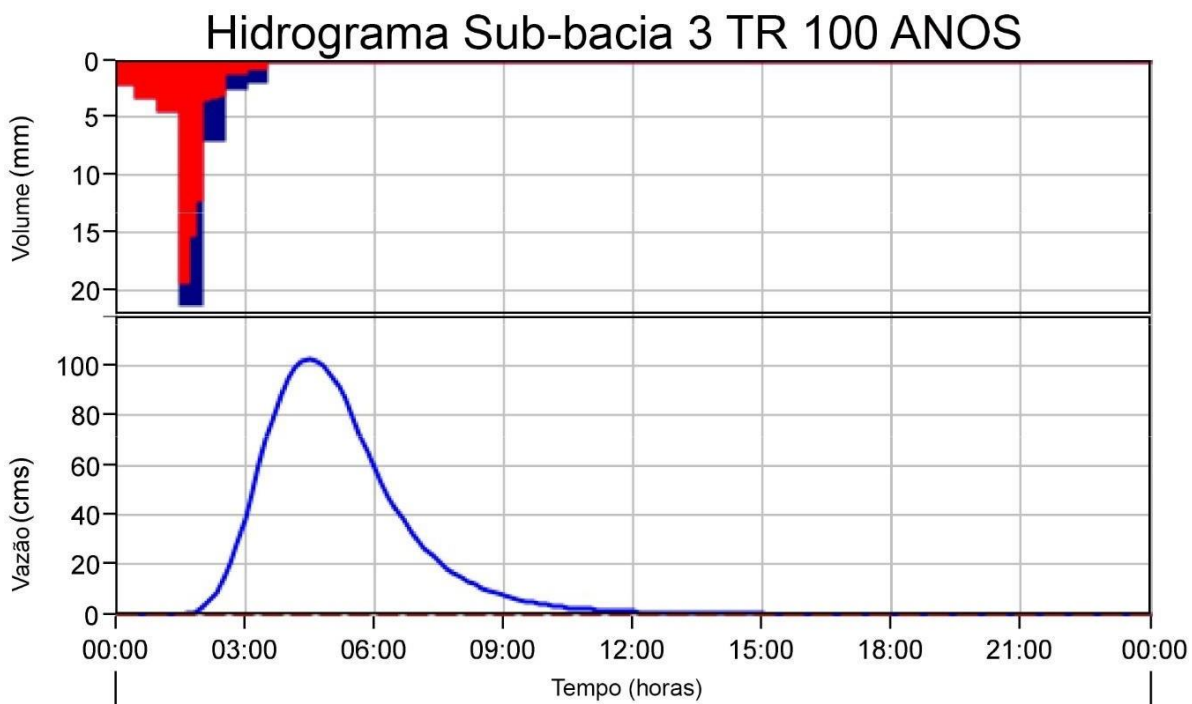




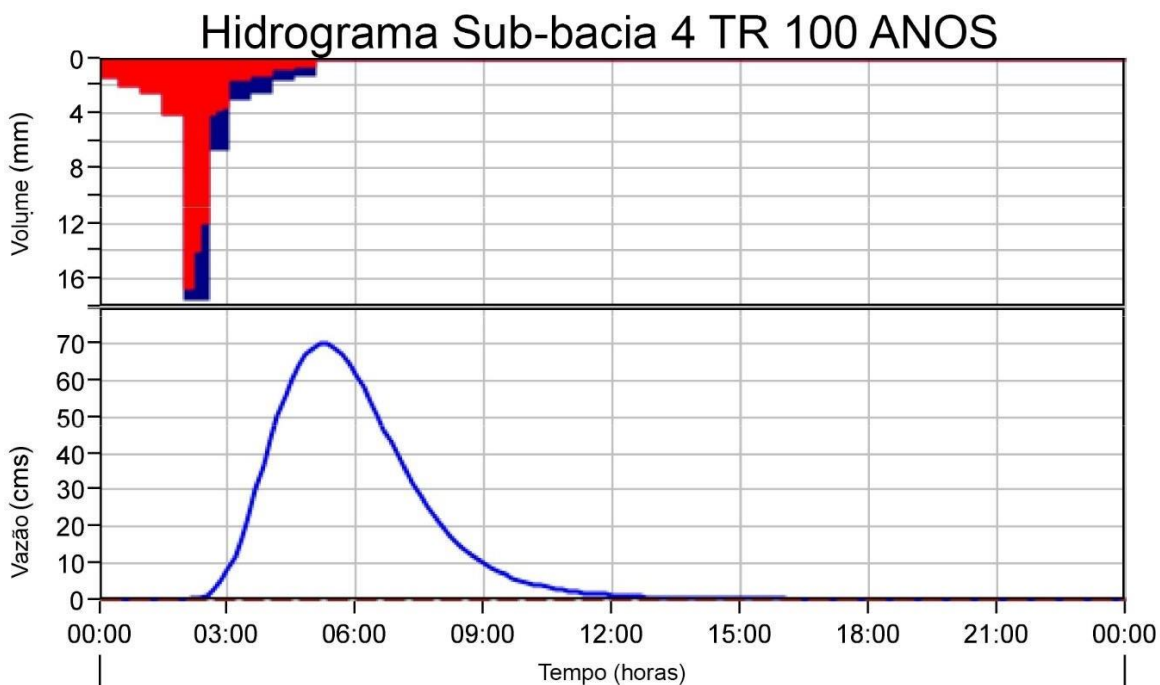
- Precipitação Sub-bacia 1
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 1
- - - Vazão de base



- Precipitação Sub-bacia 2
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 2
- - - Vazão de base

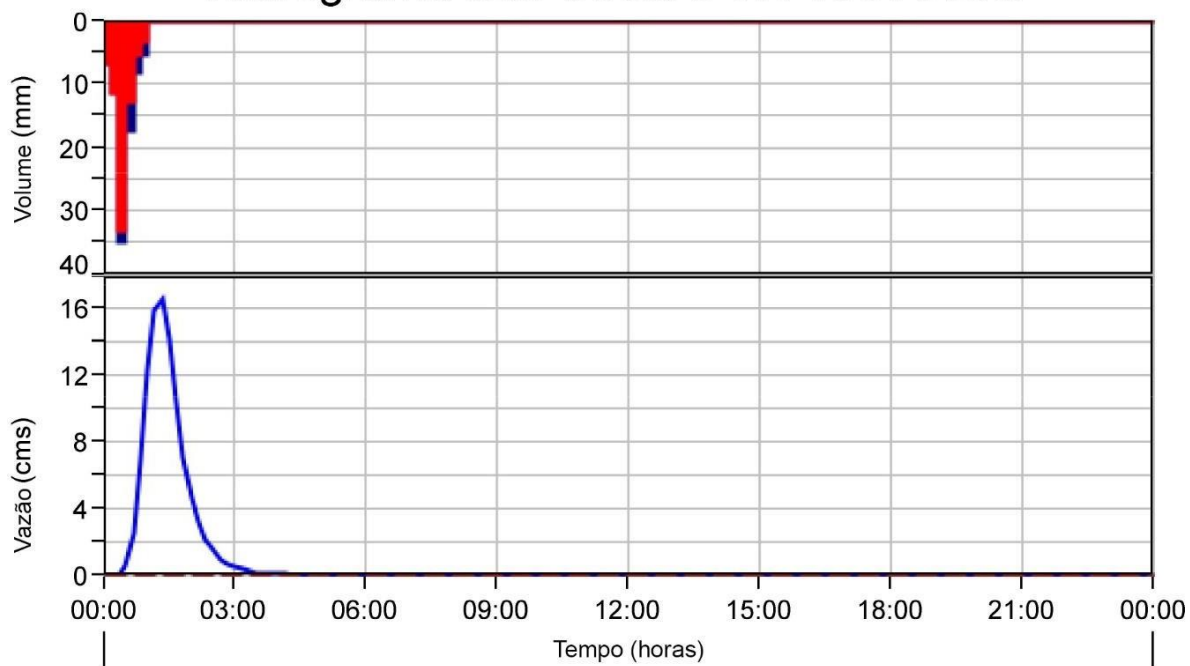


- Precipitação Sub-bacia 3
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 3
- - - Vazão de base



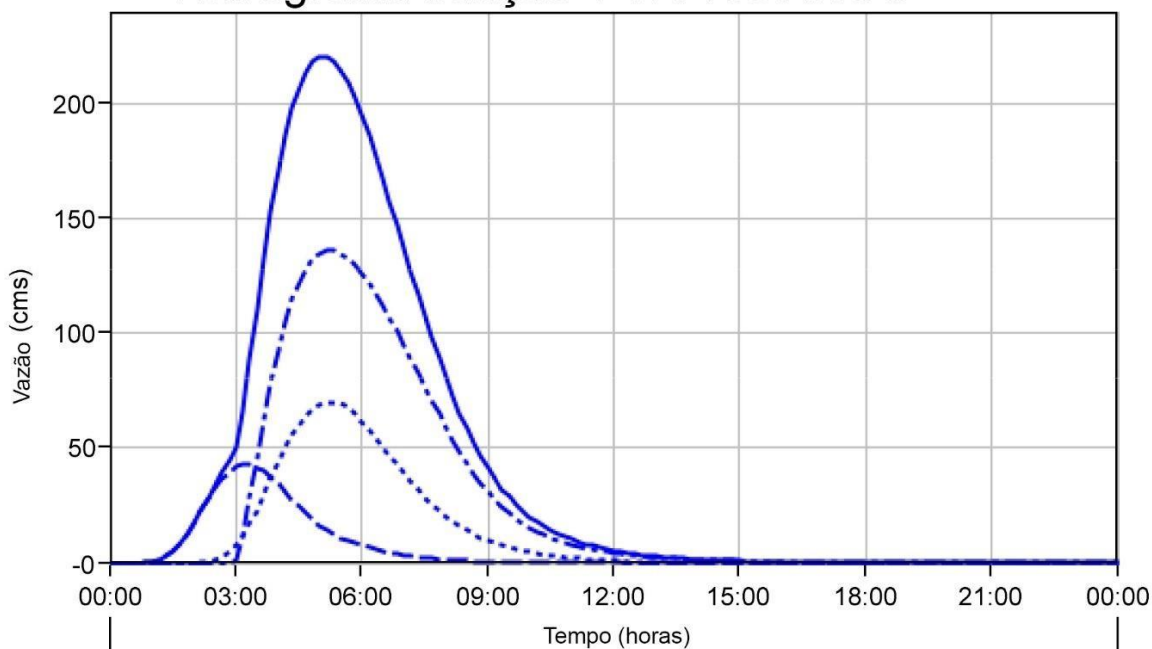
- Precipitação Sub-bacia 4
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 4
- - - Vazão de base

Hidrograma Sub-bacia 5 TR 100 ANOS



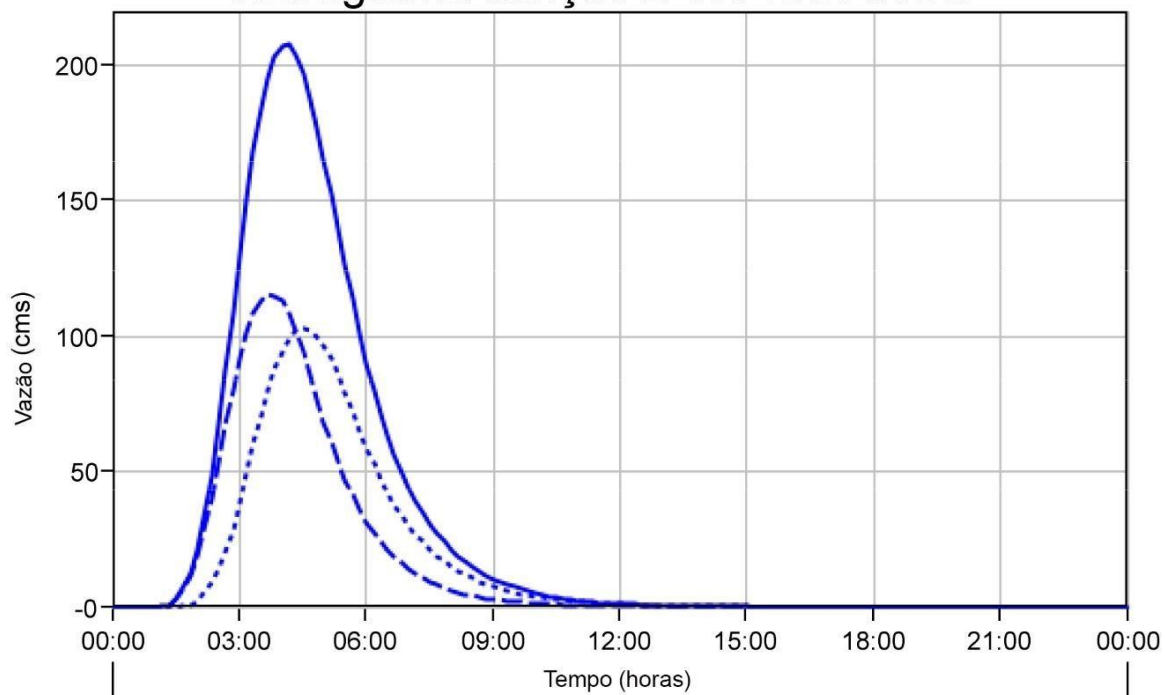
- Precipitação Sub-bacia 5
- Infiltração
- Vazão de saída Sub-bacia 5

Hidrograma Junção 1 TR 100 ANOS



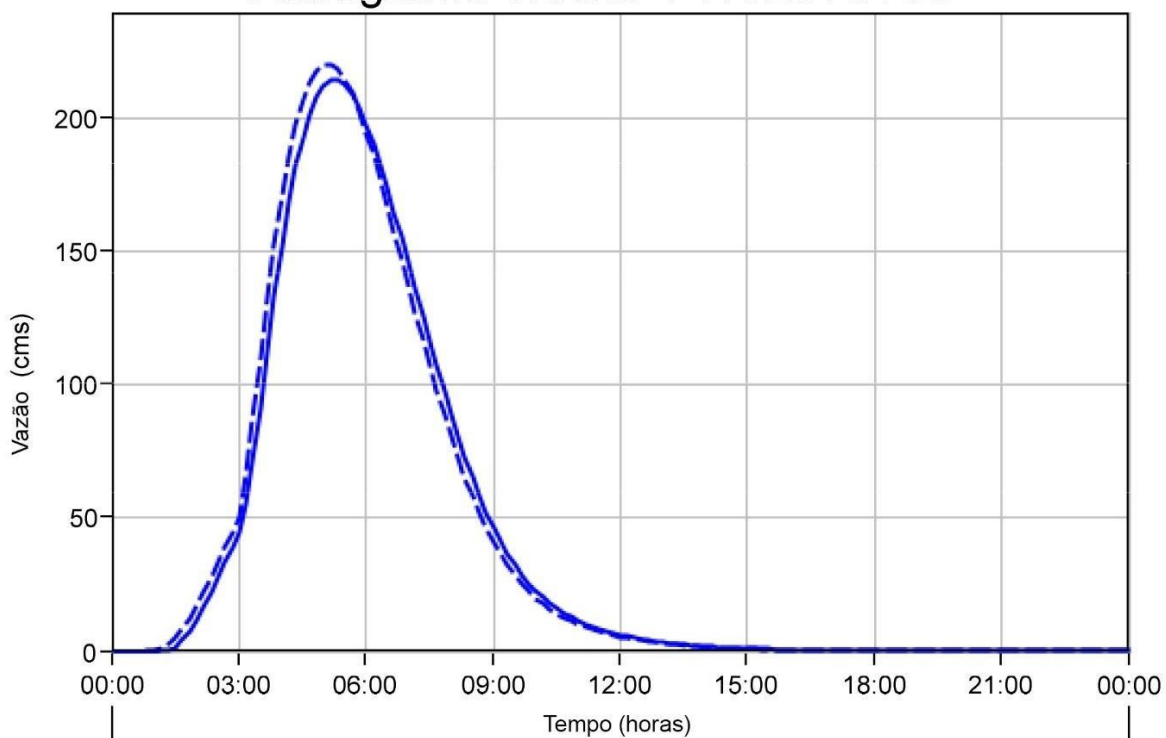
- Vazão de saída Junção 1
- - - Vazão de saída Suba-Bacia 2
- . . . Vazão de saída Sub-bacia 4
- . - . Vazão de saída Trecho 2

Hidrograma Junção 2 TR 100 ANOS



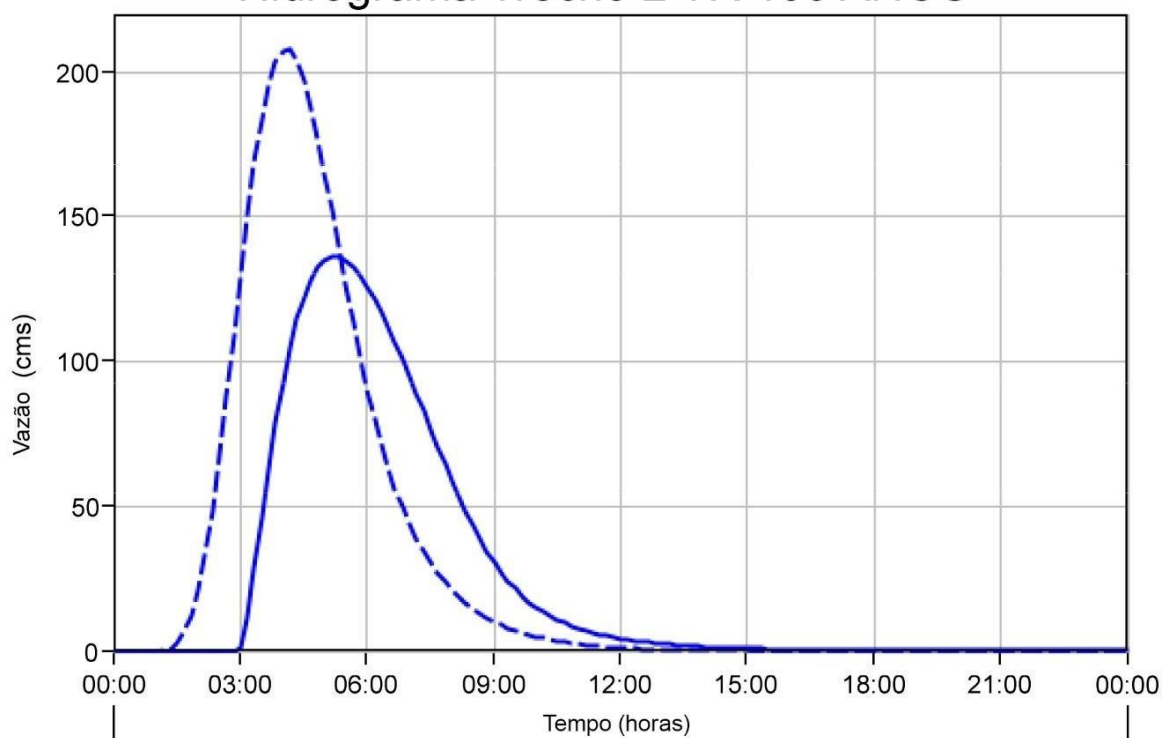
- Vazão de saída Junção 2
- - - Vazão de saída Sub-bacia 1
- ... Vazão de saída Sub-bacia 3

Hidrograma Trecho 1 TR 25 ANOS



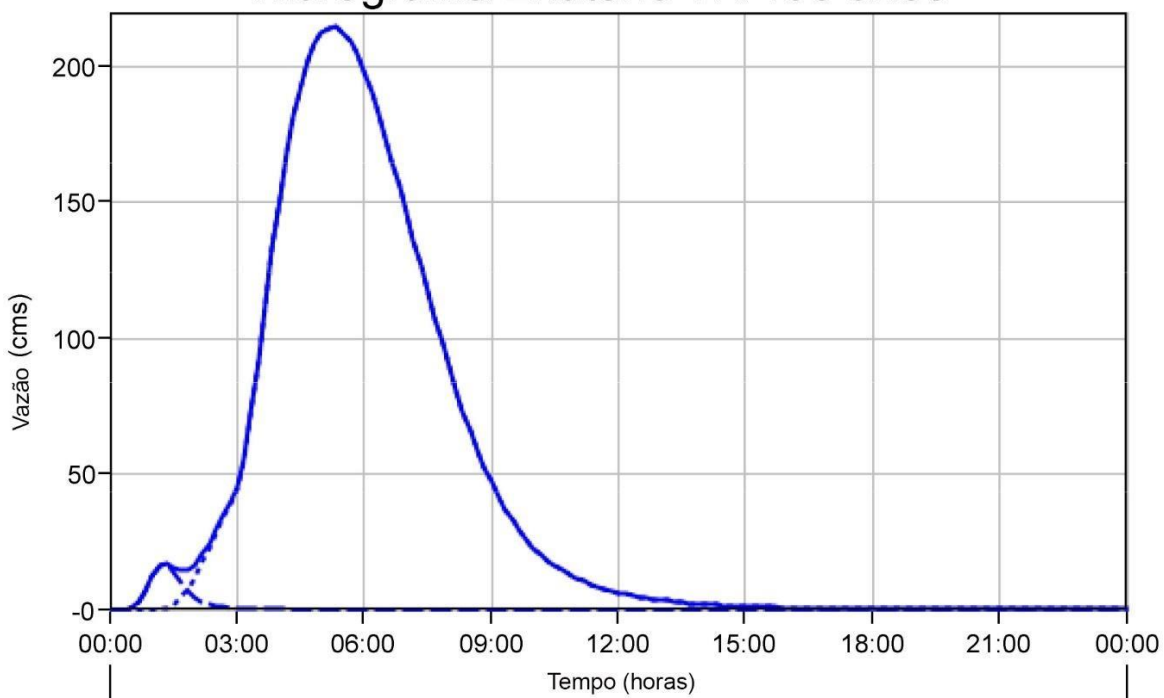
- Vazão de saída Trecho 1
- - - Vazão de entrada Trecho 1

Hidrograma Trecho 2 TR 100 ANOS



- Vazão de saída Trecho 2
- - - Vazão de entrada Trecho 2

Hidrograma Exutório TR 100 anos



- Vazão de saída exutório
- - - Vazão de saída Sub-bacia 5
- Vazão de saída Trecho 1