

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ROSINALDO DE SOUZA RODRIGUES JUNIOR

**DETERMINAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO DO CAMPO UTILIZANDO O SOFTWARE HEC-HMS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2019

ROSINALDO DE SOUZA RODRIGUES JUNIOR

**DETERMINAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO DO CAMPO UTILIZANDO O SOFTWARE HEC-HMS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão.

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

CAMPO MOURÃO

2019



TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO INTITULADO

DETERMINAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CAMPO
UTILIZANDO O SOFTWARE HEC-HMS

DO DISCENTE

ROSINALDO DE SOUZA RODRIGUES JUNIOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 04 de dezembro de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. O discente foi arguido pela Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a comissão considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rodrigo Gonçalves Ferreira Da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Eudes José Arantes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

A família, aos amigos, aos professores e ao orientador, por sempre estarem presentes dando sua contribuição, mesmo que indiretamente.

“Nascer, viver, morrer, renascer ainda e progredir sempre, tal é a lei”

(Allan Kardec)

RESUMO

O crescimento populacional e a expansão territorial colaboram com o aumento da área impermeabilizada e conseqüentemente altera a vazão máxima dos corpos hídricos próximos. A vazão máxima é utilizada no dimensionamento de obras hidráulicas, como pontes, dutos, barragens, entre outros, e pode ser obtido por meio de métodos diretos e indiretos, dentre eles está a modelagem hidrológica. Dessa forma, objetivo do presente estudo foi determinar as características hidrológicas da bacia hidrográfica do Rio do Campo, bem como determinar a vazão máxima a partir do método de perda SCS Curve Number e os métodos de transformação do hidrograma unitário de Snyder e do hidrograma do SCS, para os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos utilizando o software HEC-HMS. Para essa determinação, a bacia do Rio do Campo foi dividida em quatro sub-bacias, sendo obtidas informações quanto ao uso e ocupação do solo, características do rio principal (declividade e comprimento), área da bacia e solo presente. Os resultados obtidos para a vazão no exutório foram de 296,2 m³.s⁻¹, 368,5 m³.s⁻¹ e 453,6 m³.s⁻¹ utilizando método do SCS e de 234,6 m³.s⁻¹, 291 m³.s⁻¹ e 357,8 m³.s⁻¹ para o método de Snyder, nos tempos de concentração 25, 50 e 100 anos, respectivamente. A vazão do exutório para um tempo de retorno de 25 anos, obteve uma diferença de 11,61 % entre o método SCS e o método de Snyder, já para os tempos de retorno de 50 e 100 anos essa diferença correspondeu a 11,75 % e 11,81 %, respectivamente. Já a vazão específica máxima foi de 0,7734 m³.s⁻¹.Km⁻²; 0,9622 m³.s⁻¹.Km⁻² e 1,1844 m³.s⁻¹.Km⁻² para o método SCS e de igual a 0,6126 m³.s⁻¹.Km⁻², 0,7599 m³.s⁻¹.Km⁻² e 0,9343 m³.s⁻¹.Km⁻² para o método de Snyder, considerando os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos. Assim, conclui-se que o estudo tem grande importância para o levantamento das características hidrológicas da bacia do Rio do Campo como a área de drenagem, declividade, uso e ocupação, bem como para a determinação da vazão máxima que permite um gerenciamento de riscos ligados a inundações e a obras hidráulicas.

Palavras-chave: Modelos hidrológicos, Tempo de pico, Precipitação.

ABSTRACT

Population growth and territorial expansion contribute to the increase of the impermeable area and consequently changes the maximum flow of nearby water bodies. The maximum flow is used in the design of hydraulic works, such as bridges, pipelines, dams, among others, and can be obtained through direct and indirect methods, among them is the hydrological modeling. Thus, the objective of this study was to determine the hydrological characteristics of the Rio do Campo watershed, as well as to determine the maximum flow from the SCS Curve Number loss method and the methods of transformation of the Snyder unit hydrogram and the SCS hydrogram, for the return times of 25, 50 and 100 years using the HEC-HMS software. For this determination, the Rio do Campo basin was divided into four sub-basins, and information was obtained on land use and occupation, characteristics of the main river (slope and length), area of the basin and soil present. The results obtained for the flow in the exuturium were $296,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $368,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ and $453,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ using the SCS method and $234,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $291 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ and $357,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ for the Snyder method, in concentration times of 25, 50 and 100 years, respectively. The flow of the exutrium for a return time of 25 years, obtained a difference of 11,61 % between the SCS method and the Snyder method, while for the return times of 50 and 100 years this difference corresponded to 11,75 % and 11,81 %, respectively. The maximum specific flow was $0,7734 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$; $0,9622 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$ and $1,1844 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$ for the SCS method and equal to $0,6126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$, $0,7599 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$ and $0,9343 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$ for the Snyder method, considering the return times of 25, 50 and 100 years. Thus, it is concluded that the study is of great importance for the survey of the hydrological characteristics of the Rio do Campo basin, such as drainage area, slope, use and occupation, as well as for the determination of the maximum flow rate that allows a management of risks related to floods and hydraulic works.

Keywords: Hydrologic models, Time of peak, Precipitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equações de tempo de concentração.....	11
Figura 2 - Características das bacias-base das equações.....	11
Figura 3 - Hidrograma unitário sintético de Snyder.	19
Figura 4 - Hidrograma unitário do SCS.	21
Figura 5 - Localização da bacia hidrográfica do Rio do Campo, Paraná.....	22
Figura 6 - Valor do coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning.	27
Figura 7 - Modelo da bacia na interface do HEC-HMS.	28
Figura 8 - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio do Campo, Paraná.	29
Figura 9 - Solos encontrados na bacia hidrográfica do Rio do Campo, PR.	31
Figura 10 - Hietogramas rearranjados pelo método de blocos alternados para o tempo de retorno de 25 anos.	33
Figura 11 - Hietogramas rearranjados pelo método de blocos alternados para o tempo de retorno de 50 anos.	34
Figura 12 - Hietogramas rearranjados pelo método de blocos alternados para o tempo de retorno de 100 anos.	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tempos de retorno indicados para cada tipo de estrutura hidráulica.	12
Quadro 2 - Grupos hidrológicos de solo: tipos de solo e condições de uso.	14
Quadro 3 - Estimativa dos valores de curva número para áreas urbanas e suburbanas.	14
Quadro 4 - Estimativa dos valores de curva número para áreas rurais.....	15
Quadro 5 - Correção do valor CN.....	16
Quadro 6 - Uso e ocupação das sub-bacias do Rio do Campo, Paraná.	30
Quadro 7 - Tempo de concentração das sub-bacias do Rio do Campo, Paraná.	32
Quadro 8 - Precipitação incremental máxima para os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos.....	35
Quadro 9 - Simulação global para o tempo de retorno de 25 anos.	36
Quadro 10 - Simulação global para o tempo de retorno de 50 anos.	36
Quadro 11 - Simulação global para o tempo de retorno de 100 anos.	37
Quadro 12 - Simulação global para o tempo de retorno de 25 anos.	39
Quadro 13 - Simulação global para o tempo de retorno de 50 anos.	39
Quadro 14 - Simulação global para o tempo de retorno de 100 anos.	40
Quadro 15 - Resultados da simulação da vazão máxima pelos métodos SCS e Snyder, com tempo de retorno de 25 anos.....	41
Quadro 16 - Resultados da simulação da vazão máxima pelos métodos SCS e Snyder, com tempo de retorno de 50 anos.....	42
Quadro 17 - Resultados da simulação da vazão máxima pelos métodos SCS e Snyder, com tempo de retorno de 100 anos.....	42
Quadro 18 - Dados gerais da bacia hidrográfica do Rio do Campo.	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
1.1 OBJETIVOS	5
1.1.1 Objetivo geral	5
1.1.2 Objetivos específicos.....	5
1.2 JUSTIFICATIVA	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA	6
2.2 VAZÃO MÁXIMA	6
2.3 MODELOS HIDROLÓGICOS.....	7
2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS HIDROLÓGICOS	8
2.5 INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA.....	9
2.6 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	10
2.7 PERÍODO DE RETORNO	12
2.8 MÉTODO DO SCS (CURVE NUMBER).....	13
2.9 MÉTODO DE MUSKIGUM-CUNGE	17
2.10 HIDROGRAMA UNITÁRIO DE SNYDER.....	17
2.11 HIDROGRAMA UNITÁRIO DO SCS	19
3 METODOLOGIA	22
3.1 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA	22
3.2 OBTENÇÃO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA PELO MDE.....	23
3.3 SOLOS	23
3.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	23
3.5 INTENSIDADE MÁXIMA	23
3.6 APLICAÇÃO DO HEC-HMS.....	24
3.7 OBTENÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO DO SCS	25
3.8 OBTENÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO DE SNYDER	26
3.9 DURAÇÃO DA CHUVA.....	26
3.10 DADOS DE ENTRADA DO MÉTODO DE MUSKIGUM-CUNGE	26
3.11 SIMULAÇÃO DO HEC-HMS	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA	29
4.2 DETERMINAÇÃO DO CURVE NUMBER	30

4.3 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E HIETOGRAMAS	32
4.4 DADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO	36
4.4.1 Simulação do método de SCS.....	36
4.4.1.1 Tempo de pico do método do SCS	38
4.4.1.2 Tempo de base do método do SCS	38
4.4.2 Simulação do método de Snyder	38
4.4.2.1 Tempo de pico do método de Snyder.....	40
4.4.2.2 Tempo de base do método de Snyder	41
4.4.3 Hidrogramas do método do SCS	41
4.4.4 Comparação da vazão máxima	41
4.5 PANORAMA GERAL.....	43
4.6 EDITAL 1/2019 PROREC/PROGRAD APOIO A EXUCAÇÃO DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSOS – TCC	44
5 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS.....	47
APÊNDICES	54

1 INTRODUÇÃO

Em diversos núcleos urbanos o crescimento populacional e a expansão territorial tiveram grande impacto sobre a infraestrutura local, causando mudanças na paisagem urbana, problemas com enchentes, inundações e saneamento básico. Segundo Silva e Ferraz (2017), o crescimento populacional também afeta diretamente o aumento das áreas impermeabilizadas e, conseqüentemente as vazões afluentes aos receptores originais, aumentam devido à redução dos tempos de concentração.

Quando existe um aumento da vazão de pico no corpo hídrico uma grande extensão do canal pode ser fisicamente alterada, em consequência do processo erosivo causado ao leito e bordas dos rios. Além disso, diversas obras hidráulicas que dependeram dos dados hidrológicos para sua construção podem ser sobrecarregadas já que para seu dimensionamento deve-se utilizar a vazão máxima de projeto (SÃO PAULO, 2017), conseqüentemente sua alteração traria impactos negativos as mesmas.

O cálculo da vazão máxima algumas décadas atrás utilizou-se principalmente das fórmulas empíricas e, com o aumento do conhecimento dos fenômenos que regem os processos do ciclo hidrológico, o desenvolvimento dos recursos tecnológicos e maior disponibilidade de dados hidrológicos, métodos mais complexos e confiáveis foram sendo aperfeiçoados (SOUSA, 2010).

Apesar disso, no Brasil devido à grande extensão hidrológica se torna difícil um gerenciamento adequado o que possibilita a ocorrência de falhas e escassez de informações fluviométricas (RODRIGUES JUNIOR; ARANTES, 2018). A inexistência de séries observadas de vazões afluentes em pontos de interesse da bacia hidrográfica impossibilita o emprego de métodos diretos para estimativa de vazões (MACEDO, 2010). Assim, sendo necessário à sua determinação através de métodos indiretos, a partir de dados pluviométricos e por meio de modelos matemáticos de conversão da precipitação em vazão.

Dessa forma, busca-se a partir da ferramenta HEC–HMS determinar a vazão máxima da bacia hidrográfica do Rio do Campo e comparar os resultados da simulação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Determinar a vazão máxima da bacia hidrográfica do Rio do Campo e comparar os resultados obtidos.

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral do estudo, foram definidos ainda, os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar hidrologicamente a bacia hidrográfica do Rio do Campo;
- Estimar as vazões máximas para diferentes períodos de retorno;
- Determinar as vazões específicas máximas da bacia hidrográfica.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Tucci (2003), o aumento da vazão máxima depende da impermeabilização do solo e da ocupação da bacia pela população. Isso aliado ao grande crescimento das áreas urbanas nas últimas décadas acaba por alterar essa vazão máxima, sendo necessário sempre que possível uma nova determinação desta, já que a mesma interfere em obras hidráulicas instaladas e em construção, bem como as residências próximas ao canal hídrico.

Entre as diversas dificuldades em se obter a vazão máxima de uma bacia hidrográfica, está a falta de dados hidrológicos, visto que raramente existe a disposição de séries históricas de vazão, ou chuvas intensas, ou até mesmo de dados topográficos (GOUVÊA, 2015). Assim, os modelos hidrológicos procuram representar a parte terrestre do ciclo hidrológico, transformando a precipitação que cai sobre a bacia em vazão numa determinada seção de um rio (ALMEIDA; SERRA, 2017).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

O ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica (SILVEIRA, 2001).

De acordo com Viessman Junior, Harbaugh e Knapp (1972), a bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída. Silveira (2001), trata a bacia hidrográfica como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitada e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e também os infiltrados profundamente.

As bacias hidrográficas caracterizam-se pelos seus aspectos: fisiográfico, clima, tipo de solo, geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, tipo de ocupação, regime pluviométrico e fluviométrico, e disponibilidade hídrica (PRIOSTE, 2007). Em função de suas características, as bacias hidrográficas têm se tornado importantes unidades espaciais utilizadas para gerenciar atividades de uso e conservação dos recursos naturais (MORO, 2005).

2.2 VAZÃO MÁXIMA

A vazão máxima ou vazão de pico é definida como a maior vazão atingida em um evento no qual a precipitação gera de escoamento, que excede os valores habituais de vazão em determinado curso d'água (MARTINS, 2017).

Essa vazão máxima, que também é caracterizada pela frequência da sua ocorrência, está particularmente associada aos riscos de inundação em uma bacia e à definição das vazões de projeto de obras hidráulicas de controle de enchentes (BARBOSA *et al.*, 2005). Eventos de inundação podem ocorrer de forma natural, devido a variação do regime natural do corpo hídrico ou de acordo com Tucci e Bertoni (2003), serem provocados e/ou ampliados pelas alterações produzidas pelo homem na superfície do solo de uma bacia hidrográfica, principalmente pelo processo de urbanização, que provoca a impermeabilização das superfícies e canalização dos rios.

Segundo Tucci (2001), a vazão máxima pode ser estimada com base a) no ajuste de uma distribuição estatística; b) na regionalização de vazões; e c) na precipitação.

A existência de poucos dados de vazão ou a ausência de quantitativo ideal levam os projetos a submeterem-se às incertezas de transformar dados de chuva em vazão (GENOVEZ, 2001). Segundo Santos *et al.* (2001), dentre as várias incertezas associadas, as principais são:

- a) variabilidade da distribuição temporal e espacial das precipitações durante os eventos de inundação;
- b) os parâmetros do modelo que caracterizam a bacia hidrográfica;
- c) as condições iniciais das variáveis de estado modelo;
- d) estrutura do modelo hidrológico que simplifica os processos reais, introduzindo erros na representação do escoamento.

Como forma de se obter uma representação mais próxima a realidade e com menor incerteza é realizada a calibração do modelo hidrológico. Segundo Franco (2017), a utilização de variáveis observadas de maneira espacialmente distribuída, ou diferentes variáveis, pode ser capaz de reduzir as incertezas e contornar o problema da equifinalidade.

2.3 MODELOS HIDROLÓGICOS

O modelo hidrológico é uma das ferramentas que a ciência desenvolveu, para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas (TUCCI, 2005). De acordo com Mercadante (2018), o modelo consiste em uma representação matemática de um ciclo hidrológico, realizada por meio de variáveis e parâmetros.

Segundo Tucci (2005), os modelos hidrológicos evoluíram a partir da necessidade de representação do sistema constituído pela bacia hidrográfica, cuja complexidade de fatores envolvidos induziu ao desenvolvimento de um grande número de modelos.

Essa variedade de modelos envolve características relacionadas a cada bacia hidrográfica e o objeto de estudo. Para Rennó e Soares (2000), um modelo pode ser

detalhado, apropriado a pequenos intervalos de tempo e espaço, ou ser mais simples e genérico, podendo simular o comportamento de regiões inteiras e/ou períodos de tempo mais longos.

De acordo com Collodel (2009), os modelos de simulação aliados ao monitoramento hidrológico são ferramentas eficientes para diagnosticar os efeitos causados nas bacias hidrográficas pelo crescimento urbano. Tucci (2005), reitera sua utilização para antecipar o impacto da urbanização de uma bacia antes que ela ocorra, a previsão de uma enchente em tempo real; o impacto das alterações de um rio; a ocorrência de eventos extremos estatisticamente possíveis.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS HIDROLÓGICOS

A classificação de modelos hidrológicos ocorre de autor para autor, podendo assim ser encontradas diferentes interpretações. Comumente, os modelos são classificados de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem, o tipo de relações entre essas variáveis, forma de representação dos dados, existência ou não de relações espaciais e a existência de dependência temporal (MOREIRA, 2005).

De acordo com Tucci (2005), os modelos hidrológicos podem ser assim classificados:

- a) Concentrado ou Distribuído: o modelo é classificado como concentrado quando não leva em consideração a variabilidade espacial da bacia. Um modelo é dito distribuído quando suas variáveis e seus parâmetros dependem do espaço e/ou tempo;
- b) Estocástico ou Determinístico: se a chance de ocorrência das variáveis é levada em conta, e o conceito de probabilidade é introduzido na formulação do modelo, o processo e o modelo são ditos estocásticos. Quando, para uma mesma entrada, o sistema produz sempre a mesma saída, o sistema é dito determinístico;
- c) Conceitual ou Empírico: um modelo é dito conceitual, quando as funções utilizadas na elaboração levam em consideração os processos físicos. Já os modelos empíricos são aqueles em que se ajustam os valores calculados aos dados observados, através de funções que não têm nenhuma relação com os processos físicos envolvidos.

Dentre as aplicações atuais os modelos hidrológicos tem se tornado importantes ferramentas de comparação, já que os resultados oriundos de diferentes modelos servem como avaliação para a escolha do modelo que melhor responda a bacia hidrográfica. Para isso, programas como o HEC-HMS, caracterizado segundo Souza e Dal Farra (2017), como um modelo de transformação de chuva-vazão discreto, concentrado, empírico/conceitual e determinístico, estão sendo utilizados.

Alguns trabalhos recentes utilizando o HEC-HMS como Santos (2017), determinaram a vazão máxima com diferentes períodos de retorno. Outros trabalhos como o de Souza (2017), utilizaram o HEC-HMS e outros softwares de modelagem para comparar os resultados obtidos das simulações de vazões máximas. Em um trabalho mais relacionado com este estudo, ou seja, determinar a vazão máxima através do HEC-HMS utilizando diferentes métodos de transformação está o de Will (2017), que utilizou o método de Snyder, SCS e Clark para comparar os resultados das simulações.

2.5 INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

Para a caracterização das precipitações faz-se necessário conhecer a sua duração, sua intensidade e sua frequência de ocorrência ou período de retorno (DAMÉ *et al.*, 2008). Essa relação é comumente denominada de curvas Intensidade-Duração-Frequência de ocorrência (BIELENKI JÚNIOR *et al.*, 2016).

Através das relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF), é possível estimar a vazão de projeto associando a intensidade máxima da precipitação a uma determinada duração da chuva (SILVA; ARAÚJO, 2013).

Quando há séries anuais de dados é possível determinar a curva de intensidade-duração-frequência local. Segundo Bertoni e Tucci (2001), a metodologia segue a seguinte sequência:

- a) para cada duração são obtidas as precipitações máximas anuais com base nos dados do pluviógrafo;
- b) para cada duração mencionada é ajustada uma distribuição estatística; c) dividindo a precipitação pela sua duração obtém-se a intensidade;
- d) as curvas resultantes são a relação IDF.

As curvas de intensidade-duração-frequência também pela seguinte Equação 1, genérica:

$$i = \frac{K * T^m}{(t + t_0)^n} \quad (1)$$

Onde:

i = intensidade da precipitação máxima média (mm.h⁻¹)

t = tempo de duração da chuva (min)

T = tempo de retorno (anos)

K , m , n , t_0 são parâmetros a determinar para o local.

Como em muitos locais esses dados pluviográficos não estão disponíveis ou são inexistentes, é necessário estimar o IDF com outras metodologias, dentre elas algumas são mais conhecidas como o Método de Bell e Método das Relações de Durações.

2.6 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

De acordo com Araújo *et al.* (2011) o tempo de concentração (t_c) é definido como o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial num determinado ponto de controle. Já Mata-Lima *et al.* (2007), descreve que o tempo de concentração (t_c) é o tempo de percurso da água precipitada desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica até a seção de referência.

Uma avaliação deste tempo de concentração de acordo com Silveira (2005), poderia ser feita pelo tempo decorrido entre o fim da chuva e o tempo de fim do escoamento superficial detectado no hidrograma.

O tempo de concentração pode ser determinado por diferentes metodologias, de acordo com Vieira (2014), existem várias formulações, umas empíricas, semi-empíricas e outras fisicamente baseadas, as quais permitem estimar de forma mais ou menos precisa o tempo de concentração, em função de diversos fatores referentes às características da bacia hidrográfica considerada.

Silveira (2005), traz através de uma pesquisa bibliográfica algumas equações de tempo de concentração (Figura 1), considerando as características físicas das bacias hidrográficas (Figura 2) utilizadas na determinação da equação em questão.

Figura 1 - Equações de tempo de concentração.

Nome	Equação (1)
Izzard (2)	$T_c = 85,5 (i/36286+C_p)i^{-0,667}L^{0,33}S^{-0,333}$
Kerby-Hathaway (3)	$T_c = 0,619N^{0,47}L^{0,47}S^{-0,233}$
Onda Cinem. (2)	$T_c = 7,35n^{0,6}i^{-0,4}L^{0,6}S^{-0,3}$
FAA (2)	$T_c = 0,37(1,1-C)L^{0,5}S^{-0,333}$
Kirpich (2)	$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,333}$
SCS Lag (2)	$T_c = 0,057(1000/CN-9)^{0,7}L^{0,5}S^{-0,5}$
Simas-Hawkins (4)	$T_c = 0,322A^{0,394}L^{-0,394}S^{-0,150}S_{1ca}^{0,317}$
Vente Chow (5)	$T_c = 0,160L^{0,64}S^{-0,32}$
Dooge (6)	$T_c = 0,365A^{0,41}S^{-0,17}$
Johnstone (7)	$T_c = 0,462L^{0,3}S^{-0,25}$
Corps Engineers (8)	$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$
Giandotti (9)	$T_c = 0,0559(4,0A^{0,5}+1,5L)L^{-0,5}S^{-0,5}$
Pasini (10)	$T_c = 0,107A^{0,333}L^{0,333}S^{-0,5}$
Ventura (10)	$T_c = 0,127A^{0,5}S^{-0,5}$
Picking (11)	$T_c = 0,0883L^{0,667}S^{-0,333}$
DNOS (12)	$T_c = 0,419k^{-1}A^{0,3}L^{0,2}S^{-0,4}$
George Ribeiro (13)	$T_c = 0,222(1,05-0,2p)^{-1}LS^{-0,04}$
Schaake et al (14)	$T_c = 0,0828L^{0,24}S^{-0,16}A_{imp}^{-0,26}$
McCuen et al (15)	$T_c = 2,25i^{-0,7164}L^{0,3332}S^{-0,2070}$
Carter (15)	$T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$
Eagleson (15)	$T_c = 0,274nR^{-0,67}LS^{-0,5}$
Desbordes (16)	$T_c = 0,0869A^{0,3039}S^{-0,3032}A_{imp}^{-0,4523}$
Espey-Winslow (15)	$T_c = 0,343 \phi L^{0,29}S^{-0,145}A_{imp}^{-0,6}$

Fonte: Adaptado de Silveira (2005).

Figura 2 - Características das bacias-base das equações.

Nome	Local	Nº bacias	Área km²	S %	L km	Tipo
Izzard	EUA	-	-	<4	<0,02	Parcela 2
Kerby	EUA	-	<0,05	<1	<0,37	Parcela
O. Cin.	EUA	-	-	-	<0,03	Parcela
FAA	EUA	-	-	-	-	Parcela
Kirpich	EUA	6/7	<0,45	3/10	<1,2	Rural
SCS Lag	EUA	-	<8,1	-	-	Rural
Simas	EUA	168	<15	-	-	Rural
Chow	EUA	20	1,1/19	-	-	Rural
Dooge	Irlanda	10	140/9	-	-	Rural
			30			
Johnst.	EUA	19	65/42	-	-	Rural
			00			
C. Eng.	EUA	25	<12000	<14	<257	Rural
Giandotti	Itália	-	-	-	-	Rural
Pasini	Itália	-	-	-	-	Rural
Ventura	Itália	-	-	-	-	Rural
Picking	-	-	-	-	-	Rural
DNOS	EUA	6	<0,45	3/10	<1,2	Rural
G. Ribeiro	EUA/Índia	8	<19000	1/10	<250	Rural
Schaake	EUA	19	<0,7	<7	<1,8	Urbana
McCuen	EUA	48	0,4-16	<4	<10	Urbana
Carter	EUA	-	<21	<0,5	<12	Urbana
Eagleson	EUA	-	<21	-	-	Urbana
Desbordes	França	21	<51	<7	<18	Urbana
Espey	EUA	17	<91	-	-	Urbana

Fonte: Adaptado de Silveira (2005).

2.7 PERÍODO DE RETORNO

Segundo Tucci (2001), o período de retorno é o inverso da probabilidade de um determinado evento hidrológico ser igualado ou excedido em um ano qualquer. Para sua determinação é utilizado a Equação 2:

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

Onde:

T = período de retorno (anos);

P = probabilidade do evento ser igualado ou superado (percentagem).

Em sentido amplo, o período de retorno pode se referir a eventos de magnitudes mínimas como estiagens ou a eventos de grande magnitude como as cheias (COSTA; SIQUEIRA; MENEZES FILHO, 2007). De acordo com Bastos (2009), a determinação do período de retorno resulta da adoção de uma margem de risco ao qual determinada obra, ou projeto, estará sujeita.

Alguns trabalhos como o de Naghettini (2012), apresentam tempos de retorno utilizados para diferentes estruturas hidráulicas (Quadro 1), facilitando a escolha de uma margem de risco adequada.

Quadro 1 - Tempos de retorno indicados para cada tipo de estrutura hidráulica.
(continua)

Estrutura Hidráulica	Tempo de Retorno (anos)
Bueiros Rodoviários	
- tráfego baixo	5-10
- tráfego intermediário	10-25
- tráfego baixo	50-100
Pontes Rodoviárias	
- estradas secundárias	10-50
- estradas principais	50-100
Drenagem Urbana	
- galerias de pequenas cidades	2-25
- galerias de grandes cidades	25-50
- canalização de córregos	50-100
Diques	
- área rural	2-50

(conclusão)	
- área urbana	50-200
Barragens	
- sem risco de perda de vidas humanas	200-1000
- com risco	10000

Fonte: Adaptado de Naghettini (2012).

2.8 MÉTODO DO SCS (CURVE NUMBER)

O método do SCS foi desenvolvido por Victor Mockus (SCS, 1985) e especifica um hidrograma unitário adimensional. Segundo Bastos (2009), o SCS é especialmente utilizado em áreas que não dispõem de variada gama de dados hidrológicos e representa os efeitos da combinação entre grupos hidrológicos, uso e ocupação do solo, características do solo e umidade antecedente através da Equações (3 e 4):

$$P_E = \frac{(PT - 0,2 * S)^2}{PT + 0,8 * S} \quad (3)$$

Onde:

PE = precipitação efetiva (mm);

PT = precipitação total (mm);

S = capacidade máxima de retenção de água, depende do CN.

A variável S representa a capacidade máxima de retenção de água da bacia. Essa capacidade é calculada através da Equação 3, e a variável CN, trata-se de um valor adimensional e pode variar de 0 a 100, sendo resultado da relação entre o uso da terra, o nível de manejo e do tipo hidrológico de solo.

$$S = \frac{25400}{CN} - 245 \quad (4)$$

Onde:

S = capacidade máxima de retenção da bacia (mm);

CN = valor adimensional de 0 a 100.

A classificação hidrológica dos solos pode ser dividida em quatro grupos, contendo nesses grupos as características do tipo de solo e condições de uso, sendo a sua escolha realizada com base nas características do solo da área de estudo e nas propriedades físicas e químicas do mesmo. Em caso de não haver esses dados, existe a possibilidade da utilização de estudos semelhantes que possuam dados para o mesmo tipo de solo (Quadro 2).

Quadro 2 - Grupos hidrológicos de solo: tipos de solo e condições de uso.

Grupo	Tipos de solo e condições de uso
A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, sem rocha nem camadas argilosas, ou mesmo densificadas, até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
B	Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com menos teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. Não pode haver pedras nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial.
C	Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade camada mais densificada que nos solos do grupo B, no entanto ainda longe de condições de impermeabilidade.
D	Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como os do grupo B, mas com a camada argilosa quase impermeável, ou horizontes de seixos rolados.

Fonte: Adaptado de Santos e Lollo (2016).

Os valores de CN podem ser definidos para bacia urbanas e suburbanas (Quadro 3) e para bacias rurais (Quadro 4), sendo que o mesmo calculado de acordo com cada grupo hidrológico que a área está inserida.

Quadro 3 - Estimativa dos valores de curva número para áreas urbanas e suburbanas.

(continua)

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	em fileiras retas	70	80	87	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	74	82	85

(conclusão)

Plantações de cereais	terraceado em nível	60	71	79	82
	em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	em curvas de nível	60	72	81	84
	terraceado em nível	57	70	78	89
	pobres	68	79	86	89
	normais	49	69	79	94
	boas	39	61	74	80
Pastagens	pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	normais	36	60	73	79
	densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras, Estradas de terras	normais	56	75	86	91
	más	72	82	87	89
	de superfície dura	74	84	90	92
Floresta	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 4 - Estimativa dos valores de curva número para áreas rurais.

(continua)

Utilização ou cobertura do solo		A	B	C	D
Zonas cultivas	sem conservação do solo	72	81	88	91
	com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagem ou terrenos	em más condições	68	79	86	89
Baldios	boas condições	39	61	74	80
Prado	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
	boas condições com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m ²)	% média impermeável				
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84

	(conclusão)			
Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc	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).

Segundo Tucci (2001), existem três condições de correções realizadas em função da umidade do solo:

- Condição I: situação em que os solos estão secos, e as chuvas dos últimos cinco dias e não ultrapassaram 15 mm;
- Condição II: situação média em que os solos correspondem à umidade da capacidade de campo;
- Condição III: solo saturado, com precipitações acumuladas superiores a 53mm no período de crescimento.

Esta correção se dá por meio de um ajuste no valor do CN da bacia hidrográfica utilizando o Quadro 5.

Quadro 5 - Correção do valor CN.

Valores médios	Valores corrigidos Condição I	Valores corrigidos Condição III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

Fonte: Adaptado de Tucci (2001).

2.9 MÉTODO DE MUSKIGUM-CUNGE

O método Muskingum-Cunge é um modelo simples e de fácil uso. Segundo Chow, Maidment e Mays (1994), este método modela o armazenamento volumétrico de uma cheia em um canal de rio mediante a mistura de armazenamento em cunha e prisma.

Esse método surgiu da modificação do método Muskingum pois, existia uma grande dificuldade em se adotar valores corretos de K , x e Δt , já que para isso deveria se ter o hidrograma de entrada e de saída do trecho.

A vantagem do modelo Muskingum-Cunge é a possibilidade de extrair seus parâmetros de poucas características físicas dos trechos simulados (PAIVA, 2009). De acordo com ONS (2007), os parâmetros do modelo Muskingum-Cunge são calculados com base nos dados de comprimento, declividade, rugosidade e largura média dos trechos de rio.

2.10 HIDROGRAMA UNITÁRIO DE SNYDER

O hidrograma unitário proposto por Snyder (1938), consiste em equações para o cálculo do tempo de retardamento, da vazão de pico e tempo de base, que se baseiam em observações de rios na região montanhosa de Apalaches, nos Estados Unidos. De acordo com CETESB (1979), este método é indicado para bacias maiores que 1 Km² e em locais onde inexistem dados chuva-deflúvio.

A fim de elaborar o hidrograma deve-se calcular os parâmetros W_{50} e W_{75} que correspondem as larguras do hidrograma unitário para vazões de 50% e 75% do pico, respectivamente. Para obter esses parâmetros utiliza-se as Equações 5, 6, 7, 8 e 9, conforme (DEODHAR, 2008).

$$t_p = 0,75 * C_t * (L * L_c)^{0,3} \quad (5)$$

Onde:

t_p = tempo de pico (horas);

C_t = coeficiente adimensional;

L = comprimento do rio principal (Km);

L_c = comprimento do rio principal, do exutório até o ponto mais próximo do centro de gravidade da bacia (Km).

$$Q_p = 2,778 * \left(\frac{C_p}{t_p} \right) * A \quad (6)$$

Onde:

Q_p = vazão de pico ($m^3.s^{-1}$);

C_p = coeficiente adimensional;

t_p = tempo de pico (horas);

A = área da bacia hidrográfica (Km^2).

O tempo de base para o hidrograma de Snyder pode ser obtido pela Equação 7:

$$T = 5,455 * t_p \quad (7)$$

Onde:

T = tempo de base (horas);

t_p = tempo de pico (horas).

Os parâmetros de largura do hidrograma unitário W_{50} e W_{75} são determinados a partir das Equações 8 e 9, respectivamente:

$$W_{50} = 2,14 * \left(\frac{Q_p}{A} \right)^{-1,08} \quad (8)$$

Onde:

W_{50} = largura do hidrograma unitário para 50% da vazão de pico;

Q_p = vazão de pico ($m^3.s^{-1}$);

A = área da bacia hidrográfica (Km^2).

$$W_{75} = 1,22 * \left(\frac{Q_p}{A} \right)^{-1,08} \quad (9)$$

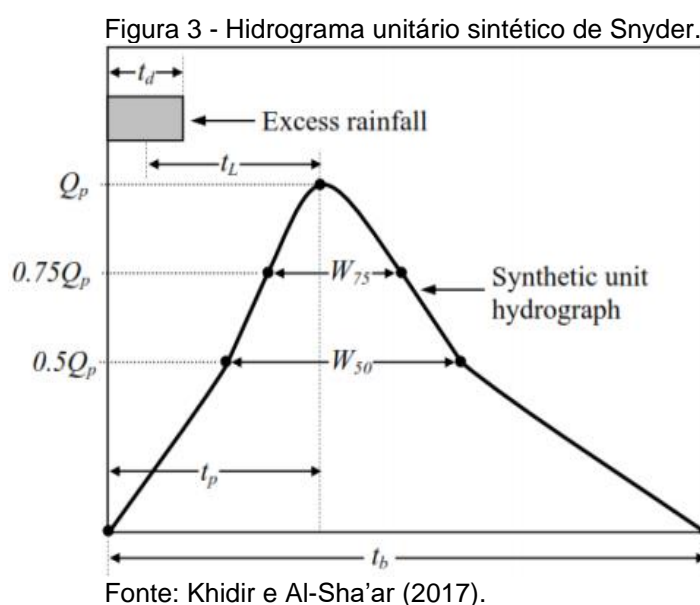
Onde:

W_{75} = largura do hidrograma unitário para 75% da vazão de pico;

Q_p = vazão de pico ($m^3 \cdot s^{-1}$);

A = área da bacia hidrográfica (Km^2).

O hidrograma unitário sintético de Snyder esquematizado pode ser observado na Figura 3, onde é apresentado também os parâmetros que compõem esse hidrograma.



2.11 HIDROGRAMA UNITÁRIO DO SCS

Em 1957, o Soil Conservation Service (SCS), apresentou o método do hidrograma unitário triangular para transformar a precipitação efetiva em escoamento volumétrico (ONGARATTO, 2018). Este método consiste em um hidrograma adimensional, em que as vazões de cheia e instantes de ocorrência são apresentados como frações da vazão de pico do hidrograma e do tempo de pico (PORTELA, 2006).

Para seu cálculo utiliza-se as equações de tempo de pico, tempo de base, tempo de subida do hidrograma e a vazão de pico unitária (Equações 10, 11, 12 e 13), sendo necessário determinar anteriormente o tempo de concentração e os dados físicos da bacia hidrográfica.

$$t_p = 0,6 * t_c$$

(10)

Onde:

t_p = tempo de pico (horas);

t_c = tempo de concentração (horas).

Sendo o tempo de pico calculado, se pode determinar o tempo de subida do hidrograma e conseqüentemente o tempo de base e a vazão de pico unitária (Equações 11, 12 e 13).

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

Onde:

T_p = tempo de subida do hidrograma (horas);

t_p = tempo de pico (horas);

d = duração da chuva (horas).

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

Onde:

t_b = tempo de base (horas);

T_p = tempo de subida do hidrograma (horas).

$$q_p = \frac{0,208 * A}{T_p} \quad (13)$$

Onde:

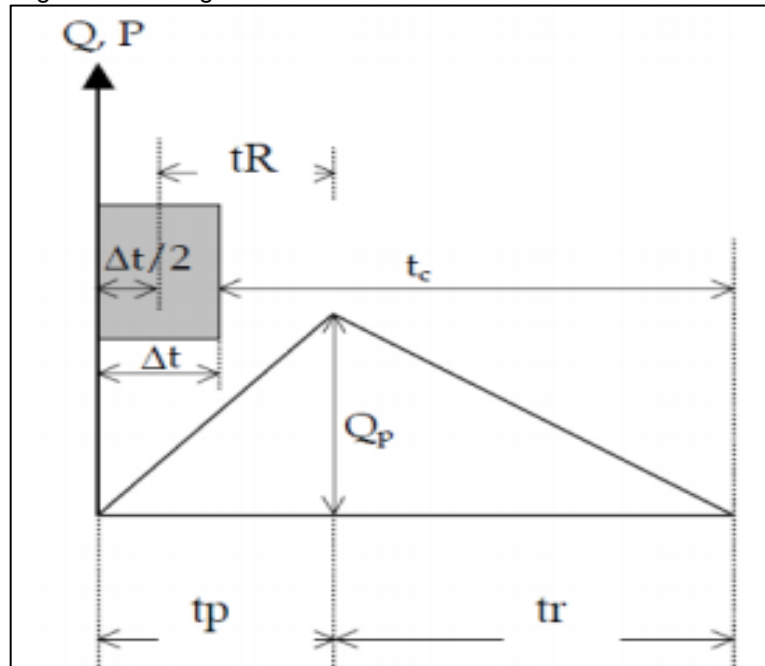
q_p = vazão de pico para uma chuva unitária de 1mm ($m^3.s^{-1}$);

A = área da bacia hidrográfica (Km^2);

T_p = tempo de subida do hidrograma (horas).

O hidrograma unitário do SCS ou triangular foi desenvolvido a partir de bacias agrícolas dos Estados Unidos e tem seu segundo nome em função da sua forma triangular. Além da sua forma, a Figura 4 trás ainda alguns dos parâmetros presentes no hidrograma.

Figura 4 - Hidrograma unitário do SCS.



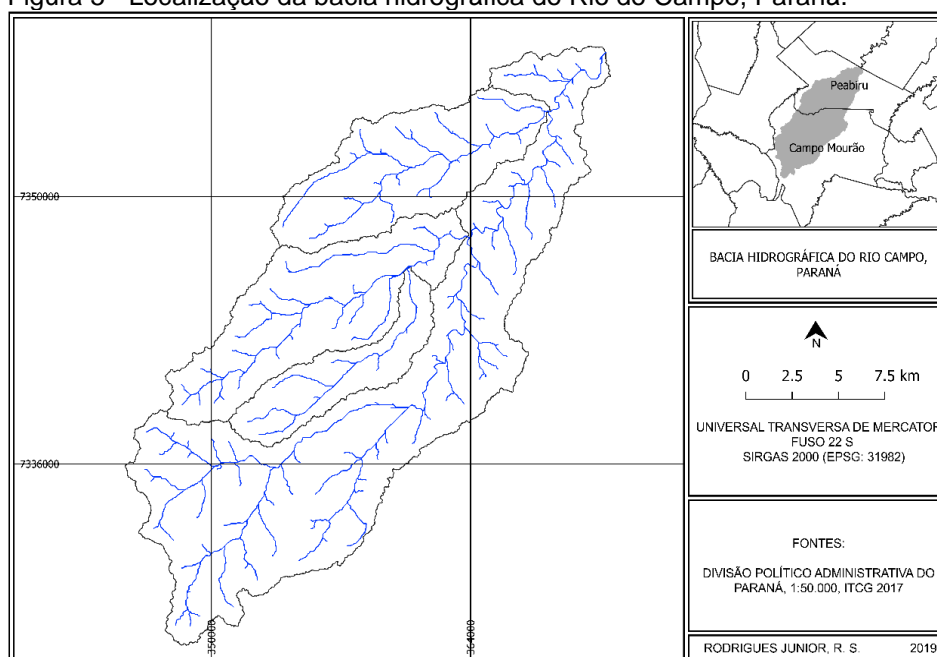
Fonte: Tassi e Collischonn (2013).

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica do Rio do Campo (Figura 5) ocupa uma área de 384 Km², destes 247 Km² no município de Campo Mourão e 137 Km² no município de Peabiru, e está localizada entre as coordenadas, 23° 53' e 24° 10' de Latitude Sul e 52° 15' e 52° 31' de Longitude Oeste (CRISPIM *et al.*, 2012).

Figura 5 - Localização da bacia hidrográfica do Rio do Campo, Paraná.



Fonte: Autória própria (2019).

O clima na região de acordo com Caviglione *et al.* (2000), é o subtropical úmido mesotérmico, caracterizado por ser um clima subtropical com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C. O regime pluviométrico anual é de 1600 a 1800 mm, com maiores concentrações nos meses de novembro a fevereiro (NITSCHKE *et al.*, 2019).

Na área da bacia hidrográfica do Rio do Campo de acordo com a EMBRAPA (2006), os solos são originários de rochas básicas de origem vulcânicas, e uma pequena porção na área de nascentes é originária de arenitos da formação Caiuá, os solos existentes na bacia são do tipo Latossolo Vermelho e Nitossolo Vermelho.

O uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica envolve a área urbana do município de Campo Mourão, contando ainda com diversas áreas de agricultura e

pecuária, destacando-se na cultura temporária a produção de soja e milho (em grãos) e, na cultura permanente a produção de laranja e de café (em grãos).

3.2 OBTENÇÃO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA PELO MDE

Como parte da caracterização do local de estudo, a delimitação da bacia, sub-bacias, declividade e rede hidrográfica do Rio do Campo foram determinadas a partir da ferramenta Arc Hydro do *software* ARCGIS® 10.2 utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE), com uma resolução espacial de 12,5 m, proveniente dos dados do ALOS-PALSAR, disponível no portal de dados Vertex da Alaska Satellite Facility.

3.3 SOLOS

Os solos da bacia hidrográfica do Rio do Campo foram obtidos a partir dos dados e informações geoespaciais temáticos do ITCG (2019). Sendo os mesmos processados no QGIS 3.4.12.

3.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Campo foi obtido a partir do MAPBIOMAS (2019), que possui o mapa de cobertura e uso do Brasil. A classificação do MapBiomass utiliza a imagem do satélite Landsat, com uma resolução de 30 metros. Para ter somente o uso e ocupação da área de estudo, foram adquiridos os dados de uso e ocupação do ano de 2017 e realizado o processamento no QGIS 3.4.12.

3.5 INTENSIDADE MÁXIMA

O método utilizado para criar a distribuição temporal de chuva de projeto foi a equação da curva Intensidade-Duração-Frequência (Equação 14) de Arantes *et al.* (2009), para o município de Campo Mourão. Utilizando um período de retorno de 25, 50 e 100 anos.

$$i = \frac{901,51 * T^{0,1803}}{(t+11)^{0,7508}} \quad (14)$$

Onde:

i = intensidade em (mm.h⁻¹);

T = tempo de retorno (anos);

t = tempo de concentração (min).

De acordo com Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007), a duração “*t*” da precipitação usualmente assume o mesmo valor do tempo de concentração. E o tempo de concentração é definido como o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia passe a contribuir para a seção de estudo (MARTINS, 1976).

Utilizando como base as fórmulas de tempo de concentração (Figura 1) e levando em conta as características da bacia hidrográfica do Rio do Campo para a escolha do método (Figura 2), houve a possibilidade de utilizar as equações Corps Engineers e George Ribeiro. Considerando o maior número de variáveis na equação como critério entre as duas possibilidades, foi adotado o cálculo do tempo de concentração utilizando a fórmula de George Ribeiro (Equação 15), conforme Moutinho (2011).

$$t_c = \frac{16 * L}{(1,05 - 0,2 * p) * (100 * I)^{0,04}} \quad (15)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do rio principal da bacia (Km);

I = declividade média da bacia (m.m⁻¹);

p = percentagem decimal da bacia com cobertura vegetal.

3.6 APLICAÇÃO DO HEC-HMS

O HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) é um modelo hidrológico desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (RENNÓ; SOARES, 2000). Segundo Abreu,

Sobrinha e Brandão (2017), o HEC-HMS simula processos hidrológicos e, dentre eles, destaca-se o processo de transformação chuva-vazão.

A criação da bacia hidrográfica dentro do HEC-HMS é dada pelo componente *Basin Model*, que de acordo com Santos (2017), é o componente mais importante, pois ele que representa fisicamente a bacia. Com o componente *Basin Model* a bacia será construída esquematicamente pelas ferramentas *Subbasin Create Tool*, que cria uma ou mais sub-bacias; *Junction Create Tool*, que interliga as sub-bacias criadas e *Sink Create Tool*, que define o ponto de exutório da bacia.

Apesar de existir mais de uma sub-bacia, as quais possuem características próprias, a escolha dos métodos ocorre de forma semelhante em todas. Para o componente *Loss Method*, que representa as perdas da precipitação por infiltração foi definido o método *SCS Curve Number*. Na componente *Transform Method* que são os modelos de transformação de precipitação efetiva em hidrograma de cheia, foi escolhido *SCS Unit Hydrograph* e *Snyder Method*. E em *Baseflow Method* que representa o escoamento de base foi adotado *None*.

No componente *Meteorologic Model*, que é usado para a modelagem dos processos de precipitação e evapotranspiração, será considerada apenas a precipitação na simulação pois, de acordo com Gontijo (2007), nas pequenas bacias, onde os problemas de enchentes estão relacionados a eventos de curta duração, da ordem de grandezas de horas, o componente principal da cheia é o escoamento.

A determinação da precipitação no HEC-HMS 4.3 pode ser dada pelos seguintes métodos: *Frequency Storm*, *Gage Weights*, *Gridded Precipitation*, *HMR 52 Storm*, *Inverse Distance*, *SCS Storm*, *Specified Hyetograph* e *Standard Project Storm*. No estudo será utilizado o método *Specified Hyetograph*, onde o hietograma corresponderá aos dados gerados pelo método de blocos alternados.

3.7 OBTENÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO DO SCS

Para elaborar o hidrograma unitário do SCS, foi necessário obter informações sobre a bacia hidrográfica, como o tempo de concentração, comprimento do curso d'água e a área da bacia hidrográfica, para os cálculos se utilizou a metodologia de (COLLISSCHONN; DORNELLES, 2013).

Sendo o método para o tempo de concentração escolhido previamente pelas características da bacia de estudo (Figura 2), calculou-se o tempo de pico (Equação 10) estimado a partir do tempo de concentração.

3.8 OBTENÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO DE SNYDER

A elaboração do hidrograma unitário de Snyder, baseia-se em utilizar a vazão de pico para calcular os parâmetros W_{50} e W_{75} , que representam as larguras do hidrograma. Assim, para determinar esses parâmetros utiliza-se as seguintes Equações 8 e 9.

Os coeficientes C_t e C_p são coeficientes adimensionais, relacionados à porcentagem de impermeabilização e a capacidade de armazenamento da bacia hidrográfica, respectivamente. De acordo com McCuen (1998), é recomendado que seja feita a calibração dos coeficientes. Já outros autores como Köpp e Paiva (1993), desenvolveram fórmulas para certas regiões do país.

Tucci (2001), traz os valores comuns de C_t que variam de 1,35 a 1,65 e para C_p de 0,56 a 0,69. Para esse presente estudo adotou-se C_t igual a 1,5 e C_p igual a 0,63 como entrada no HEC-HMS.

3.9 DURAÇÃO DA CHUVA

Com base na metodologia descrita por Dornelles e Collischonn (2013), para definir o intervalo de tempo adequado para elaboração da chuva de projeto é escolhido um valor cinco a dez vezes menor que o tempo de concentração da bacia hidrográfica, permitindo dessa forma descrever adequadamente a subida e a descida do hidrograma. Considerou-se também nessa escolha os intervalos de tempo disponíveis dentro do *software* HEC-HMS.

3.10 DADOS DE ENTRADA DO MÉTODO DE MUSKIGUM-CUNGE

Na interface do HEC-HMS, os dados necessários para o método de Muskigum-Cunge são o comprimento, declividade média, coeficiente de rugosidade de Manning's, vazão no trecho e largura do canal.

Considerando que a rede hidrográfica do Rio Campo possui uma largura variável em diferentes pontos, se assumiu um valor de três metros de largura. Para se obter a vazão no trecho utilizou a vazão específica de $0,01905463 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$ para o Rio do Campo (PRETZEL, 2017).

O coeficiente de rugosidade de Manning (n) é parâmetro fundamental para descrição da vazão sobre uma superfície, esse valor varia conforme a composição do leito do rio. No presente trabalho se adotou a superfície de leito como limpo, retilíneo e uniforme, porém com vegetação e pedras, assumindo então um valor de $n = 0,030$ conforme Figura 6.

Figura 6 - Valor do coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning.

Natureza das Paredes	Condições			
	Muito Boas	Boas	Regulares	Más
Tubos de ferro fundido sem revestimento.....	0,012	0,013	0,014	0,015
Idem, com revestimento de alcatrão.....	0,011	0,012*	0,013*	---
Tubos de ferro galvanizado.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Tubos de bronze ou de vidro.....	0,009	0,010	0,011	0,013
Condutos de barro vitrificado, de esgotos.....	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de barro, de drenagem.....	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento: condutos de esgoto, de tijolos.....	0,012	0,013	0,015*	0,017
Superfícies de cimento alisado.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Superfícies de argamassa de cimento.....	0,011	0,012	0,013*	0,015
Tubos de concreto.....	0,012	0,013	0,015	0,016
Condutos e aduelas de madeira.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Calhas de prancha de madeira aplainada.....	0,010	0,012*	0,013	0,014
Idem, não aplainada.....	0,011	0,013*	0,014	0,015
Idem, com pranchões.....	0,012	0,015*	0,016	---
Canais com revestimento de concreto.....	0,012	0,014*	0,016	0,018
Alvenaria de pedra argamassa.....	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra seca.....	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares).....	0,011	0,012	0,013	0,015
Idem, corrugadas.....	0,023	0,025	0,028	0,030
Canais de terra, retilíneos e uniformes.....	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes.....	0,025	0,030	0,033*	0,035
Canais abertos em rocha, irregulares, ou de paredes de pedra irregulares e mal-arrumadas.....	0,035	0,040	0,045	---
Canais dragados.....	0,025	0,028	0,030	0,033
Canais curvilíneos e lamosos.....	0,023	0,025*	0,028	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes.....	0,025	0,030	0,035*	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedrados.....	0,028	0,030	0,033	0,035
ARROIOS E RIOS				
1. Limpos, retilíneos e uniformes.....	0,025	0,028	0,030	0,033
2. Como em 1, porém com vegetação e pedras.....	0,030	0,033	0,035	0,040
3. Com meandros, bancos e poços pouco profundos, limpos.....	0,035	0,040	0,045	0,050
4. Como em 3, águas baixas, declividade fraca.....	0,040	0,045	0,050	0,055
5. Como em 3, com vegetação e pedras.....	0,033	0,035	0,040	0,045
6. Como em 4, com pedras.....	0,045	0,050	0,055	0,060
7. Com margens espalhadas, pouca vegetação.....	0,050	0,060	0,070	0,080
8. Com margens espalhadas, muita vegetação.....	0,075	0,100	0,125	0,150

* Valores aconselhados para projetos.

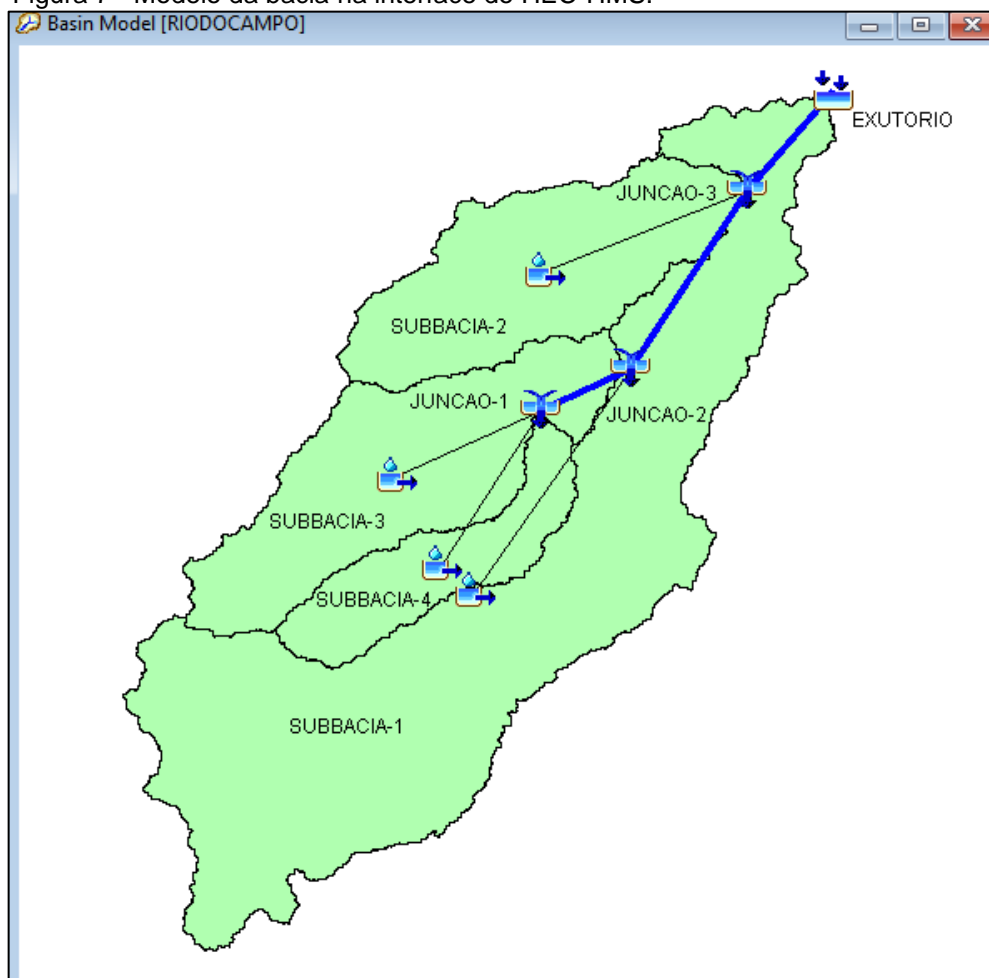
Fonte: PORTO (2006).

3.11 SIMULAÇÃO DO HEC-HMS

Os elementos hidrológicos de entrada e de saída do HEC-HMS para esse estudo são as sub-bacias, as junções, o exutório e os trechos que interligam as

junções. Na Figura 7 pode-se visualizar o *layer* da bacia hidrográfica o qual mostra o elemento trecho destacado por uma linha azul. Sendo o trecho 1 a interligação da junção 1 e da junção 2, o trecho 2 a interligação da junção 2 e da junção 3 e o trecho 3 a interligação da junção 3 e o exutório da bacia.

Figura 7 - Modelo da bacia na interface do HEC-HMS.



Fonte: HEC-HMS (2018).

Para a simulação foi definido a data de início em 26 de outubro de 2019 as 00:00 até o dia 28 de outubro de 2019 as 12:00, sendo esta escolhida apenas por ser a data em que foi realizada a simulação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

As características físicas das sub-bacias do Rio do Campo como perímetro, área, declividade e comprimento do rio principal, foram obtidos por meio do *software* QGIS 3.4.12 e podem ser observadas na Tabela 1.

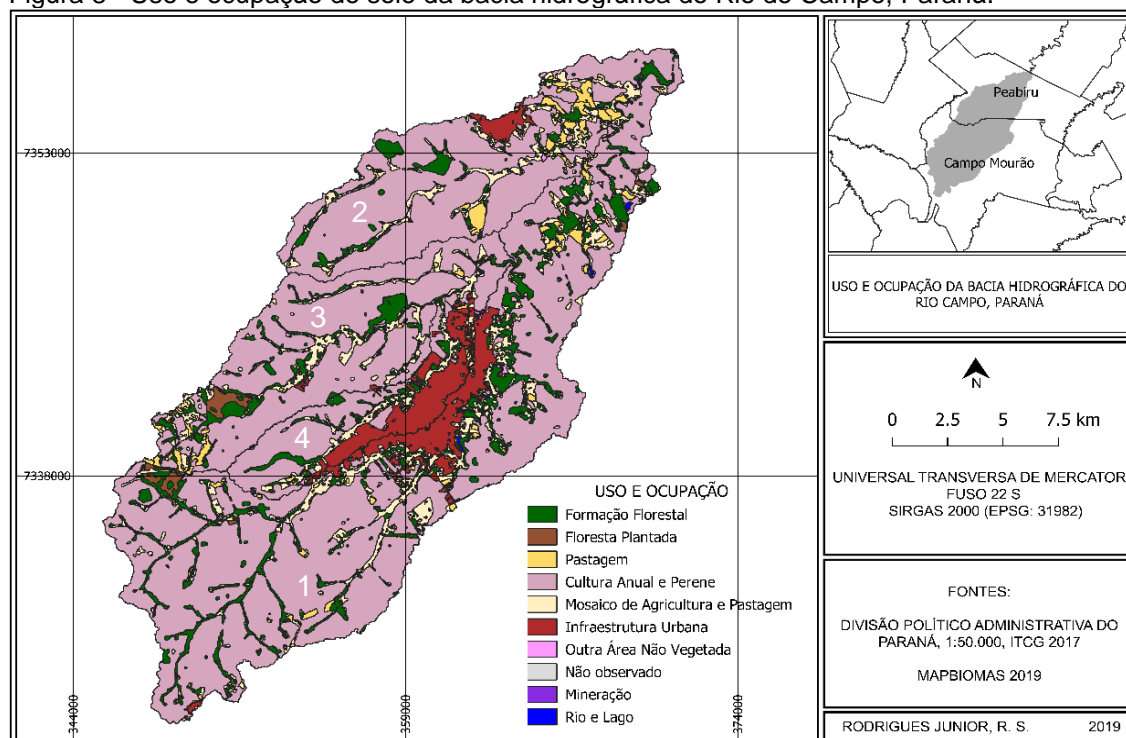
Tabela 1 - Características físicas das sub-bacias do Rio do Campo, Paraná.

SUB-BACIA	DECLIVIDADE (m/m)	L (Km)	Lg (Km)	ÁREA (Km ²)	PERÍMETRO (Km)
1	0,006063	53,11	35,05	208,40	161,80
2	0,010434	18,98	9,86	66,95	58,35
3	0,005853	21,53	11,53	75,12	70,35
4	0,006828	15,38	8,71	32,50	48,62

Fonte: Autoria própria (2019).

A determinação do uso e ocupação possibilita analisar como a permeabilidade desse uso, afeta no escoamento superficial. Dessa forma, os tipos de uso (Figura 8), assim como as suas respectivas áreas podem ser observados no Quadro 6.

Figura 8 - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio do Campo, Paraná.



Fonte: Autoria própria (2019)

Quadro 6 - Uso e ocupação das sub-bacias do Rio do Campo, Paraná.

DESCRIÇÃO DO USO	ÁREA (Km ²)			
	SUB-BACIA 1	SUB-BACIA 2	SUB-BACIA 3	SUB-BACIA 4
FORMAÇÃO FLORESTAL	22,36	4,70	7,53	2,73
FLORESTA PLANTADA	1,20	0,03	1,33	0,02
PASTAGEM	5,52	3,12	1,94	0,35
CULTURA ANUAL E PERENE	145,92	49,83	54,69	15,08
MOSAICO DE AGRICULTURA E PASTAGEM	22,42	7,05	8,54	4,01
INFRAESTRUTURA URBANA	10,58	2,11	0,73	10,23
OUTRA ÁREA NÃO VEGETADA	0,07	0,07	0,35	0,05
NÃO OBSERVADO	0,00	0,00	0,00	0,00
MINERAÇÃO	0,00	0,00	0,00	0,02
RIO E LAGO	0,33	0,03	0,02	0,01
TOTAL	208,40	66,95	75,12	32,50

Fonte: Autoria própria (2019).

A predominância do uso e ocupação variou de sub-bacia para sub-bacia (Quadro 6), isso ocorreu principalmente por conta da infraestrutura urbana de Campo Mourão e Peabiru e do tamanho da área de cada sub-bacia. Enquanto na sub-bacia 4 a área de infraestrutura urbana foi de aproximadamente 31% da área total, na sub-bacia 1, onde essa infraestrutura urbana teve área maior que a sub-bacia 4, esse valor correspondeu a menos de 6% da área de drenagem.

Já a sub-bacia 2 que possuía parte da infraestrutura urbana de Peabiru esse valor variou pouco em relação a sub-bacia 3, sendo de aproximadamente 3% e 1% da área total, respectivamente.

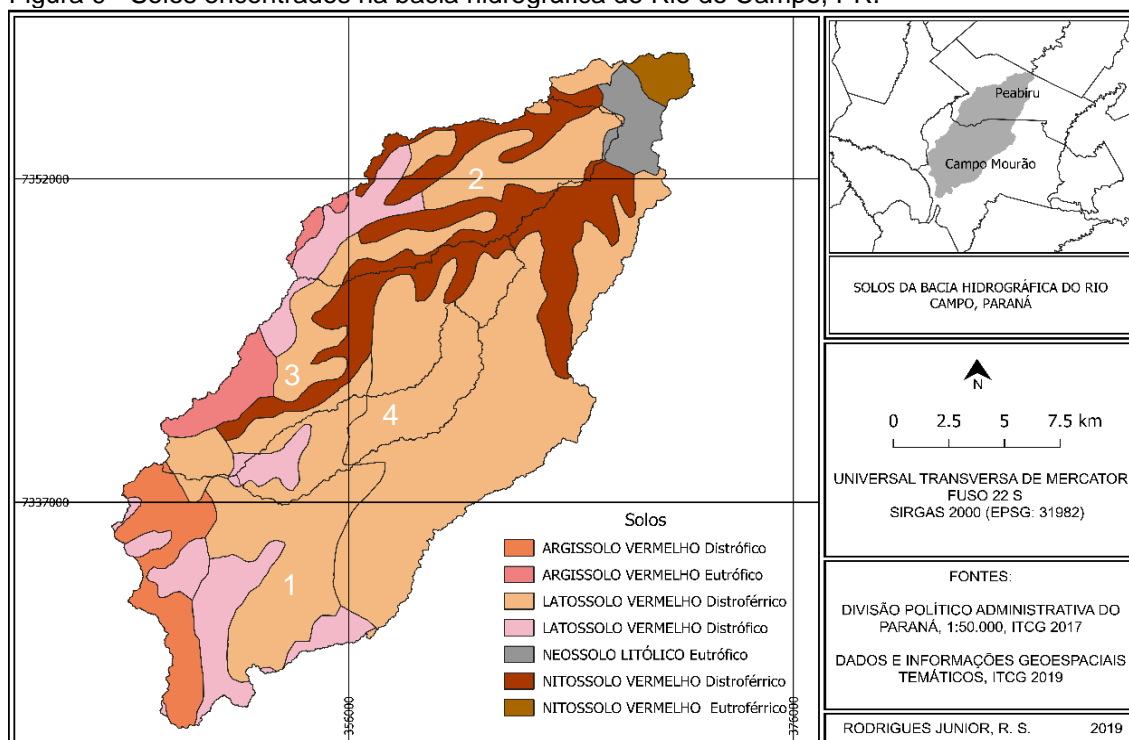
No geral, a sub-bacia que obteve maior área de infraestrutura urbana foi a sub-bacia 1 mas, a que teve maior representação considerando sua área total foi a sub-bacia 2. Já o uso e ocupação predominante em todas as sub-bacias foi a cultura anual e perene, sendo essa predominância relacionada segundo Souza e Borsato (2012), a região ser economicamente fundamentada na agricultura moderna, que cultiva soja e milho principalmente.

4.2 DETERMINAÇÃO DO CURVE NUMBER

Conforme a área de uso e ocupação e o solo presente na área (Figura 9) foi obtido os valores de CN para cada sub-bacia, sendo apenas considerados os solos

de maior predominância de cada sub-bacia, já que para áreas de grande proporção existem centenas de parcelas minúsculas de usos que podem variar de um solo para outro, causando grande dispêndio de tempo e as vezes pouca ou nenhuma mudança na sua classificação hidrológica.

Figura 9 - Solos encontrados na bacia hidrográfica do Rio do Campo, PR.



Fonte: Autória própria (2019).

Assim, é possível verificar na Tabela 2, o CN calculado para as sub-bacias do Rio do Campo e suas respectivas capacidades máximas de retenção de água.

Tabela 2 - Valores de CN de S para as sub-bacias do Rio do Campo, Paraná.

SUB-BACIA	CN MÉDIO	S (mm)
1	64	142,88
2	64	142,88
3	63	149,17
4	72	98,78

Fonte: Autória própria (2019).

Percebe que entre as três primeiras sub-bacias o valor de CN é pouco variável, já na sub-bacia 4 esse valor tem um pico. Considerando o uso e ocupação e

a porcentagem da área de infraestrutura urbana em cada sub-bacia, esse pico tem relação direta com a impermeabilização da bacia hidrográfica, pois, já que de acordo com Soares e Centeno (2013), os maiores valores de CN representam áreas mais impermeáveis.

A abstração inicial tem relação direta com o valor S, equivalendo-se a 20% desse resultado, sendo assim, a sub-bacia 1 e sub-bacia 2 obtiveram uma abstração inicial de 28,58 mm, a sub-bacia 3 de 29,83 mm e a sub-bacia 4 de 19,76 mm.

4.3 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E HIETOGRAMAS

O tempo de concentração pode ser determinado por diversas fórmulas, mas, o seu uso deve levar em conta as características da bacia hidrográfica que se pretende estudar, dessa forma os dados de tempo de concentração utilizando George Ribeiro e Corps Enginner podem ser encontrado no Quadro 7.

Quadro 7 - Tempo de concentração das sub-bacias do Rio do Campo, Paraná.

SUB-BACIA	tc (horas)		Variação (%)
	GEORGE RIBEIRO	CORPS ENGINEERS	
1	16,80	10,32	24
2	5,90	4,26	16
3	6,88	5,23	14
4	4,56	3,93	7

Fonte: Aatoria própria (2019)

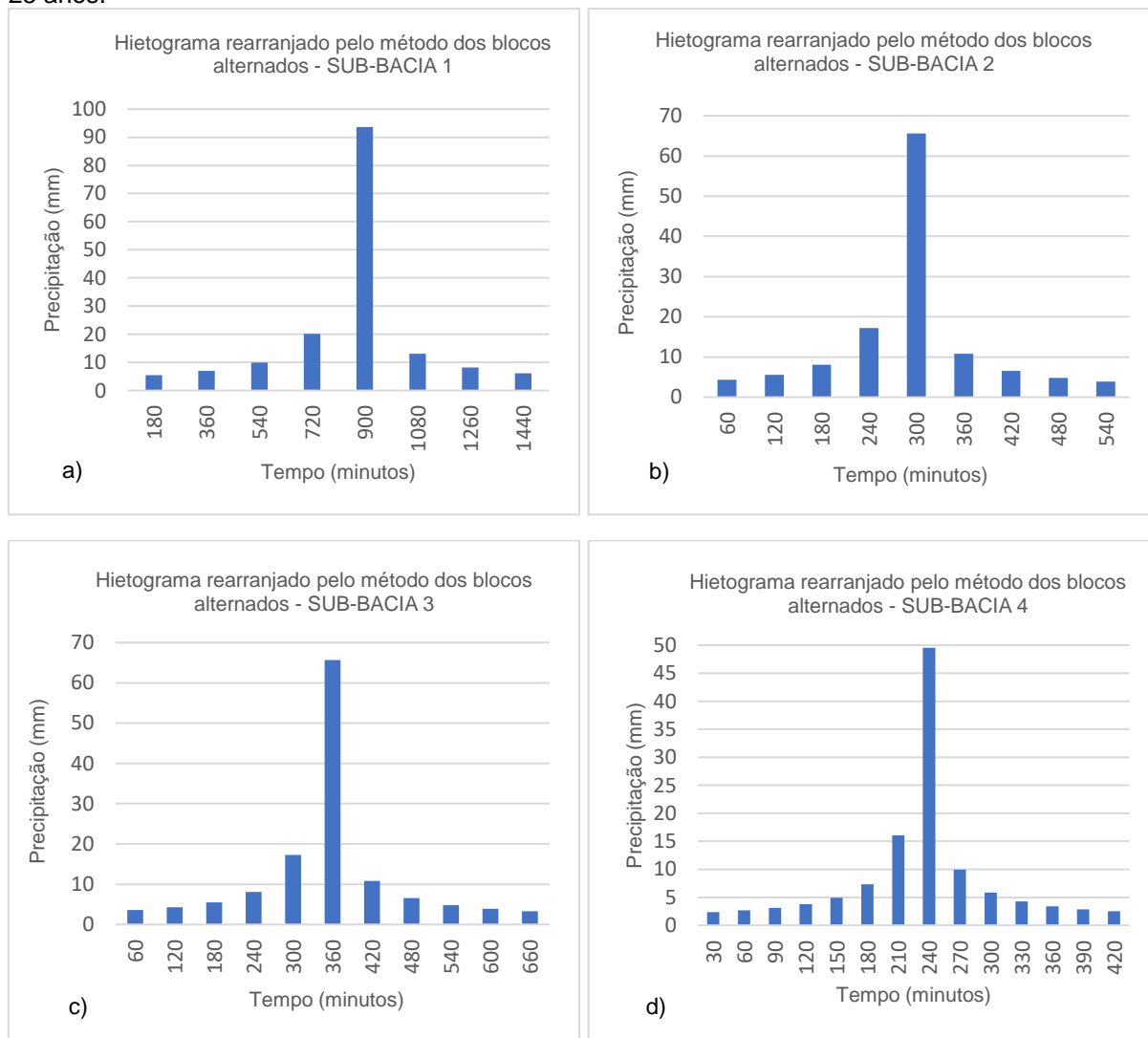
Considerando as fórmulas de ambos os métodos, percebe-se uma diminuição da variação de acordo com o valor de L, já que a sub-bacia 1 possui 53,11 Km de comprimento do rio principal enquanto a sub-bacia 4 possui 15,38 Km.

No caso da sub-bacia 2 e sub-bacia 3 essa interpretação muda já que o comprimento do rio principal das mesmas são 18,98 Km e 21,53 Km, respectivamente. Essa mudança pode ocorrer tanto pela fração decimal de mata ou pela declividade da bacia, já que para as duas sub-bacias os dados se diferem.

Como para o presente estudo foi definido o tempo de concentração por George Ribeiro devido a maior quantidade de parâmetros que este apresenta, têm-se

então após determinação desse tempo, a construção do hietograma de projeto de cada sub-bacia, conforme são apresentados nas Figura 10 a), 10 b), 10 c) e 10 d), para o tempo de 25 anos.

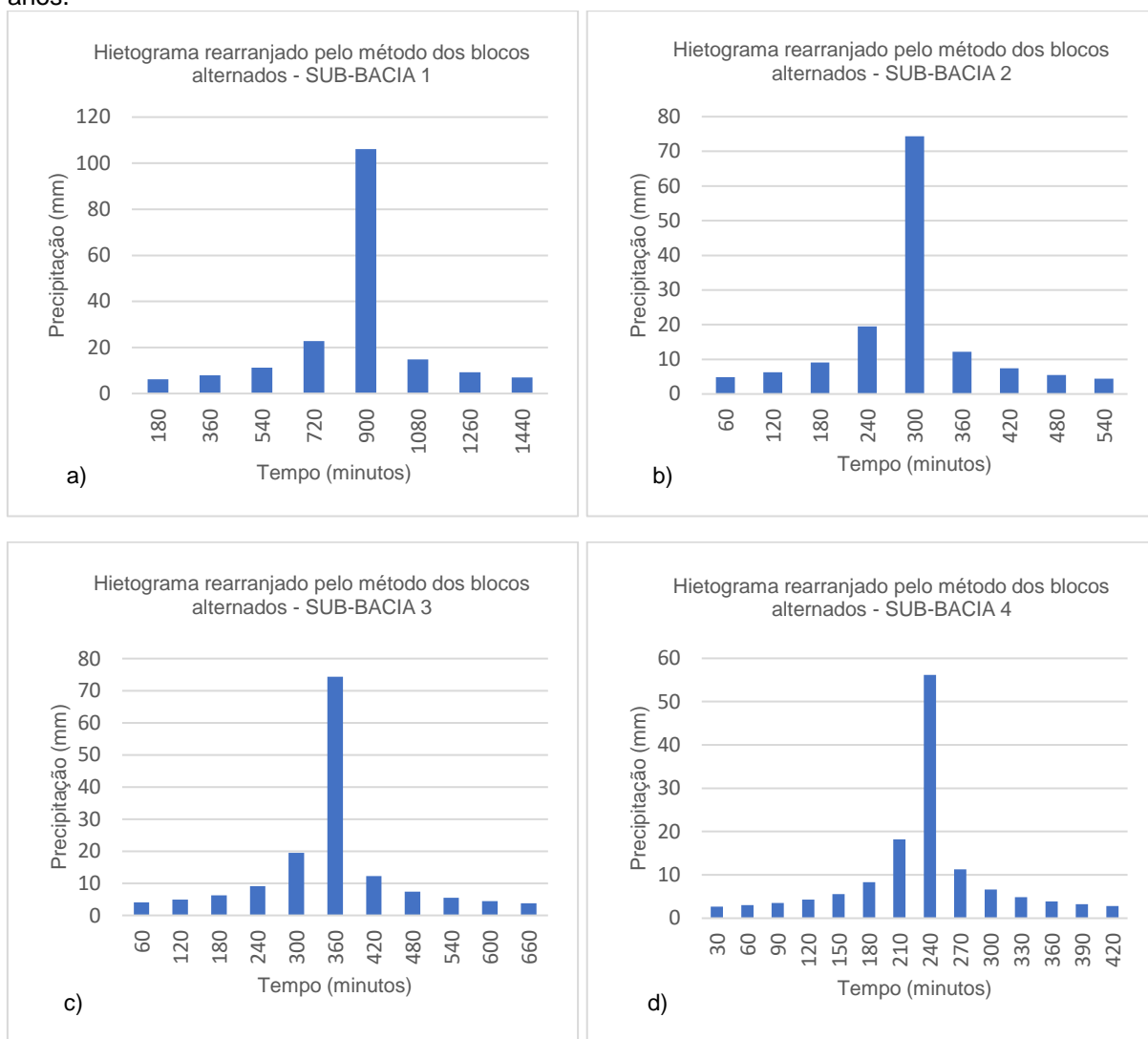
Figura 10 - Hietogramas rearranjados pelo método de blocos alternados para o tempo de retorno de 25 anos.



Fonte: Autoria própria (2019).

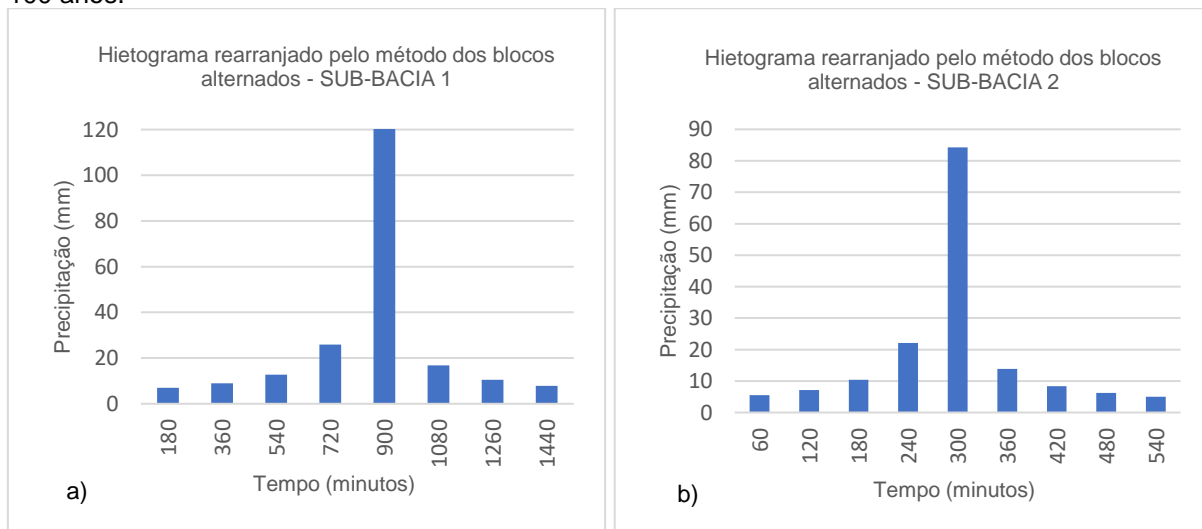
Os hietogramas para o período de retorno de 50 e 100 anos, são mostrados nas Figuras 11 e 12, com intervalo de duração de 180 minutos para a sub-bacia 1, de 60 minutos para a sub-bacia 2 e sub-bacia 3 e de 30 minutos para a sub-bacia 4.

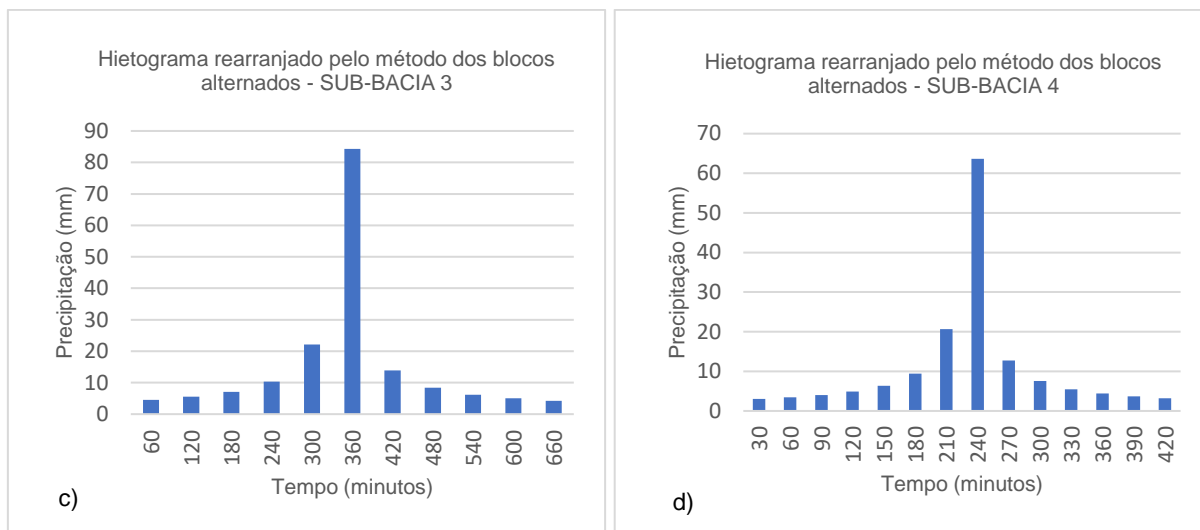
Figura 11 - Hietogramas rearranjados pelo método de blocos alternados para o tempo de retorno de 50 anos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 12 - Hietogramas rearranjados pelo método de blocos alternados para o tempo de retorno de 100 anos.





Fonte: Autoria própria (2019).

Nos hietogramas apresentados anteriormente têm-se a distribuição da chuva incremental ao longo do tempo, como forma de observar o pico de precipitação incremental nesses hietogramas, o Quadro 8 traz esses valores.

Quadro 8 - Precipitação incremental máxima para os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos.

SUB-BACIA	P (mm)		
	TR 25	TR 50	TR 100
1	93,66	106,12	120,25
2	65,63	74,37	84,26
3	65,63	74,37	84,26
4	49,56	56,15	63,63

Fonte: Autoria própria (2019).

É possível perceber que a precipitação incremental tem um aumento devido ao tempo de retorno, isso acontece pois, com o aumento de tempo de retorno também aumenta da possibilidade de acontecer um evento de extrema precipitação.

Analisando a sub-bacia 2 e 3, nota-se que para os diferentes tempos de retorno ambas têm uma precipitação incremental igual a outra. Com base no Quadro 8 e nos hietogramas dessas duas sub-bacias (Figuras 10, 11 e 12), verifica-se que o intervalo de duração dos incrementos é o mesmo e levando em conta que é no primeiro intervalo de 60 minutos onde ocorre o maior incremento, têm-se que mesmo variando a duração de 540 minutos para 660 minutos, o incremento máximo continua sendo o mesmo, ou seja, valores iguais.

4.4 DADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO

4.4.1 Simulação do método de SCS

Foram realizadas três simulações sendo cada um com tempos de retorno diferentes, sendo de 25, 50 e 100 anos. Nos Quadro 9, Quadro 10 e Quadro 11, são apresentados os dados de saída de dados de cada elemento hidrológico da bacia hidrográfica, com sua respectiva área de drenagem, vazão de pico, tempo de pico e volume.

Quadro 9 - Simulação global para o tempo de retorno de 25 anos.

Elemento Hidrológico	Área de Drenagem (Km²)	Descarga de pico (m³.s⁻¹)	Tempo de pico	Volume (mm)
SUB-BACIA-1	208,40	255,8	27out2019, 01:00	70,30
SUB-BACIA-2	66,95	128,6	26out2019, 08:30	42,62
SUB-BACIA-3	75,12	127,0	26out2019, 10:30	43,55
SUB-BACIA-4	32,50	130,7	26out2019, 06:30	70,88
JUNCAO-1	107,62	179,9	26out2019, 09:00	51,80
JUNCAO-2	316,02	257,5	27out2019, 01:00	63,97
JUNCAO-3	382,97	303,6	26out2019, 09:00	60,17
TRECHO-1	107,62	179,6	26out2019, 09:00	51,71
TRECHO-2	316,02	257,0	27out2019, 01:30	63,89
TRECHO-3	382,97	296,2	26out2019, 10:00	59,87
EXUTORIO	382,97	296,2	26out2019, 09:30	59,87

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 10 - Simulação global para o tempo de retorno de 50 anos.

(continua)

Elemento Hidrológico	Área de Drenagem (Km²)	Descarga de pico (m³.s⁻¹)	Tempo de pico	Volume (mm)
SUB-BACIA-1	208,40	317,0	27out2019, 01:00	86,92
SUB-BACIA-2	66,95	164,5	26out2019, 08:30	54,14
SUB-BACIA-3	75,12	163,0	26out2019, 10:30	55,63
SUB-BACIA-4	32,50	155,8	26out2019, 06:30	84,15
JUNCAO-1	107,62	225,8	26out2019, 09:00	64,24
JUNCAO-2	316,02	319,1	27out2019, 01:00	79,15
JUNCAO-3	382,97	379,8	26out2019, 09:30	74,69

(conclusão)

TRECHO-1	107,62	224,4	26out2019, 09:00	64,12
TRECHO-2	316,02	318,7	27out2019, 01:30	79,04
TRECHO-3	382,97	368,5	26out2019, 10:00	74,24
EXUTORIO	382,97	368,5	26out2019, 09:30	74,24

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 11 - Simulação global para o tempo de retorno de 100 anos.

Elemento Hidrológico	Área de Drenagem (Km ²)	Descarga de pico (m ³ .s ⁻¹)	Tempo de pico	Volume (mm)
SUB-BACIA-1	208,40	389,5	27out2019, 01:00	106,65
SUB-BACIA-2	66,95	207,7	26out2019, 08:30	67,95
SUB-BACIA-3	75,12	206,4	26out2019, 10:30	70,18
SUB-BACIA-4	32,50	185,1	26out2019, 06:30	99,61
JUNCAO-1	107,62	280,9	26out2019, 09:00	79,07
JUNCAO-2	316,02	392,4	27out2019, 00:30	97,20
JUNCAO-3	382,97	471,3	26out2019, 09:30	91,96
TRECHO-1	107,62	278,9	26out2019, 09:30	78,89
TRECHO-2	316,02	391,7	27out2019, 01:30	97,05
TRECHO-3	382,97	453,6	26out2019, 10:00	91,29
EXUTORIO	382,97	453,6	26out2019, 09:30	91,29

Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando a vazão de pico da sub-bacia 1 percebe-se que do Quadro 9 para o Quadro 10, a vazão tem um aumento de 61,2 m³.s⁻¹. Já para sub-bacia 2 essa mesma variação do tempo de retorno de 25 para 50 anos, a vazão tem um acréscimo de 35,9 m³.s⁻¹. Analisando a sub-bacia 3 e sub-bacia 4 para esse mesmo intervalo, têm-se uma elevação na vazão de pico de 36 m³.s⁻¹ e 25,10 m³.s⁻¹, respectivamente. A área da bacia hidrográfica tem influência na vazão, isso segundo Santos (2010), acontece, pois quanto maior a sua extensão, maior será a quantidade de água que a bacia pode captar.

Comparando o tempo de retorno de 25 anos e 100 anos (Quadros 9 e 11), têm-se um aumento de 133,7 m³.s⁻¹ na sub-bacia 1; de 79,1 m³.s⁻¹ na sub-bacia 2; de 79,4 m³.s⁻¹ na sub-bacia 3 e de 54,4 m³.s⁻¹ na sub-bacia 4. Nota-se que a diferença das vazões nas sub-bacias de TR 25 para 50 anos e TR de 25 para 100 anos, tem um

acrécimo. Esse aumento na diferença da vazão acontece segundo Seibt *et al.* (2012), conforme o aumento no tempo de retorno.

No exutório da bacia hidrográfica do Rio do Campo a vazão máxima foi de 296,2 m³.s⁻¹ para TR igual a 25 anos, de 368,5 m³.s⁻¹ para TR igual a 50 anos e de 453,6 m³.s⁻¹ para TR igual a 100 anos.

Nota-se também nas vazões máximas da simulação que logo após uma junção o trecho que interliga a mesma possui uma vazão menor (junção 1 – trecho 1, junção 2 – trecho 2 e junção 3 – trecho 3), essa diminuição ocorre devido a rugosidade do canal no elemento trecho.

4.4.1.1 Tempo de pico do método do SCS

Considerando os tempos de pico encontrados para os períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos no método do SCS, têm-se que o tempo de pico das sub-bacias 1, 2, 3 e 4, ocorreram entre 6,5 horas e 25 horas. Nas junções e trechos o tempo de pico ficou entre 9 horas e 25,5 horas. Já no exutório o tempo de pico ocorreu em 9,5 horas para todos os tempos de retorno.

4.4.1.2 Tempo de base do método do SCS

O tempo de base referente aos elementos da bacia hidrográfica foi determinado a partir do tempo de pico e apresentou valores de 20 horas até valores acima de 60 horas, para as sub-bacias, trechos e junções. Sendo 60 horas o tempo final da observação da simulação realizada no HEC-HMS. Isso, também pode ser observado nos hidrogramas das junções e trechos (APÊNDICES E a J) e na comparação do hidrograma com a precipitação incremental e de perda (APÊNDICES A a D), para as sub-bacias 1, 2, 3 e 4.

4.4.2 Simulação do método de Snyder

O método de Snyder difere do SCS, mas, os dados físicos adquiridos das sub-bacias (Tabela 1), assim como os tempos de retorno foram os mesmos para as simulações. Os dados de saída de cada elemento hidrológico, e suas respectivas

áreas de drenagem, vazões de pico, tempos de pico e volumes para esse método são apresentados a seguir (Quadros 12, 13 e 14).

Quadro 12 - Simulação global para o tempo de retorno de 25 anos.

Elemento Hidrológico	Área de Drenagem (Km²)	Descarga de pico (m³.s⁻¹)	Tempo de pico	Volume (mm)
SUB-BACIA-1	208,40	214,3	27out2019, 01:00	69,24
SUB-BACIA-2	66,95	84,7	26out2019, 10:30	42,62
SUB-BACIA-3	75,12	87,8	26out2019, 12:00	43,55
SUB-BACIA-4	32,50	76,6	26out2019, 08:30	70,88
JUNCAO-1	107,62	140,3	26out2019, 11:00	51,80
JUNCAO-2	316,02	230,3	27out2019, 00:30	63,29
JUNCAO-3	382,97	235,8	27out2019, 01:00	59,55
TRECHO-1	107,62	140,0	26out2019, 11:00	51,76
TRECHO-2	316,02	229,7	27out2019, 01:30	63,14
TRECHO-3	382,97	234,6	27out2019, 01:30	59,38
EXUTORIO	382,97	234,6	27out2019, 01:00	59,38

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 13 - Simulação global para o tempo de retorno de 50 anos.

(continua)

Elemento Hidrológico	Área de Drenagem (Km²)	Descarga de pico (m³.s⁻¹)	Tempo de pico	Volume (mm)
SUB-BACIA-1	208,40	265,4	27out2019, 01:00	85,62
SUB-BACIA-2	66,95	107,8	26out2019, 10:30	54,14
SUB-BACIA-3	75,12	112,4	26out2019, 12:00	55,63
SUB-BACIA-4	32,50	91,1	26out2019, 08:30	84,15
JUNCAO-1	107,62	175,1	26out2019, 11:00	64,24
JUNCAO-2	316,02	285,6	27out2019, 00:30	78,32
JUNCAO-3	382,97	292,7	27out2019, 01:00	73,94
TRECHO-1	107,62	174,5	26out2019, 11:00	64,18
TRECHO-2	316,02	285,1	27out2019, 01:00	78,14
TRECHO-3	382,97	291,0	27out2019, 01:30	73,71
EXUTORIO	382,97	291,0	27out2019, 01:00	73,71

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 14 - Simulação global para o tempo de retorno de 100 anos.

Elemento Hidrológico	Área de Drenagem (Km ²)	Descarga de pico (m ³ .s ⁻¹)	Tempo de pico	Volume (mm)
SUB-BACIA-1	208,40	326,1	27out2019, 00:30	105,08
SUB-BACIA-2	66,95	135,5	26out2019, 10:30	67,95
SUB-BACIA-3	75,12	142,1	26out2019, 12:00	70,18
SUBBACIA-4	32,50	108,0	26out2019, 08:30	99,61
JUNCAO-1	107,62	216,6	26out2019, 11:00	79,07
JUNCAO-2	316,02	351,2	27out2019, 00:30	96,19
JUNCAO-3	382,97	360,2	27out2019, 01:00	91,07
TRECHO-1	107,62	215,6	26out2019, 11:00	78,98
TRECHO-2	316,02	350,7	27out2019, 01:00	95,97
TRECHO-3	382,97	357,8	27out2019, 01:30	90,75
EXUTORIO	382,97	357,8	27out2019, 01:00	90,75

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando a vazão de pico da sub-bacia 1 percebe-se que do Quadro 12 para o Quadro 13, a vazão tem um aumento de 51,1 m³.s⁻¹, já para a sub-bacia 2, a vazão tem um acréscimo de 23,1 m³.s⁻¹. Na sub-bacia 3 e sub-bacia 4 para esse mesmo intervalo de tempo de retorno, têm-se um aumento na vazão de pico de 24,6 m³.s⁻¹ e 14,5 m³.s⁻¹, respectivamente.

Considerando a diferença da vazão máxima do tempo de retorno de 25 anos para o de 100 anos (Quadros 12 e 14), têm-se que existe um aumento de 111,8 m³.s⁻¹ na sub-bacia 1; de 50,8 m³.s⁻¹ na sub-bacia 2; de 54,3 m³.s⁻¹ na sub-bacia 3 e de 31,4 m³.s⁻¹ na sub-bacia 4.

A vazão máxima do exutório da bacia hidrográfica do Rio do Campo foi de, 234,6 m³.s⁻¹ para o tempo de retorno de 25 anos, de 291,0 m³.s⁻¹ para o tempo de retorno de 50 anos e de 357,8 m³.s⁻¹ para o tempo de retorno de 100 anos.

4.4.2.1 Tempo de pico do método de Snyder

Analisando os tempos de pico do método de Snyder para os períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos, observou-se que o tempo de pico das sub-bacias 1, 2, 3 e 4, ocorreram entre 8,5 horas e 25 horas. Já para as junções e trechos esse mesmo

tempo de pico ocorreu entre 11 horas e 25,5 horas. No exutório o tempo de pico ocorreu em 25 horas para o tempo de retorno de 25, 50 e 100 anos.

4.4.2.2 Tempo de base do método de Snyder

O tempo de base para as sub-bacias foi de 33 horas até valores maiores que 60 horas. Essa variação também pode ser observada na comparação do hidrograma com a precipitação incremental e de perda (APÊNDICES L a N), para as sub-bacias 1, 2, 3 e 4 e nos hidrogramas das junções e trechos (APÊNDICES O a U).

4.4.3 Hidrogramas do método do SCS

Os hidrogramas do elemento junção e dos trechos 2 e 3 diferentemente dos outros hidrogramas obtidos, possuem dois picos. Isso ocorre segundo SILVA (2002) pois, o hidrograma resultante é obtido pela soma dos hidrogramas advindos da área de contribuição com o hidrograma gerado na mesma. Assim, em uma junção ou trecho onde exista a contribuição de dois elementos hidrológicos, existem também dois hidrogramas com diferentes tempos de pico, o que faz com que a soma dos mesmos gere um hidrograma com uma nova vazão de pico.

4.4.4 Comparação da vazão máxima

A vazão máxima simulada pelo HEC-HMS pelos métodos de transformação de precipitação em vazão foi descrita separadamente anteriormente, mas, ao comparar as vazões do elemento hidrológico sub-bacia tem-se os seguintes resultados (Quadros 15, 16 e 17).

Quadro 15 - Resultados da simulação da vazão máxima pelos métodos SCS e Snyder, com tempo de retorno de 25 anos.

(continua)

SUB-BACIA	VAZÃO MÁXIMA (m ³ .s ⁻¹)		
	SCS	SNYDER	DIFERENÇA (%)
1	255,8	214,3	8,83
2	128,6	84,7	20,58

(conclusão)

3	127,0	87,8	18,25
4	130,7	76,6	26,10
EXUTÓRIO	296,2	234,6	11,61

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 16 - Resultados da simulação da vazão máxima pelos métodos SCS e Snyder, com tempo de retorno de 50 anos.

SUB-BACIA	VAZÃO MÁXIMA (m ³ .s ⁻¹)		
	SCS	SNYDER	DIFERENÇA %
1	317,0	265,4	8,86
2	164,5	107,8	20,82
3	163,0	112,4	18,37
4	155,8	91,1	26,20
EXUTÓRIO	368,5	291,0	11,75

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 17 - Resultados da simulação da vazão máxima pelos métodos SCS e Snyder, com tempo de retorno de 100 anos.

SUB-BACIA	VAZÃO MÁXIMA (m ³ .s ⁻¹)		
	SCS	SNYDER	DIFERENÇA %
1	389,5	326,1	8,86
2	207,7	135,5	21,04
3	206,4	142,1	18,45
4	185,1	108,0	26,31
EXUTÓRIO	453,6	357,8	11,81

Fonte: Autoria própria (2019).

Considerando os resultados de Will (2017), para um CN de 67 e suas vazões máximas simuladas de Snyder e SCS, que resultaram numa diferença entre 7,5 % a 13,5 % para uma duração menor que oito dias, têm-se que essa variação fica bem próximo ao resultado da diferença da sub-bacia 1 e do exutório (Quadros 15, 16 e 17).

Com base nas áreas das sub-bacias (Tabela 1) e na diferença dos resultados da simulação, nota-se que quanto maior a área da sub-bacia menor é a variação dos

resultados obtidos pelos dois métodos simulados. Já o exutório que possui uma área de 382,97 Km², maior que as sub-bacias, não apresentou esse comportamento, visto que na sua simulação é considerado outros elementos hidrológicos da bacia hidrográfica.

A sub-bacia que obteve maior vazão em ambos os métodos foi a sub-bacia 1, sendo o principal fator de explicação a sua área de drenagem. Já o fluxo de saída da bacia hidrográfica do Rio do Campo, para um tempo de retorno de 25 anos, foi maior pelo método SCS com vazão máxima de 296,2 m³.s⁻¹. Já para o tempo de retorno de 50 e 100 anos, essa vazão foi de 368,5 m³.s⁻¹ e 453,6 m³.s⁻¹.

Levando em conta a área da bacia hidrográfica têm-se pelo método do SCS uma vazão específica máxima de 0,7734 m³.s⁻¹.Km⁻²; 0,9622 m³.s⁻¹.Km⁻² e 1,1844 m³.s⁻¹.Km⁻², para os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, respectivamente. Para o método de Snyder a vazão específica máxima para o período de retorno de 25, 50 e 100 anos, foi de 0,6126 m³.s⁻¹.Km⁻², 0,7599 m³.s⁻¹.Km⁻² e 0,9343 m³.s⁻¹.Km⁻², no exutório.

Comparando os resultados anteriores com a vazão específica obtida a partir dos dados de Santos (2017), de 2,24781 m³.s⁻¹.Km⁻² para um tempo de retorno de 100 anos e uma duração de 12 horas, têm-se que a vazão específica para o mesmo período de retorno, se diferem em 1,0634 m³.s⁻¹.Km⁻² no método de Snyder e em 1,3135 m³.s⁻¹.Km⁻² no método SCS.

Já no estudo de Jacomazzi (2015), para um tempo de retorno de 100 anos e uma duração de 8 horas, o resultado foi de 8,29 m³.s⁻¹.Km⁻² no início da bacia e de 4,14 m³.s⁻¹.Km⁻² no final da bacia. Nesse mesmo estudo a vazão específica para um tempo de retorno foi de 24,64 m³.s⁻¹.Km⁻² no início da bacia e de 3,70 m³.s⁻¹.Km⁻² no final da mesma.

4.5 PANORAMA GERAL

A modelagem envolve diversos processos e parâmetros para compor a simulação, dessa forma diferentes tipos de dados da bacia hidrográfica estudada são necessários para que a mesma ocorra. Apesar dos diferentes tipos dados, muitos deles acabam por possuir uma relação entre si, o Quadro 18 traz alguns dados gerais encontrados dentro da modelagem realizada.

Quadro 18 - Dados gerais da bacia hidrográfica do Rio do Campo.

SUB-BACIA	CN MÉDIO	ÁREA DO USO PREDOMINANTE (Km ²)	ÁREA DA SUB-BACIA (Km ²)	DIFERENÇA MÉDIA DOS MÉTODOS %
1	64	145,92	208,40	8,85
2	64	49,83	66,95	20,81
3	63	54,69	75,12	20,98
4	72	15,08	32,50	11,72

Fonte: Autoria própria (2019).

Considerando a área de estudo, o uso e ocupação predominante é a cultura anual e perene, além disso, percebe-se nas sub-bacias valores médios considerando que o CN máximo é igual a 100.

A diferença dos valores de CN da sub-bacia 1, 2 e 3 para a sub-bacia 4 ocorrem devido a porcentagem de infraestrutura urbana presente na sub-bacia 4, tendo em vista que na mesma a infraestrutura representa aproximadamente 31,48 % da área total enquanto que nas outras sub-bacias essa porcentagem não ultrapassa 6 %.

Já a diferença média entre os métodos de transformação da vazão máxima tem-se que a sub-bacia 1 possui a menor média com 8,85 % enquanto a sub-bacia 4 tem a maior média com cerca de 11,72 %. Nota-se que a área de drenagem nesse caso possui a maior relação inversamente proporcional, já que, quando existe uma área grande a diferença entre a vazão tende a ser menor.

Considerando ainda que a bacia hidrográfica do Rio do Campo tem área igual a soma das suas sub-bacias obtém-se uma área de drenagem equivalente a 382,97 Km².

4.6 EDITAL 1/2019 PROREC/PROGRAD APOIO A EXUCAÇÃO DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSOS – TCC

Considerando os resultados da vazão máxima das sub-bacias e do exutório obtidos utilizando o método de Snyder e o método do SCS têm-se que a sua utilização pode ser aplicada ao monitoramento e planejamento de diversos locais na área de estudo. A utilização de tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos permite ainda que os dados possam ser aplicados a diferentes obras hidráulicas, já que cada estrutura

hidráulica traz um intervalo de período de retorno admitido, afim de admitir um certo risco.

Assim, as vazões máximas obtidas da modelagem hidrológica, mais precisamente da sub-bacia 4, local onde se localiza o rio Km 119, onde há o interesse em se desenvolver um projeto de construção e revitalização de praça pública contribui para o dimensionamento de tal obra e também para a previsão de possíveis riscos de enchentes e inundações afim de aumentar a segurança das construções instaladas.

Devido a área de drenagem a qual está inserida a praça não contribuir como um todo na vazão máxima da sub-bacia 4, determinou-se as seguintes vazões específicas máximas de $4,0215 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{Km}^{-2}$ e $2,3569 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{Km}^{-2}$ para um tempo de retorno de 25 anos, de $4,1938 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{Km}^{-2}$ e $2,8031 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{Km}^{-2}$ para um tempo de retorno de 50 anos e para um tempo de retorno de 100 anos de $5,6953 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{Km}^{-2}$ e $3,3231 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{Km}^{-2}$, considerando os métodos do SCS e de Snyder respectivamente.

Para outros estudos em outras partes da bacia hidrográfica, o estudo também pode ser utilizado de forma comparativa, já que existem diversos métodos para o cálculo da vazão máxima.

Dessa forma, o autor e o orientador desse trabalho de conclusão de curso agradecem o auxílio para o desenvolvimento.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou grande importância para a caracterização hidrológica da bacia hidrográfica do Rio do Campo, reunindo dados físicos que permitem o maior conhecimento sobre os fatores que influenciam no ciclo hidrológico como a área de drenagem, uso e ocupação, CN e declividade.

Através da modelagem hidrológica foi possível determinar a vazão máxima nas sub-bacias delimitadas no estudo e comparar os resultados entre métodos de transformação de Snyder e SCS, podendo estabelecer a variação que ocorre entre os mesmos. A vazão do exutório para um tempo de retorno de 25 anos, obteve uma diferença de 11,61 % entre o método SCS e o método de Snyder, já para os tempos de retorno de 50 e 100 anos essa diferença correspondeu a 11,75 % e 11,81 %, respectivamente.

A vazão específica máxima do exutório para o método de Snyder foi de 0,7734 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$; 0,9622 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$ e 1,1844 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$, considerando os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos. Já no método de Snyder para os mesmos períodos de retorno, a vazão específica foi igual a 0,6126 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$, 0,7599 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$ e 0,9343 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$.

É possível verificar que o uso de softwares de modelagem como o HEC-HMS, de fácil manuseio e com interface simples, é muito importante no gerenciamento das bacias hidrográficas, já que a determinação das características e da vazão máxima, permitem um maior controle de riscos ligados a inundações e a obras hidráulicas.

Assim, a aplicação da modelagem hidrológica revelou-se importante para futuros trabalhos de estudo e planejamento ambiental ligados as redes hídricas. Recomenda-se ainda a determinação dos coeficientes dos métodos de transformação como forma de obter dados mais precisos quanto a bacia e a utilização de outros diferentes *softwares* como forma de comparação.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Fernando Girardi de; SOBRINHA, Lôide Angelini; BRANDÃO, João Luiz Boccia. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.22, n.2, p. 239-250, 2017.
- ALMEIDA, Lizane; SERRA, Juan Carlos Valdés. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista FAE**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 129-137, 2017.
- ARANTES, Eudes José; CARVALHO, Karina Querne de; PASSIG, Fernando Hermes; KREUTZ, Cristiane; ARANTES, Elizangela de Abreu. Análise das chuvas intensas da região noroeste do Paraná. **OLAM – Ciência & Tecnologia**, Rio Claro, v.1, n. 2, p. 31-47, 2009.
- ARAÚJO, Bruno Aragão Martins de; SILVEIRA, Cleiton da Silva; SOUZA, Jackeline Lucas; MAIA JÚNIOR, José Valmir Farias; ALMEIDA, Francisco Augusto Ferreira; STUDART, Ticiania Marinho de Carvalho. **Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Maceió, 2011.
- BARBOSA, Sylvio Elvis da Silva; BARBOSA JÚNIOR, Antenor Rodrigues; SILVA, Gilberto Queiroz da; CAMPOS, Elizabeth Neves Borges; RODRIGUES, Vanessa de Carvalho. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 64-71, 2005.
- BASTOS, Patrícia Covre. **Efeitos da urbanização sobre vazões de pico de enchente**. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
- BIELENKI JÚNIOR. Cláudio; BARBASSA, Ademir Paceli; MIRANDA, Renato Bília de; MAUAD, Frederico Fábio. Determinação de curva intensidade-duração-frequência por meio do emprego do método paramétrico de ajustamento de observações. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.19, 2016.
- CAVIGLIONE, João Henrique; KIIHL, Laura Regina Bernardes; CARAMORI, Paulo Henrique; OLIVEIRA, Dalziza de. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD.
- CETESB. **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, 1979. 468p.
- CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R. e MAYS, Larry W. Hidrologia Aplicada. **McGraw-Hill Interamericana**, Santafé de Bogotá, Colômbia, 1994. 584 p.
- COLLISCHON, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, v.1, 2013. 350 p.

COLLODEL, Milena Gardai. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. 219 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

COSTA, Alfredo Ribeiro da; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins. **Curso Básico de Hidrologia Urbana**. Brasília: ReCESA, 2007. 130 p.

CRISPIM, Jefferson de Queiroz; MALYSZ, Sanda Terezinha; CARDOSO, Oséias; PAGLIARINI JUNIOR, Sérgio Norberto. Conservação e Proteção de Nascentes por Meio do Solo Cimento em Pequenas Propriedades Agrícolas na Bacia Hidrográfica Rio do Campo no Município de Campo Mourão – PR. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 6, p.781-790, 2012.

DAMÉ, Rita de Cássia Fraga; TEIXEIRA, Claudia Fernanda Almeida; TERRA, Viviane Santos Silva. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-freqüência para Pelotas – RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.245-255, 2008.

DEODHAR , M. J. **Elementary engineering hydrology**. Pearson Education Índia. 2008. 408 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FRANCO, Ana Clara Lazzari. **Calibração do modelo SWAT com evapotranspiração proveniente de sensoriamento remoto e vazão observada**. 2017. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

GENOVEZ, Abel Maia. Vazões Máximas. *In*: PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de. (Orgs.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, p. 33-112, 2001.

GONTIJO, Nebai Tavares. **Avaliação das relações de frequência entre precipitação e enchentes raras por meio de séries sintéticas e simulação hidrológica**. 2007. 175 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2007.

GOUVÊA, Carlos José Torres. **Cálculo de vazão de bacia hidrográfica visando a construção de uma obra de arte**. 2015, 32 f. 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, 2015. HEC-HMS. Versão 4.3. U.S. Corps of Engineers, 2018.

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. **Dados e informações geoespaciais temáticos**. Disponível em:

<itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9>. Acesso em: 16 out. 2019.

JACOMAZZI, Marco Antonio. **Avaliação de cenários para elaboração de plano diretor de macrodrenagem urbana estudo de caso**: bacia do ribeirão das Anhumas em Campinas SP. 2015. 263 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Capinas, Campinas, 2015.

KHIDIR, Khalid Mahmmod; AL-SHA'AR, Mohanad T. Estimating storm direct runoff using synthetic unit hydrograph methods by (WMS) model (solag basin as a case study). **Journal of University of Duhok**, v. 20, n.1, p. 727-735, 2017.

MACEDO, Rene Lebarbenchon. **Estudo hidrológico da bacia do Rio Negrinho – SC utilizando o HEC-HMS**. 2010. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas** – Coleção [3.1] da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. Disponível em:

<<http://mapbiomas.org/map#coverage>>. Acesso em: 26 jul. 2019

MARTINS, José Augusto. Escoamento Superficial. *In*: PINTO, Nelson Luiz de Sousa Pinto.; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Franscisco Luiz Sibut. (Orgs.). **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 36–43, 1976.

MARTINS, Lorraine Campos. **Vazão Máxima em pequena bacia hidrográfica parcialmente urbanizada em Uberlândia - MG**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

MATA-LIMA, Herlander; VARGAS, Hugo; CARVALHO, Julia; GONÇALVES, Marcia; CAETANO, Hugo; MARQUES, Andreia; RAMINHOS, Cristina. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, n.3, p. 525-536, 2007.

MCCUEN, Richard H. **Hydrologic analysis and design**. 2. ed., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1998. 814 p.

MERCADANTE, Olivia de Castro. **Avaliação das metodologias do estudo de vazão máxima provável – Estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Ji-Paraná/RO**. 2018. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MOREIRA, Itamar Adilson. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidrológica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MORO, Michele. **Utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MOUTINHO, Vinicius de Mello. **Avaliação e reabilitação de redes de micro-drenagem**. 2011. 157 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Escola Politécnica – Poli/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011

NAGHETTINI, Mauro. **Introdução à Hidrologia Aplicada**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

NITSCHKE, Pablo Ricardo; CARAMORI, Paulo Henrique; RICCE, Willian da Silva; PINTO, Larissa Fernandes Dias. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

ONGARATTO, Renan. **Modelagem de hidrogramas de escoamento superficial sob diferentes intensidades de precipitação no município de Pato Branco-PR**. 2018, 78 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Novo modelo de previsão de vazões com informação de precipitação para o trecho incremental de Itaipu**. NT 173/2007, 2007.

PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias**. Estudo de caso: bacia do Rio Solimões. 2009. 168 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídrico e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PORTELA, Maria Manuela. **Modelação Hidrológica**. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2006.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. 4. ed., Projeto REENGE, EESC/USP, 2006. 519 p.

PRETZEL, Luciano Davi. **Qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio do Campo: aplicação do modelo matemático QUAL-UFMG**. 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

PRIOSTE, Mauro Alexandre de Oliveira. **Bacia hidrográfica do Rio das Ostras: proposta para gestão ambiental sustentável**. 2007. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

RENNÓ, Camilo Daleles; SOARES, João Viane. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Programa de Ciência e Tecnologia para a Gestão de Ecossistemas. Ação “Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental”. Relatório Técnico Parcial. São Paulo, 2000. 60 p.

RODRIGUES JUNIOR, Rosinaldo de Souza; ARANTES, Eudes José. Regionalização da vazão máxima da microbacia do Rio Mourão. **8º Seminário de Extensão e Inovação**, Apucarana, 2018.

SANTOS, Franciane Mendonça dos; LOLLO, José Augusto de. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.4, p. 663-675, 2016.

SANTOS, Juliano Böeck. **Modelagem hidrológica HEC-HMS da bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés, Botucatu-SP**. 2017. 80 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2017.

SANTOS, Luciana Cabral Costa. **Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos**. 2010. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

SANTOS, Roberval de Jesus Leone dos; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; SILVEIRA, André Luiz Lopes da; MENESES FILHO, Anísio de Sousa. Estimativa do hidrograma de projeto com base na incerteza dos parâmetros do modelo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 6, n.1, p. 29-41, 2001.

SÃO PAULO. Secretária de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Instrução técnica DPO nº 11, de 30 de maio de 2017**. [Tem por objetivo oferecer orientações básicas quanto a critérios e parâmetros para elaboração de estudos hidrológicos e hidráulicos relativos a interferências nos recursos hídricos superficiais de domínio do Estado de São Paulo]. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/images/documentos/outorgaefiscalizacao/it_dpo11_obras_hidraulicas.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.

SCS - SOIL CONSERVATION SERVICE. **National engineering handbook**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 1985.

SEIBT, Ana Carolina.; BARBOSA, Duane Izabel; SALGADO, Aline de Arvelos; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins. Comparação das vazões de projeto pelo método racional e método tempo área para bacias urbanas do município de Goiânia – GO. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil** - vol. 4, n. 2, p. 59-68, 2012.

SILVA, José Márcio Alves da. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias**

hidrográficas: desenvolvimento e aplicação. 2002. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

SILVA, Pedro José da; FERRAZ, Bruna Loro. **Critérios de desempenho aplicados às obras hidráulicas fluviais, e de macrodrenagem, executadas nos leitos dos cursos de água urbanos.** *In:* XVII Safety, Health and Environment World Congress (SHEWC). Vila Real, v. 1, p. 223-228, 2017.

SILVA, Simone Rosa da; ARAÚJO, George Rodrigues de Sousa. Algoritmo para determinação da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.5, p.1371-1383, 2013.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Ciclo hidrológico e a Bacia Hidrográfica. *In:* TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, p. 35-51, 2001.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10 n.1, p. 5-23, 2005.

SNYDER, Franklin F. Synthetic unit-graphs. **Transactions American Geophysical Union**, v. 19, n. 1, p. 447-454, 1938.

SOARES, Marcia Regina Gomes de Jesus; CENTENO, Jorge Antonio Silva. **Potencial de retenção de águas pluviais pelo método “CURVE NUMBER”.** VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 2013.

SOUSA, Matheus Martins de. **Comparação entre ferramentas de modelagem unidimensional e quasi-bidimensional, permanente e não permanente, em planejamento e projetos de engenharia hidráulica.** 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SOUZA, Juliana Fontini de; BORSATO, Victor da Assunção. Caracterização bioclimática de Campo Mourão. **Revista Geonorte**, v.1, n.5, p. 88-98, 2012.

SOUZA, Tainah Christina Teixeira de. **Avaliação de vazões máximas estimadas a partir dos modelos HEC-HMS e SWMM estudo de caso para o núcleo urbano e região periurbana de Muniz Freire.** 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

SOUZA, Vitória Bittencourt de; DAL FARRA, Ricardo Ângelo. Estudo do software HEC-HMS para aplicação da modelagem matemática hidrológica em uma bacia hidrográfica. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, Canoas, v. 1, n. 15, p. 116-128, 2017.

TASSI, Rutinéia; COLLISCHONN, Walter. **Notas de aula de hidrologia**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, 2001. 952 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, 2005. 678 p.

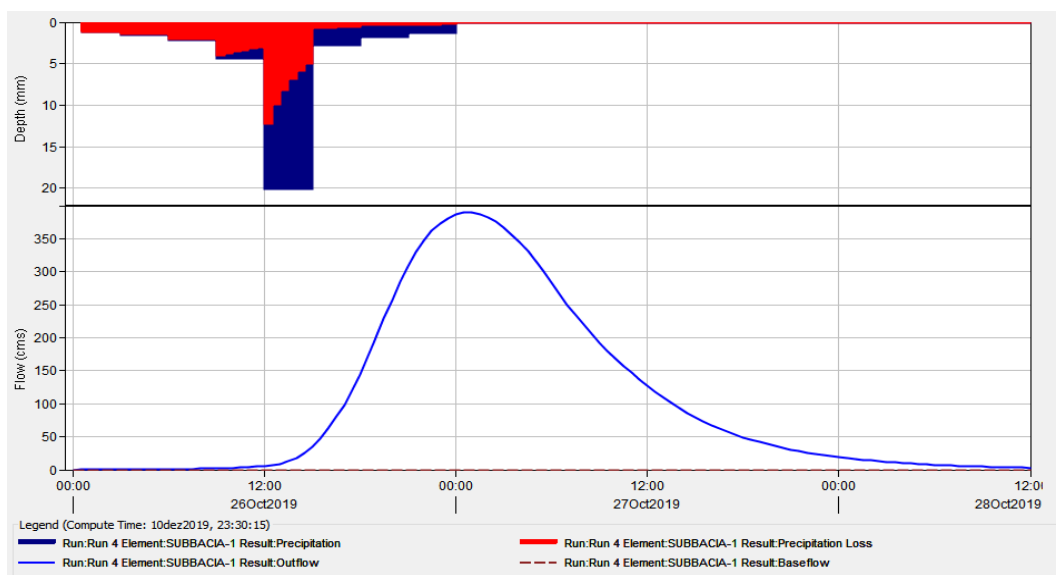
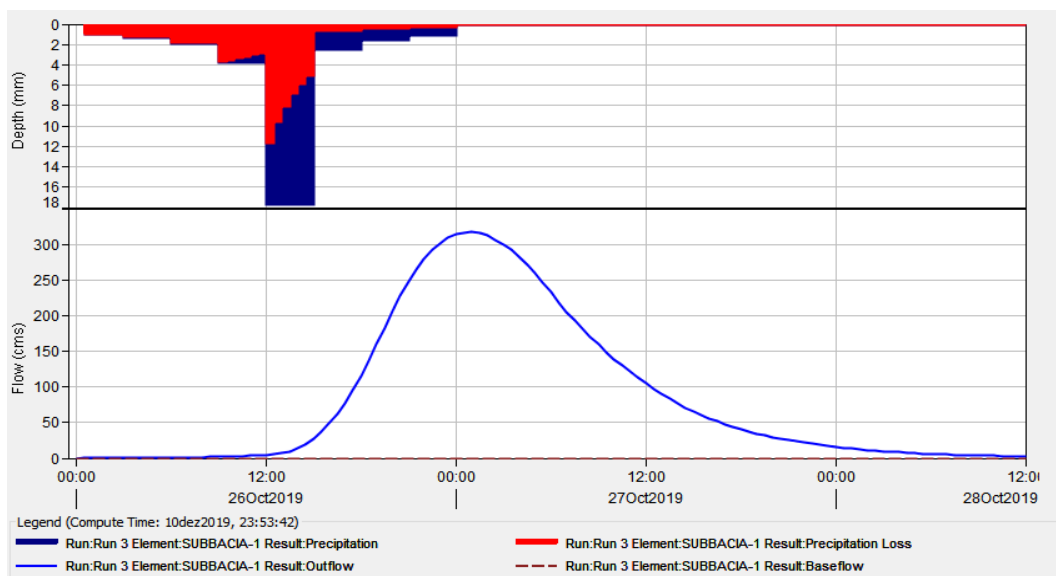
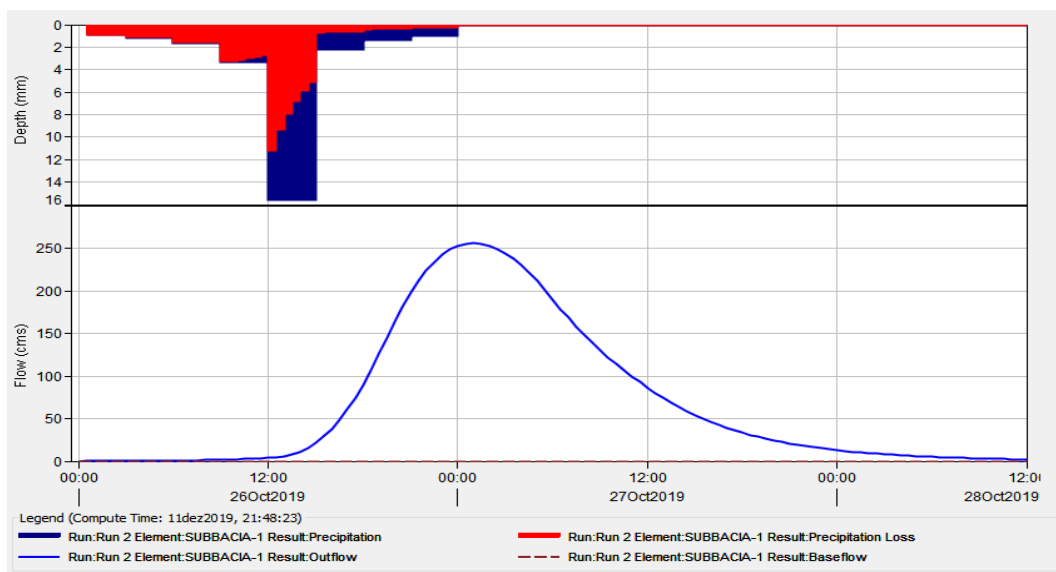
TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, 2003. 471 p.

VISSMAN JUNIOR, Warren; HARBAUGH, Terence Eugene; KNAPP, John Williams. **Introduction to hydrology**. New York: Intext Educational, 1972. 432 p.

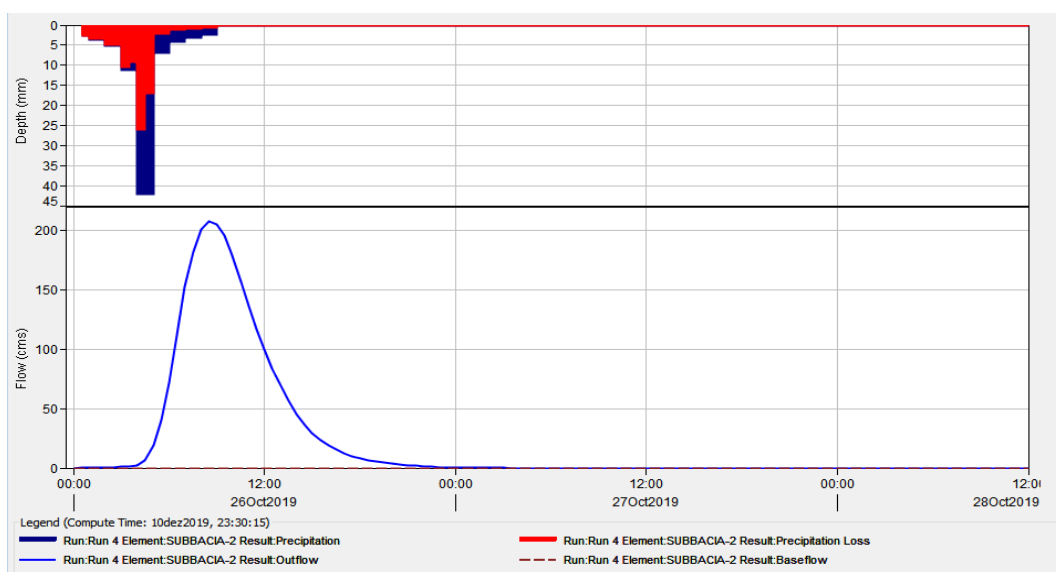
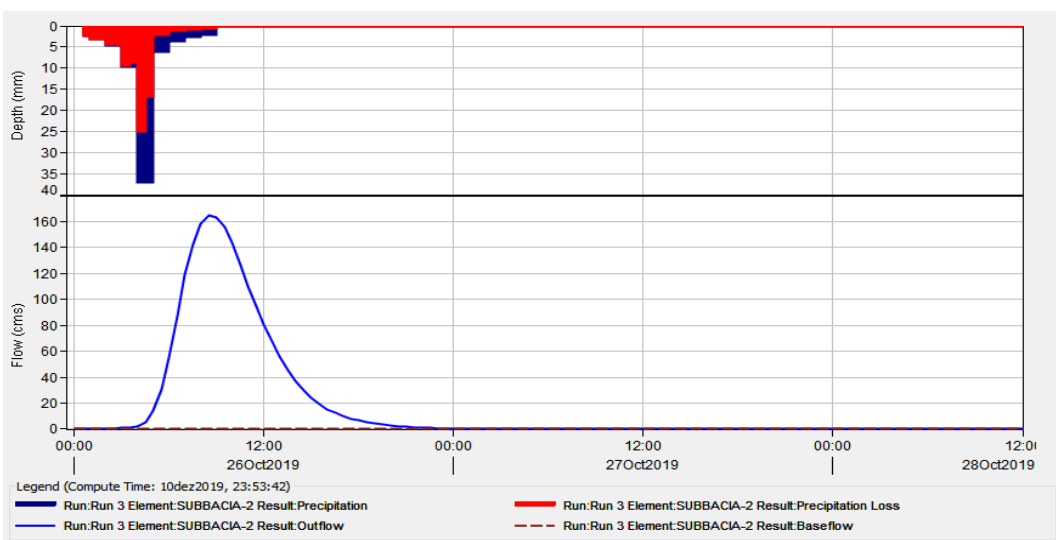
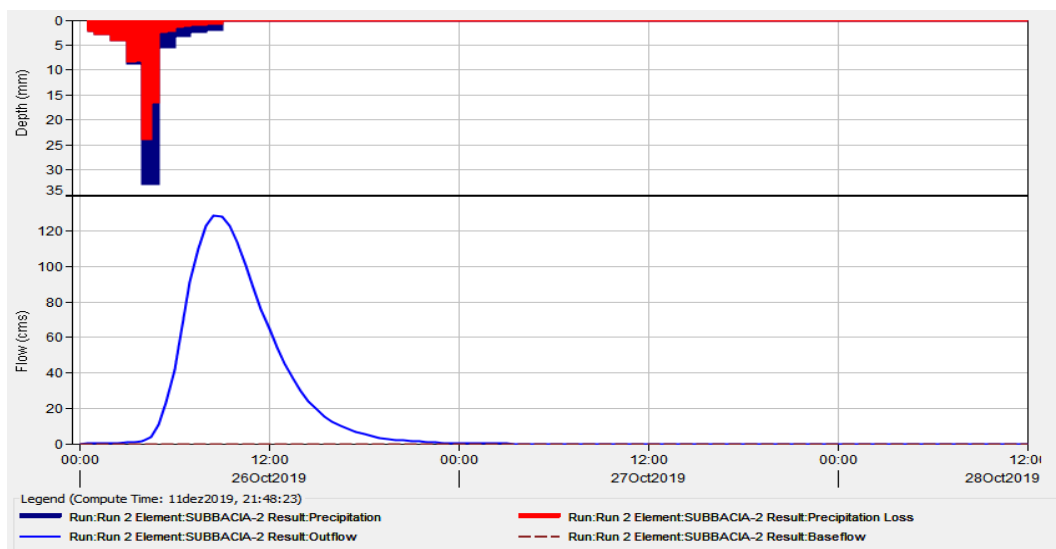
WILL, Robson. **Aplicação do HEC-HMS como contribuição ao estudo dos aportes hídricos na Lagoa da Conceição gerados pelo rio João Gualberto**. 2017. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

APÊNDICES

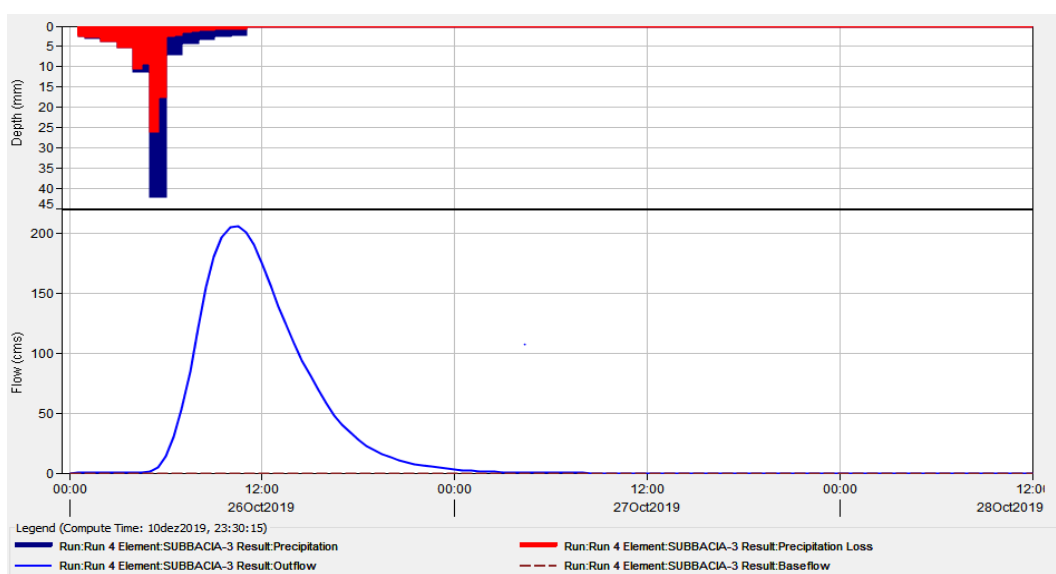
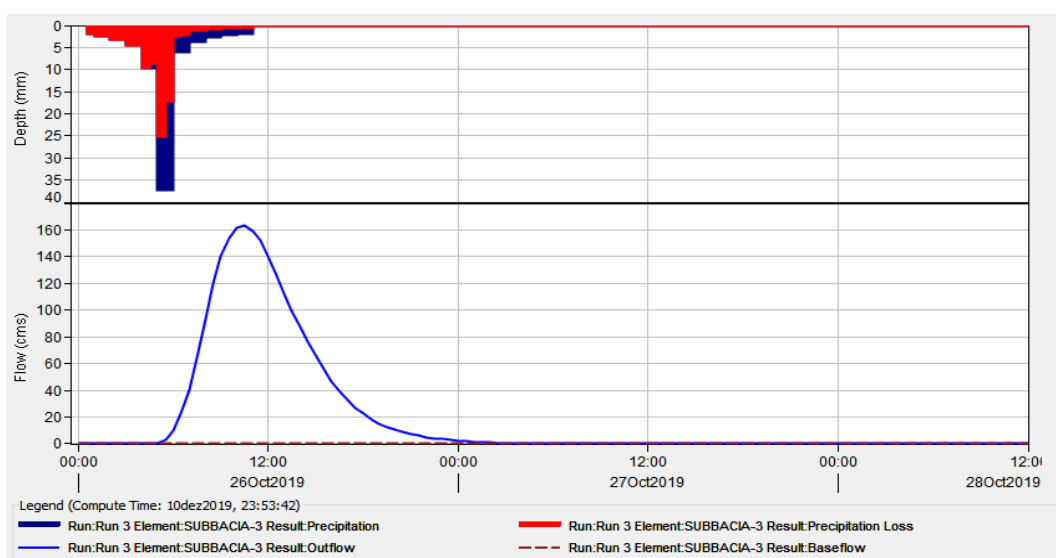
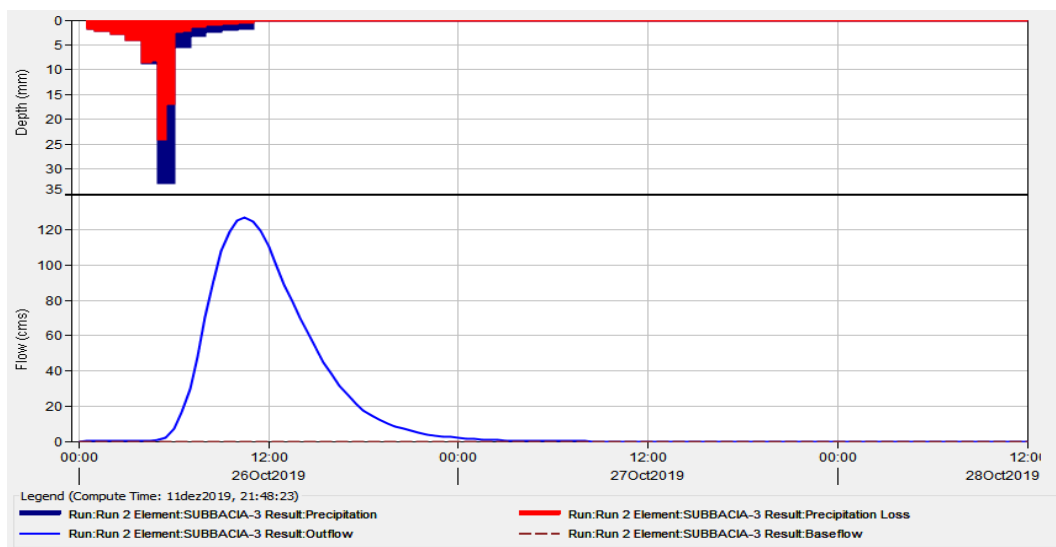
APÊNDICE A - Simulação da sub-bacia 1 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



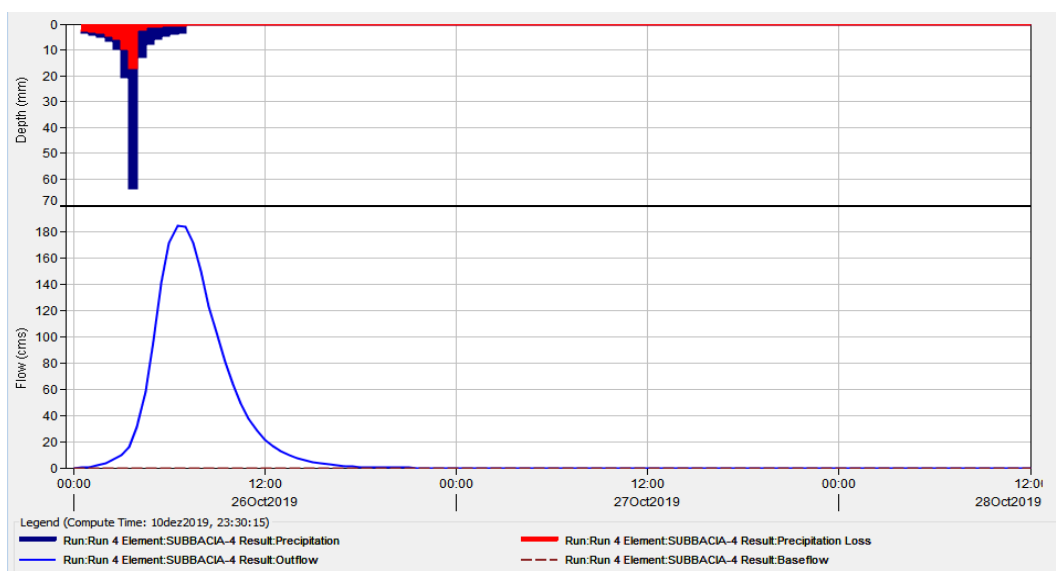
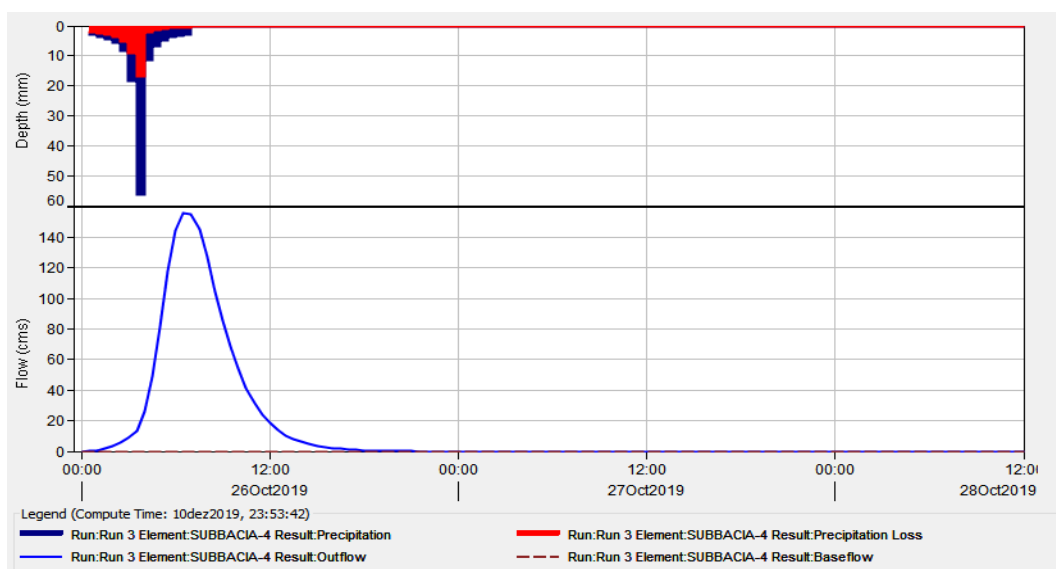
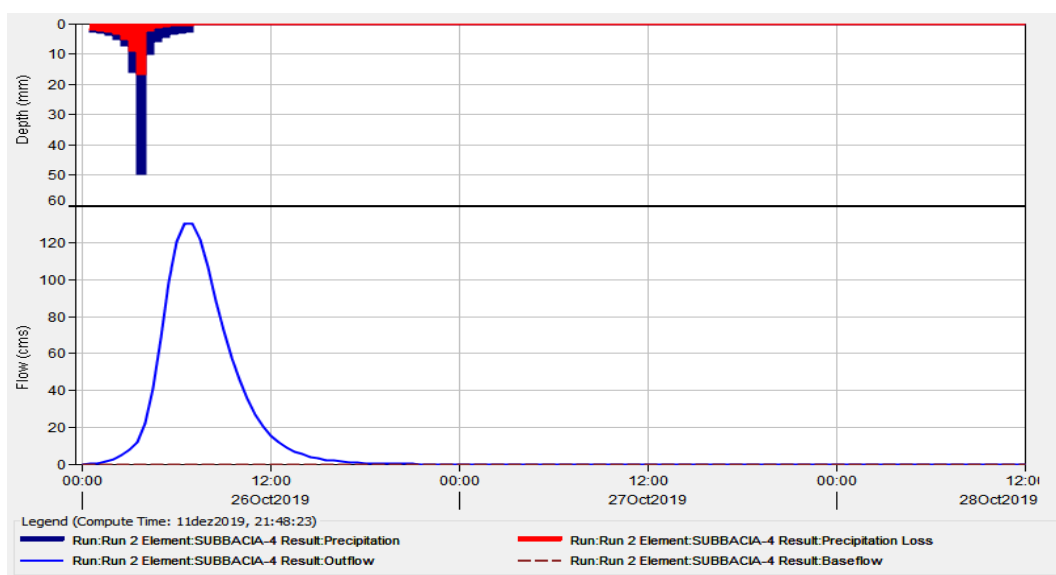
APÊNDICE B - Simulação da sub-bacia 2 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



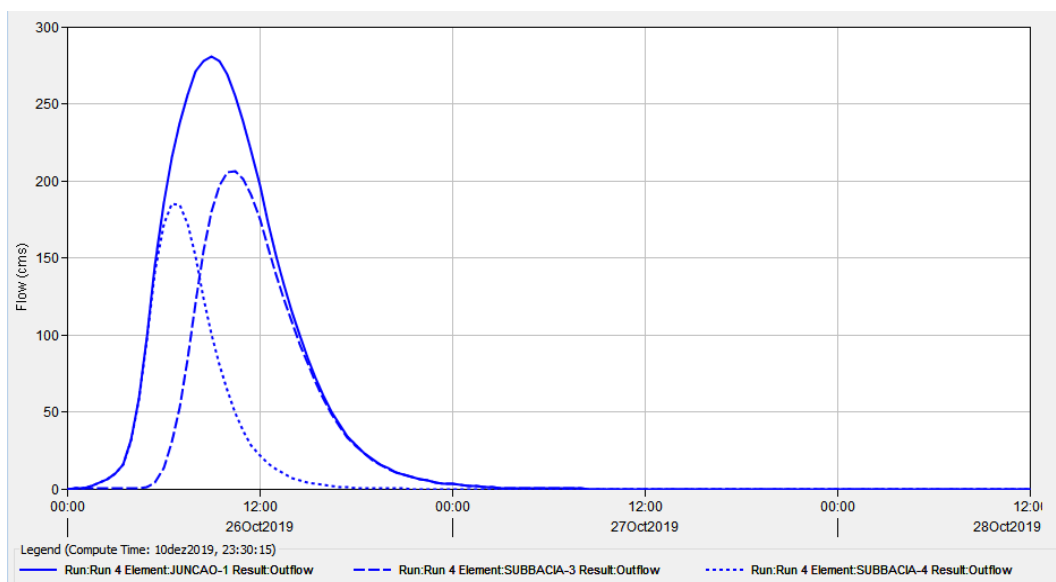
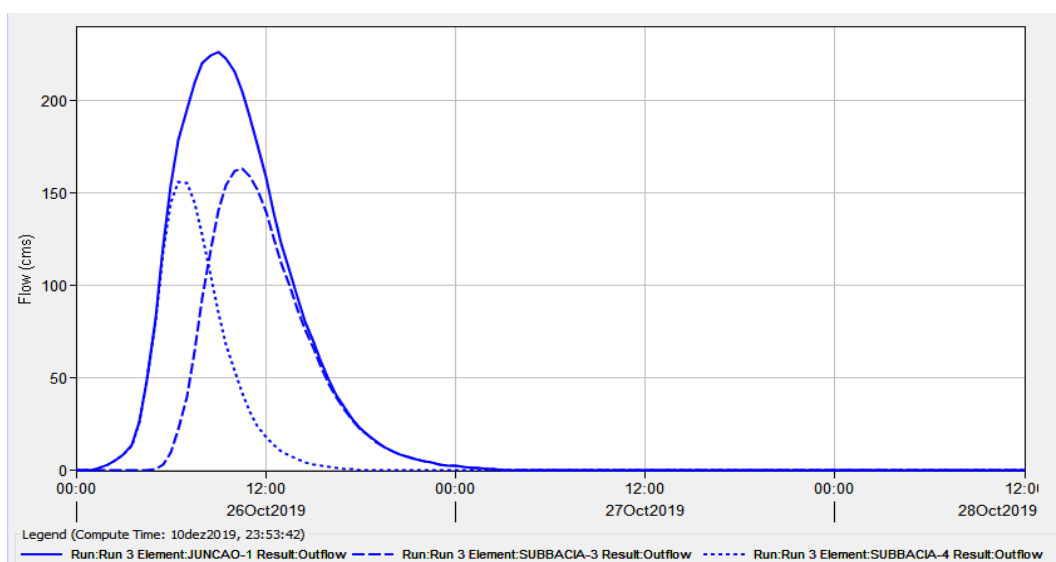
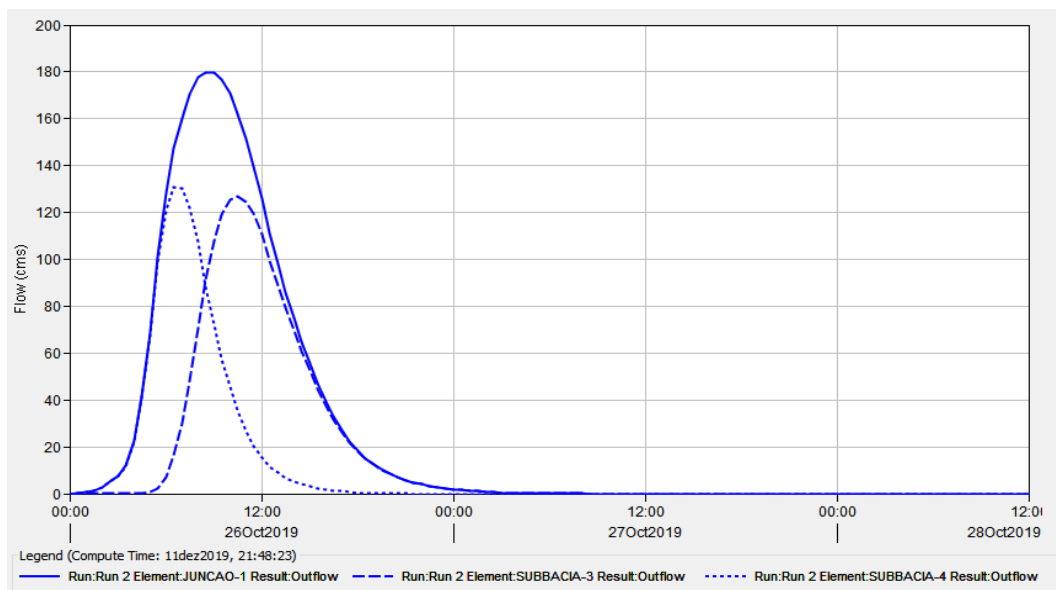
APÊNDICE C - Simulação da sub-bacia 3 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



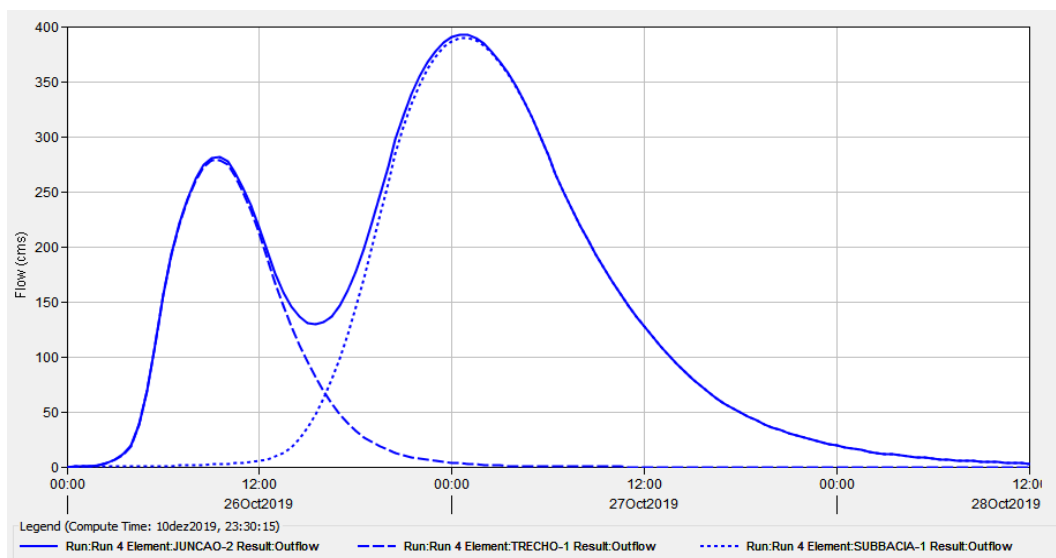
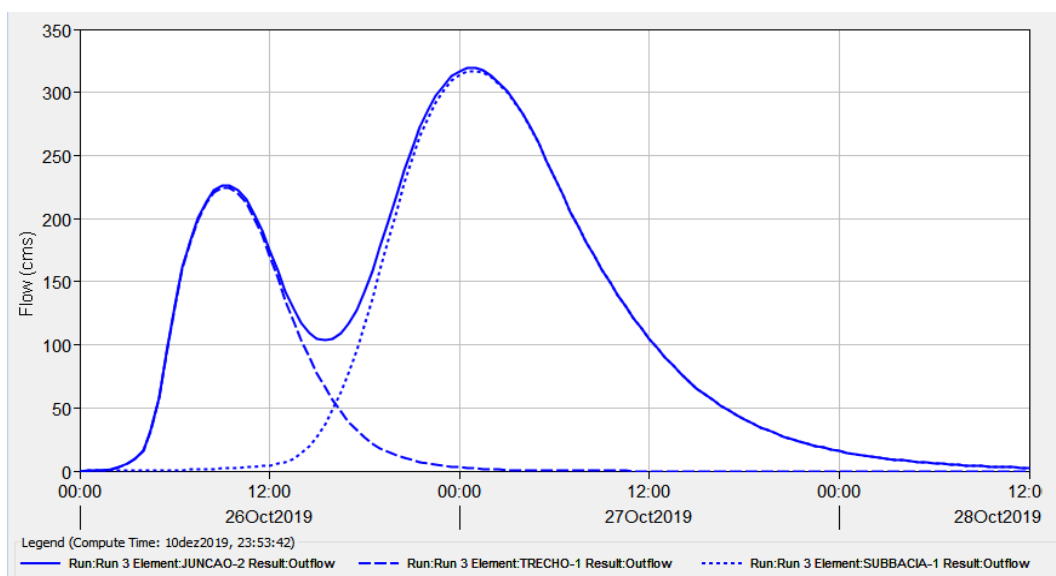
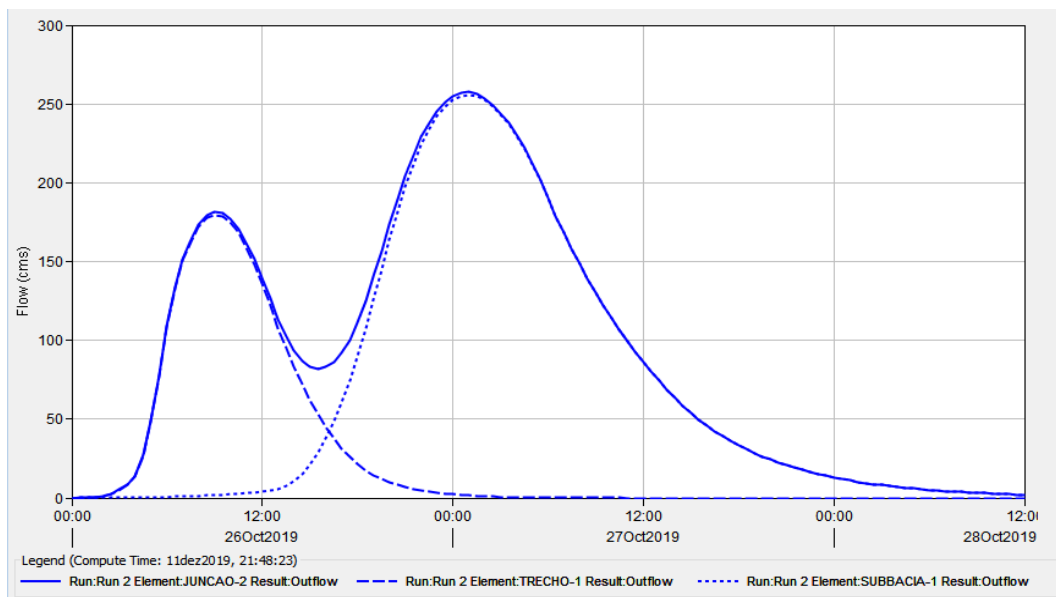
APÊNDICE D - Simulação da sub-bacia 4 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



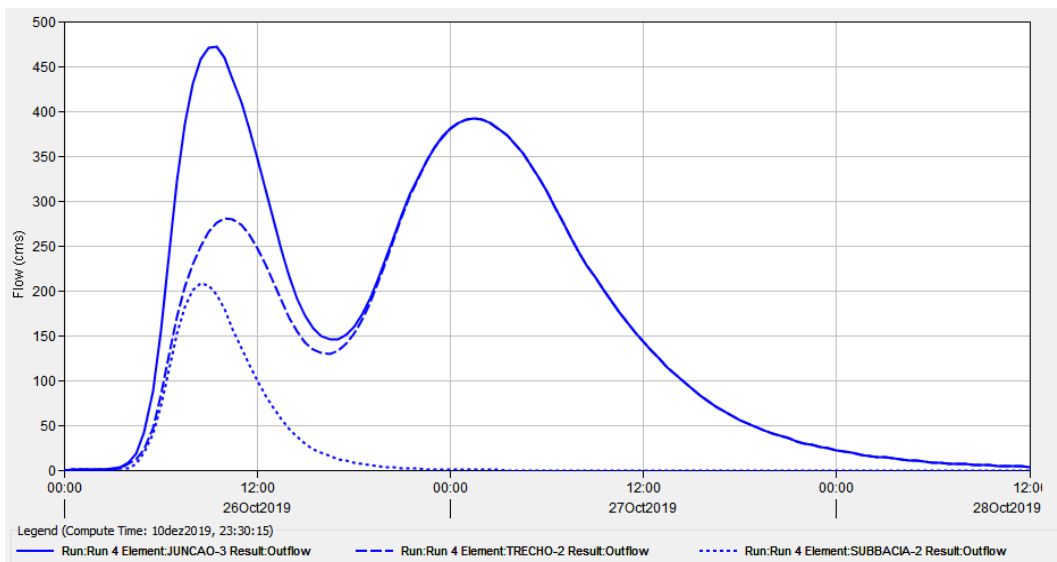
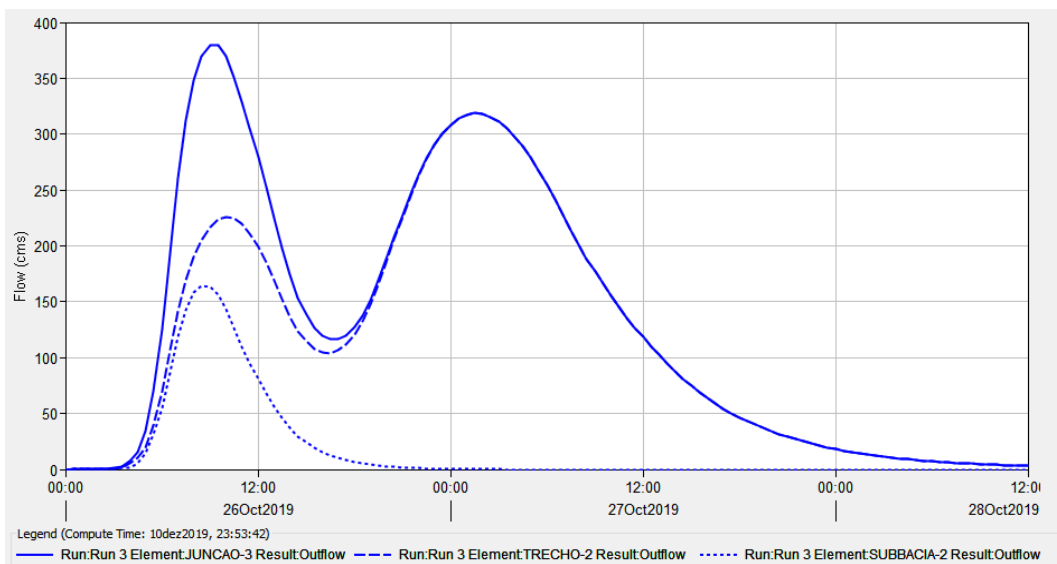
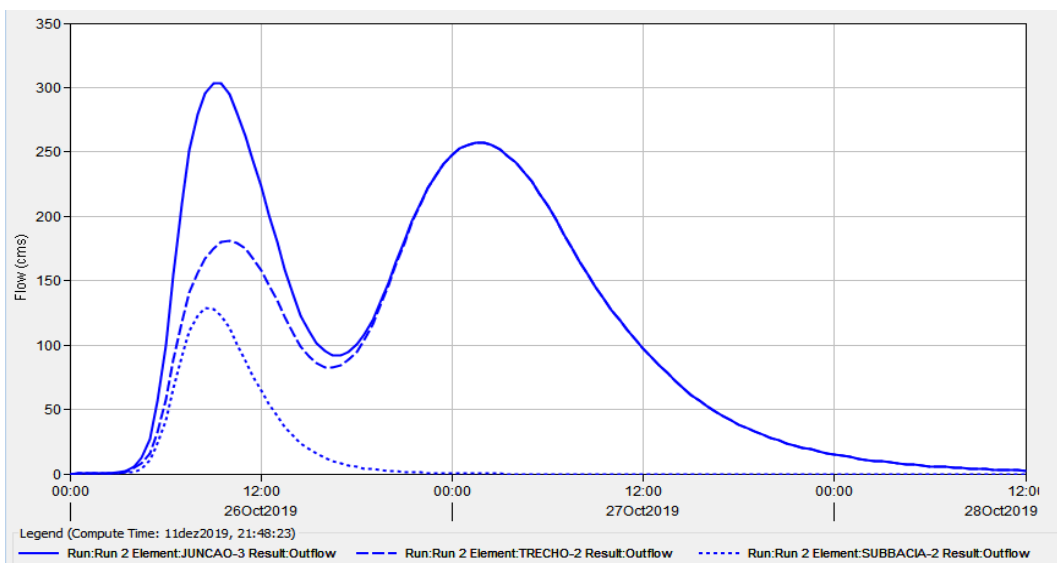
APÊNDICE E - Hidrograma da junção 1 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



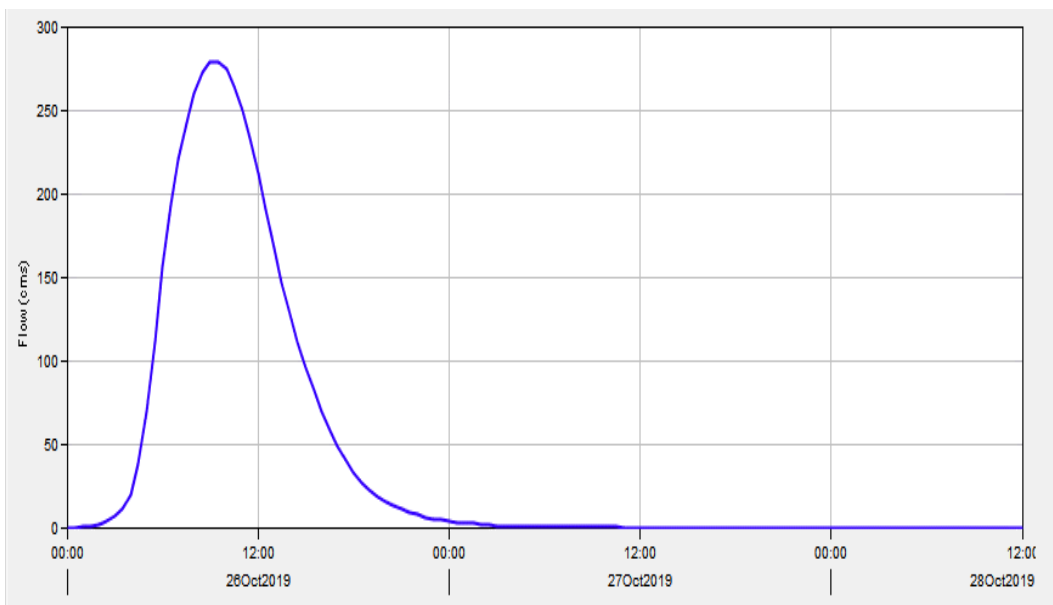
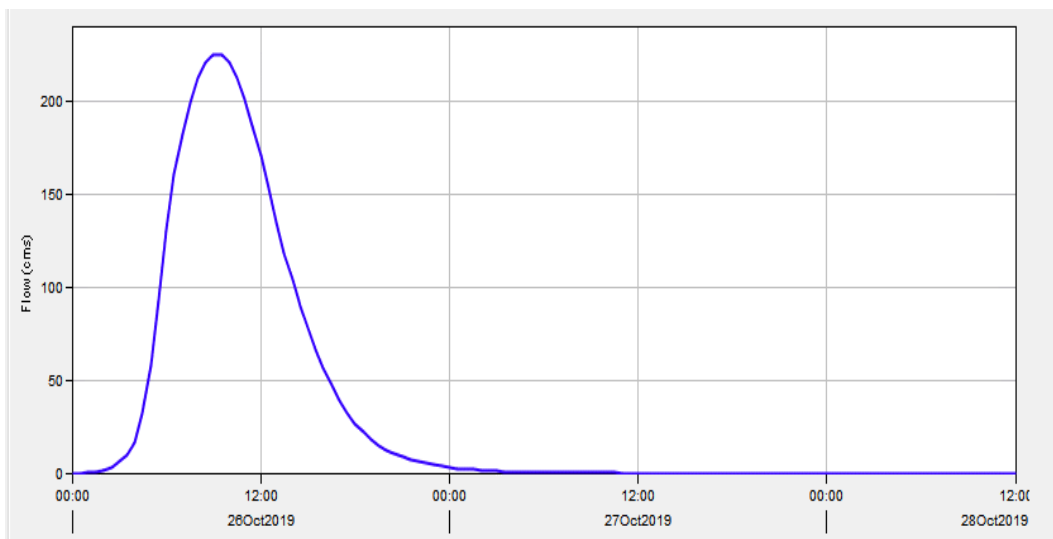
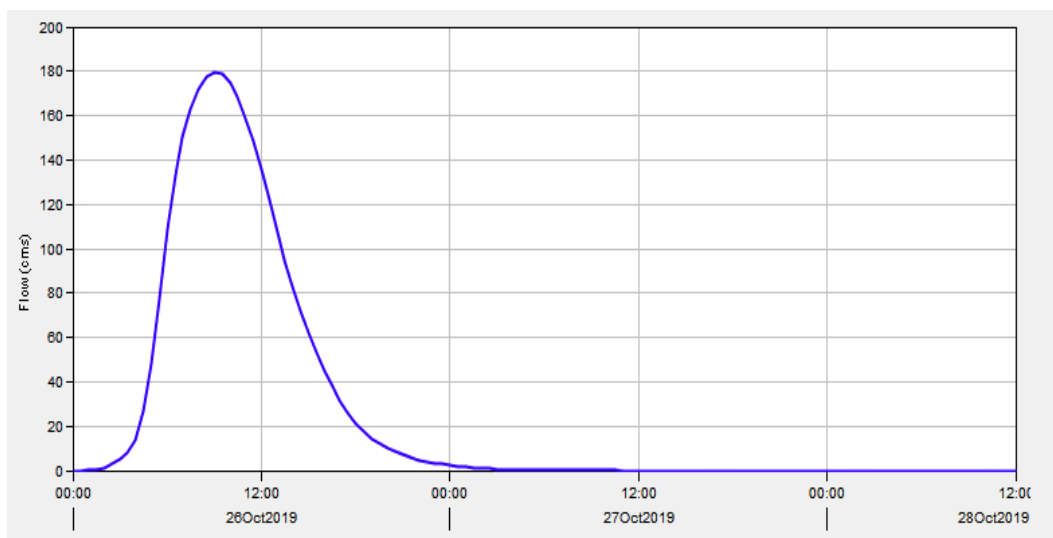
APÊNDICE F - Hidrograma da junção 2 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



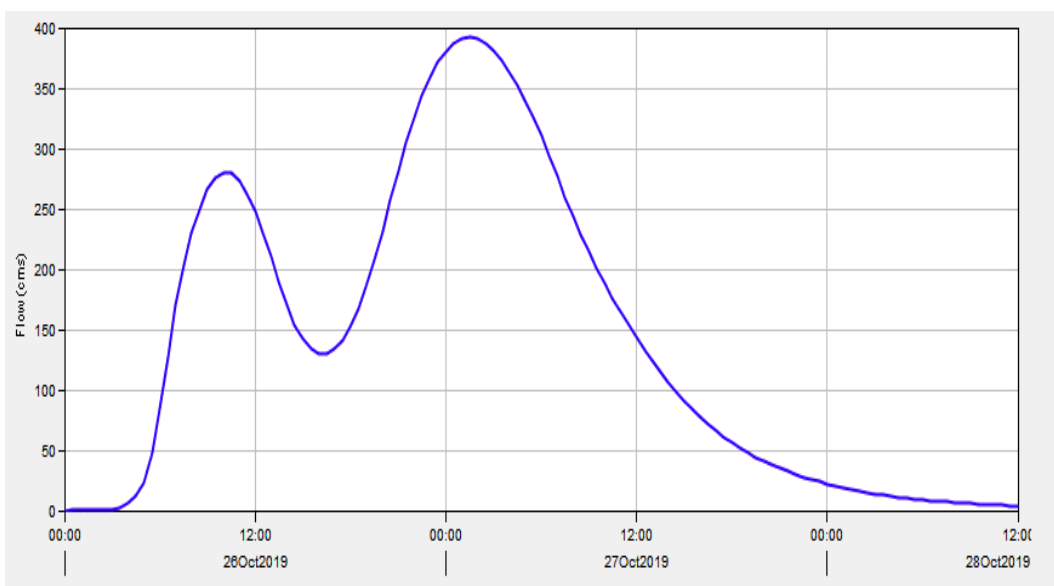
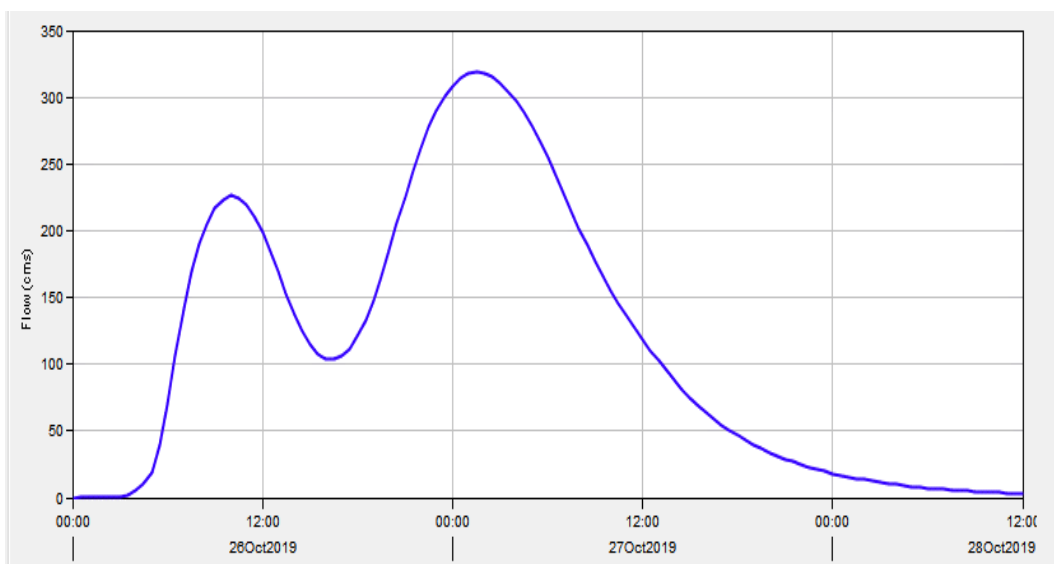
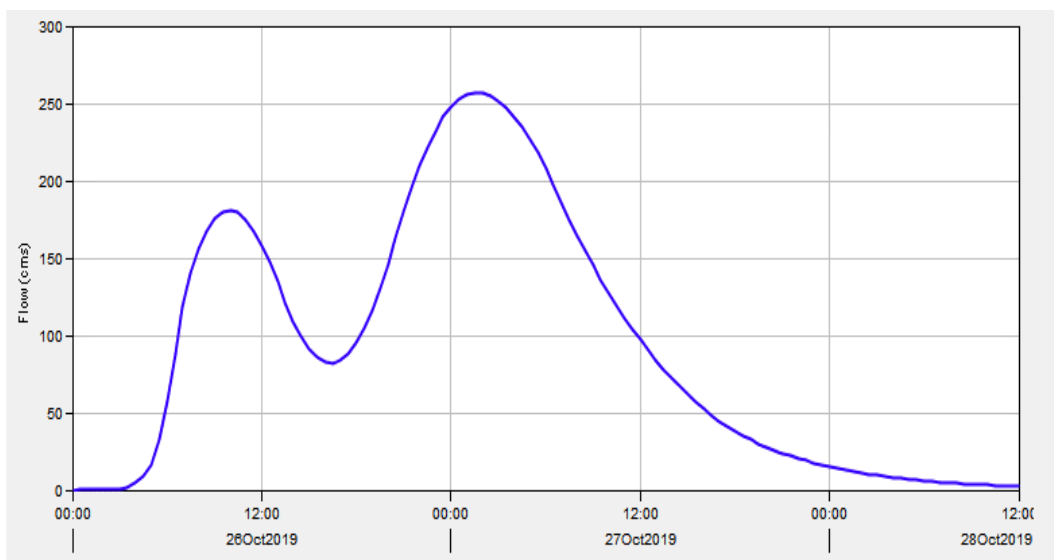
APÊNDICE G - Hidrograma da junção 3 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



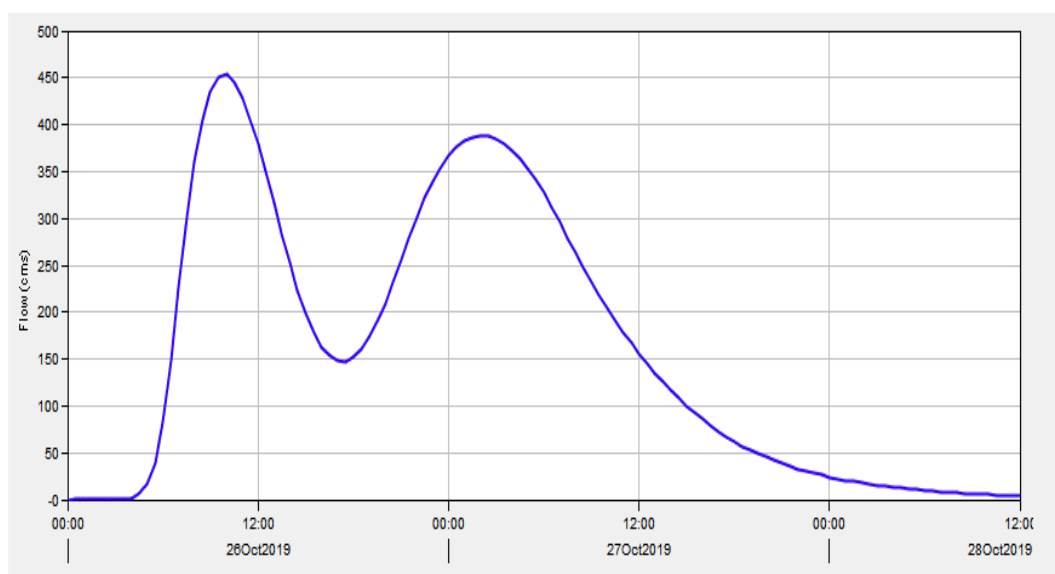
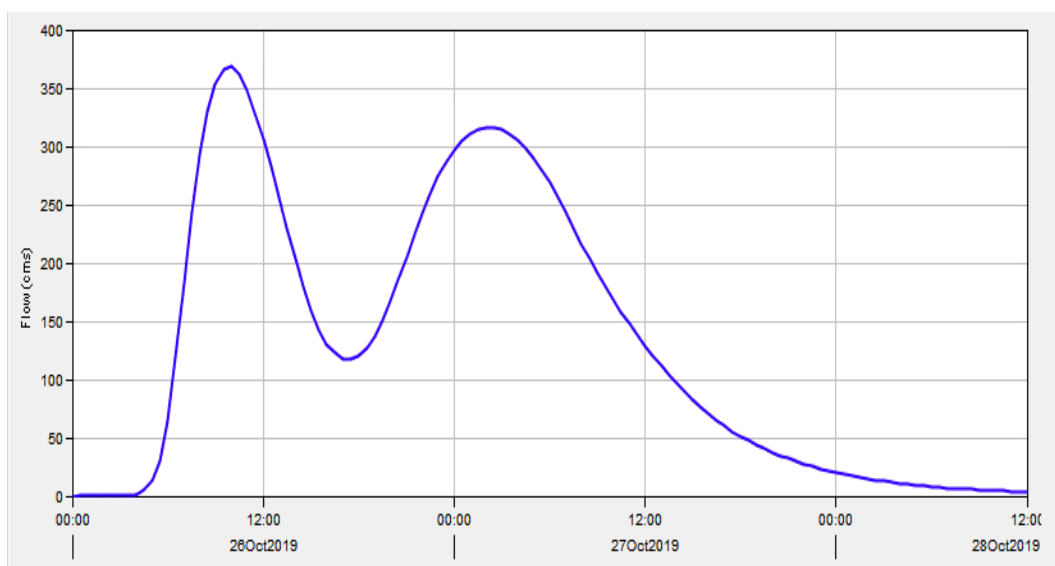
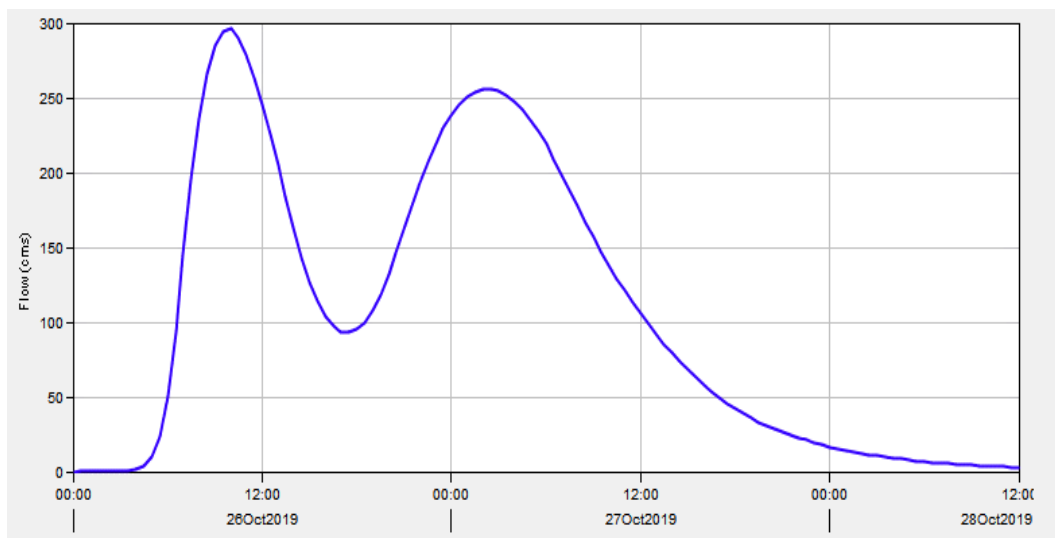
APÊNDICE H - Hidrograma do trecho 1 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



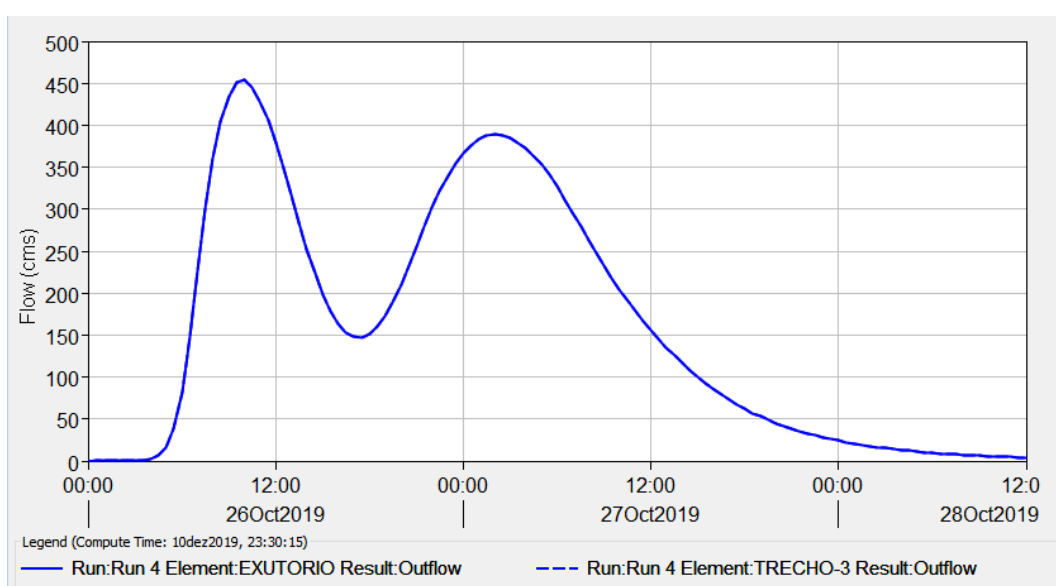
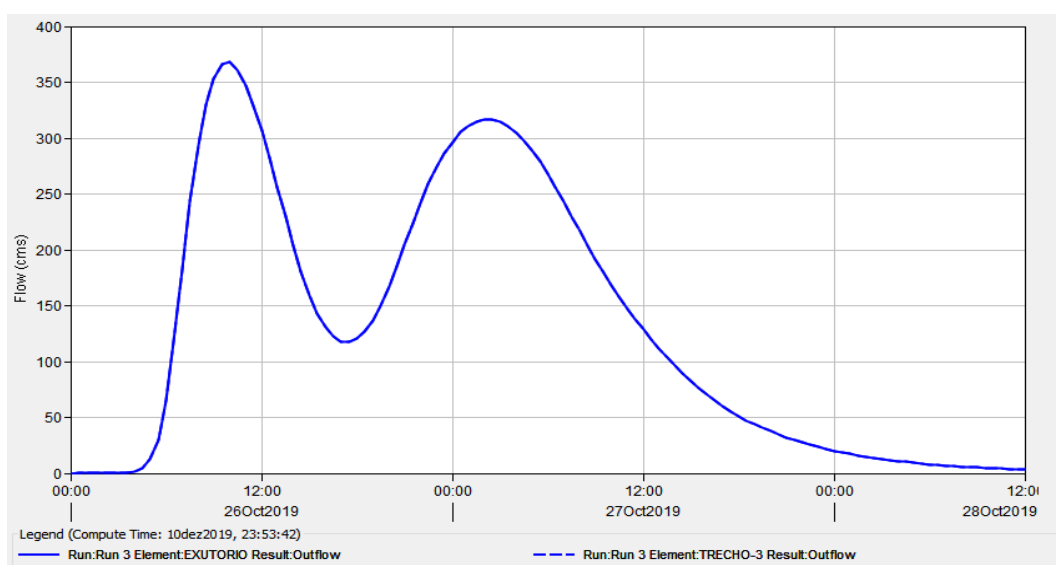
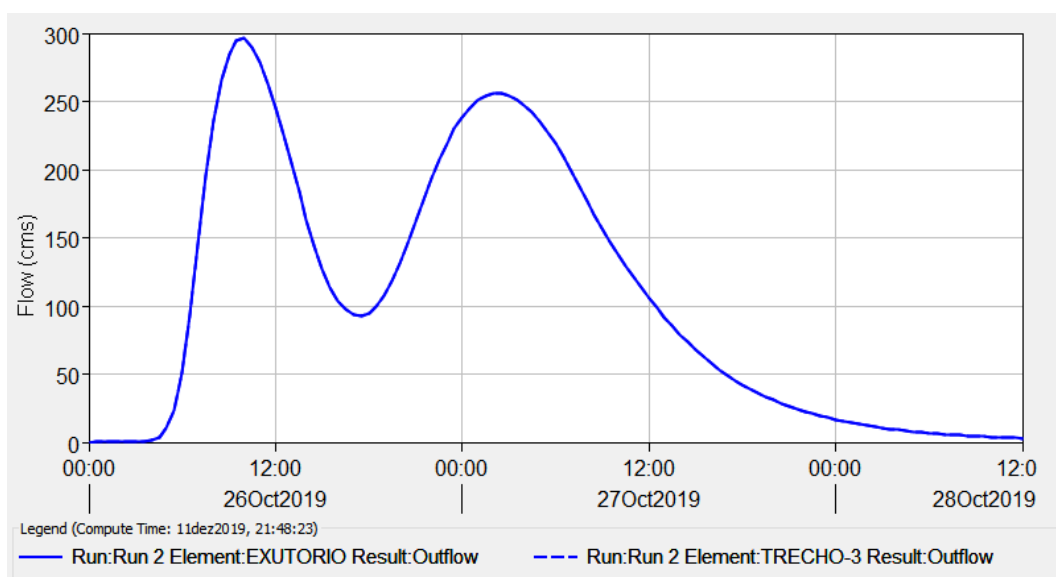
APÊNDICE I - Hidrograma do trecho 2 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



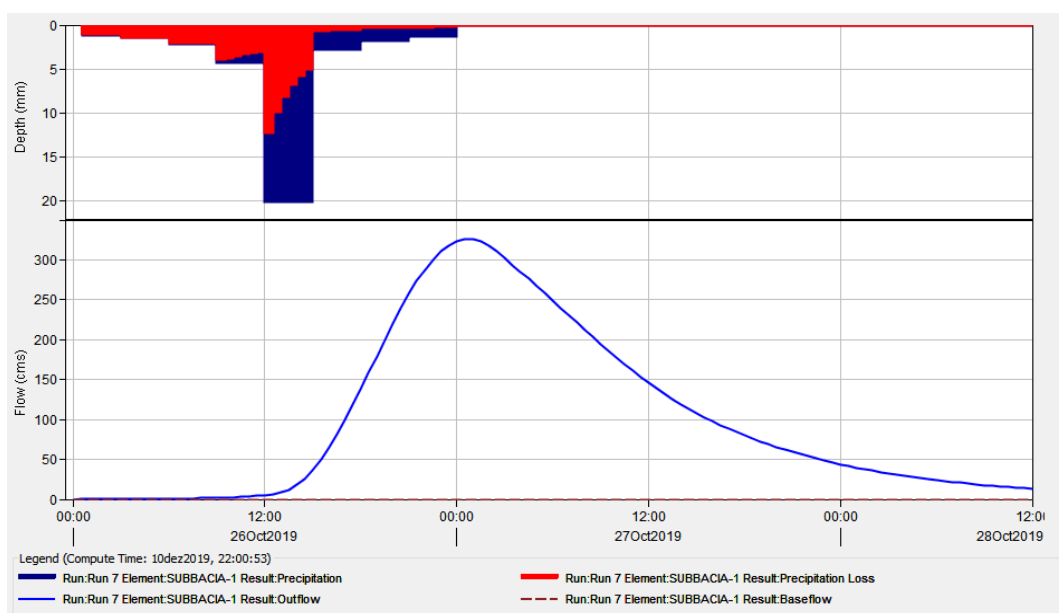
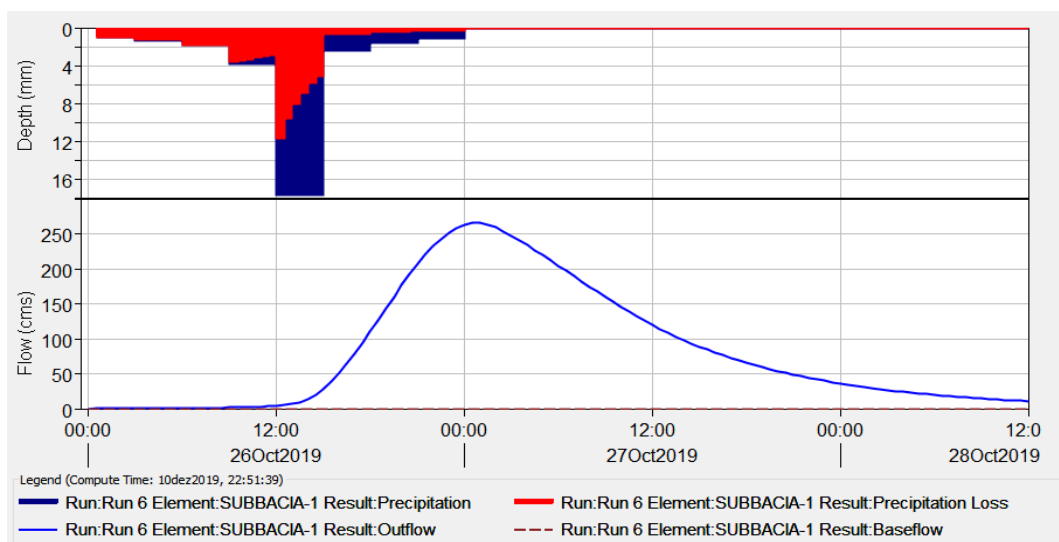
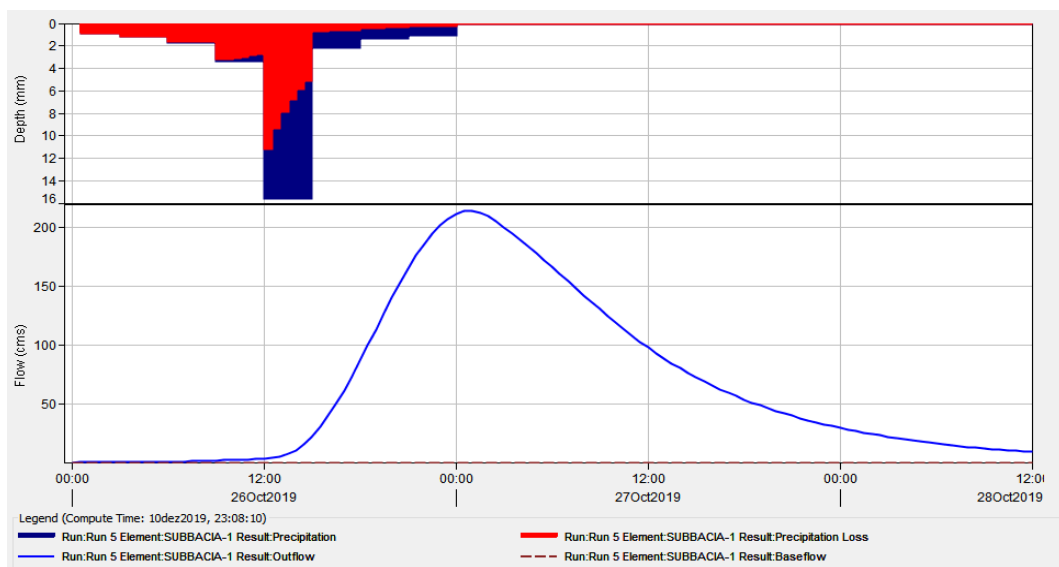
APÊNDICE J - Hidrograma do trecho 3 pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



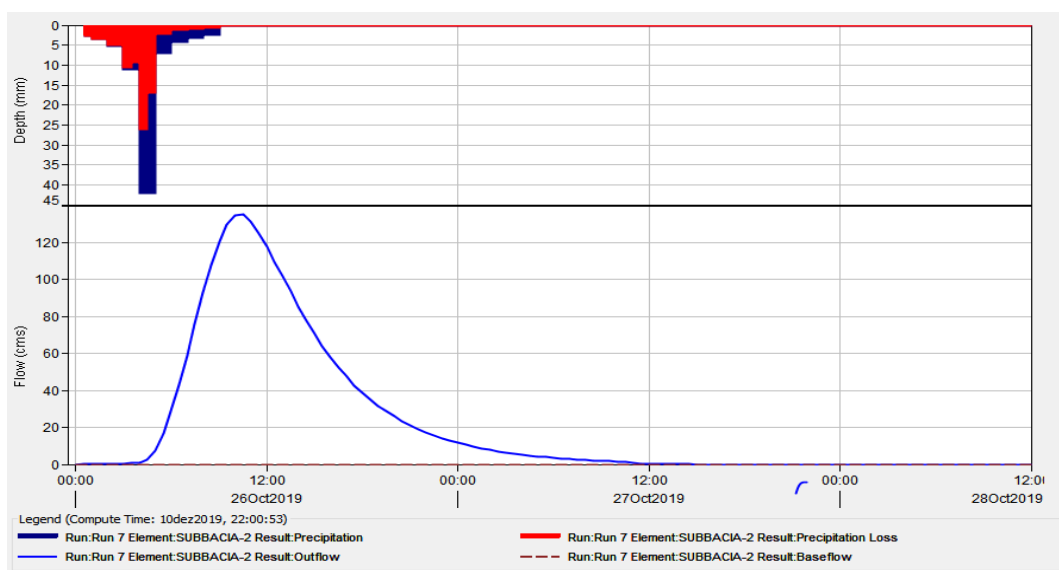
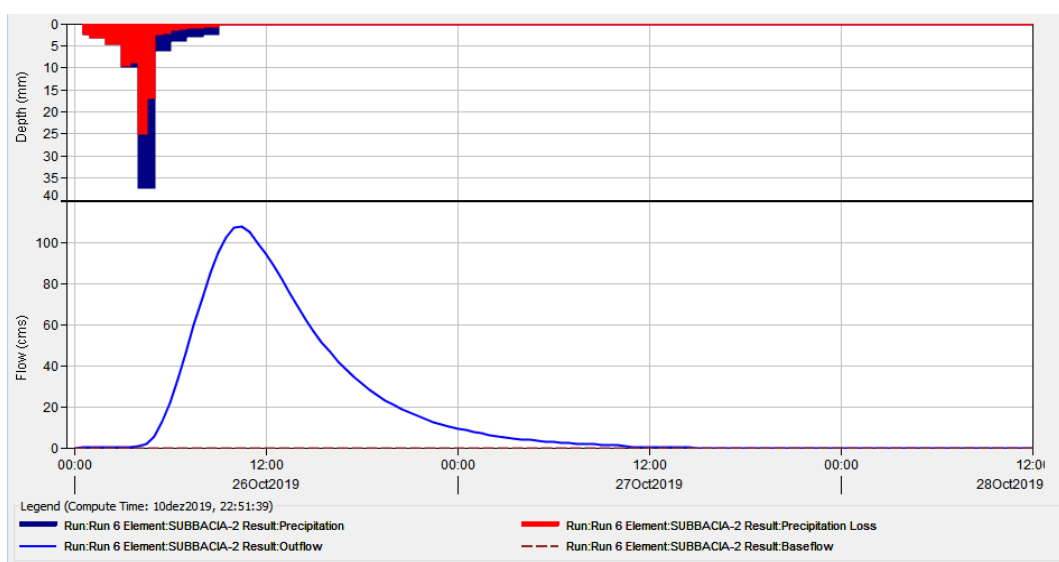
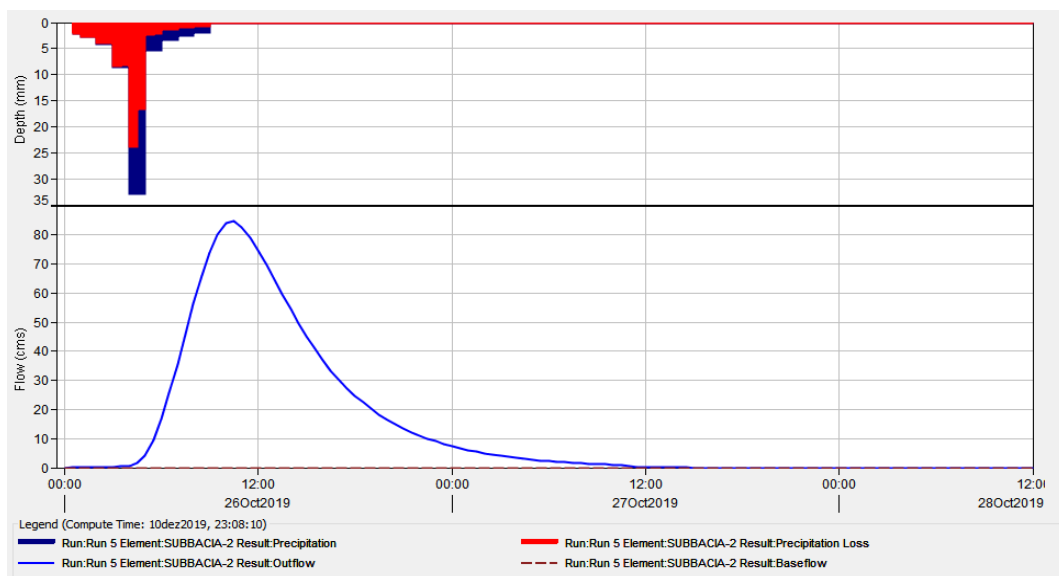
APÊNDICE K - Hidrograma do exutório pelo método SCS com tempos de retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



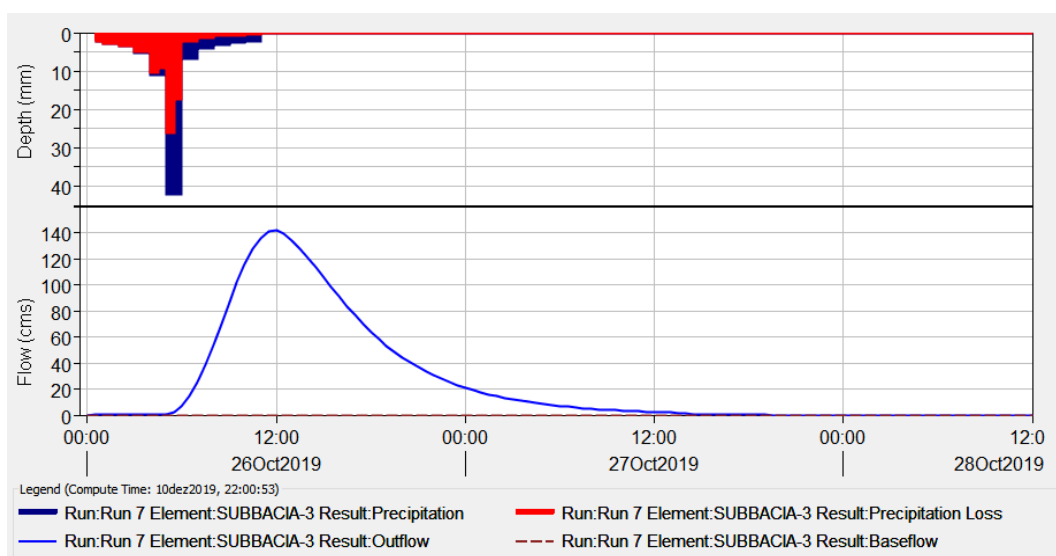
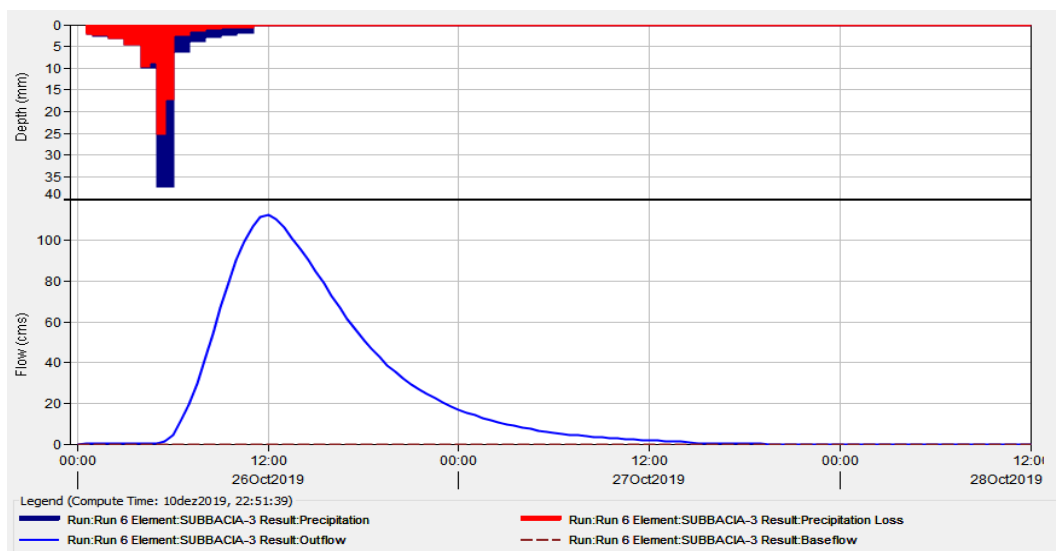
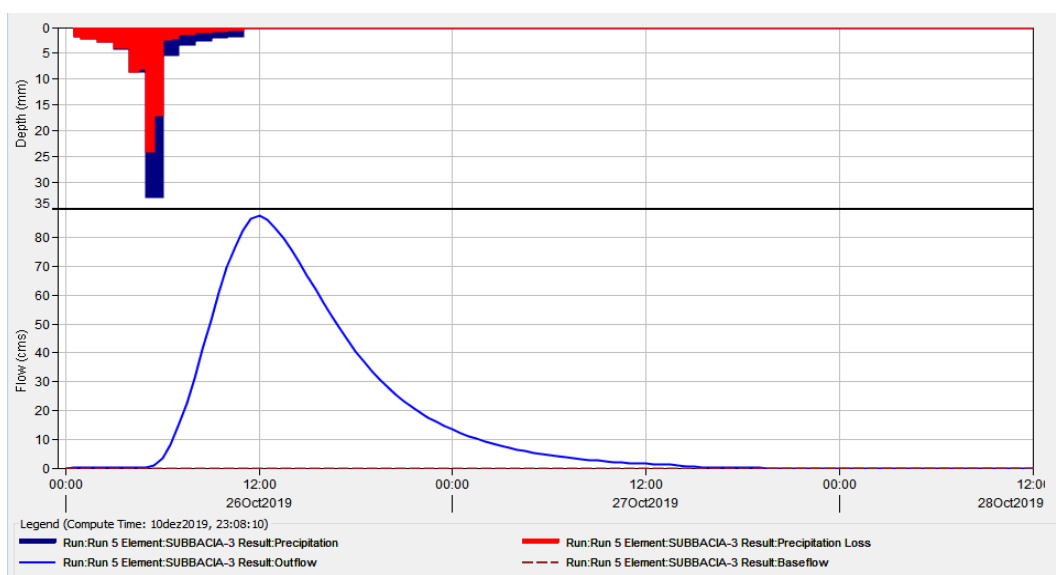
APÊNDICE L - Simulação da sub-bacia 1 pelo método de Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



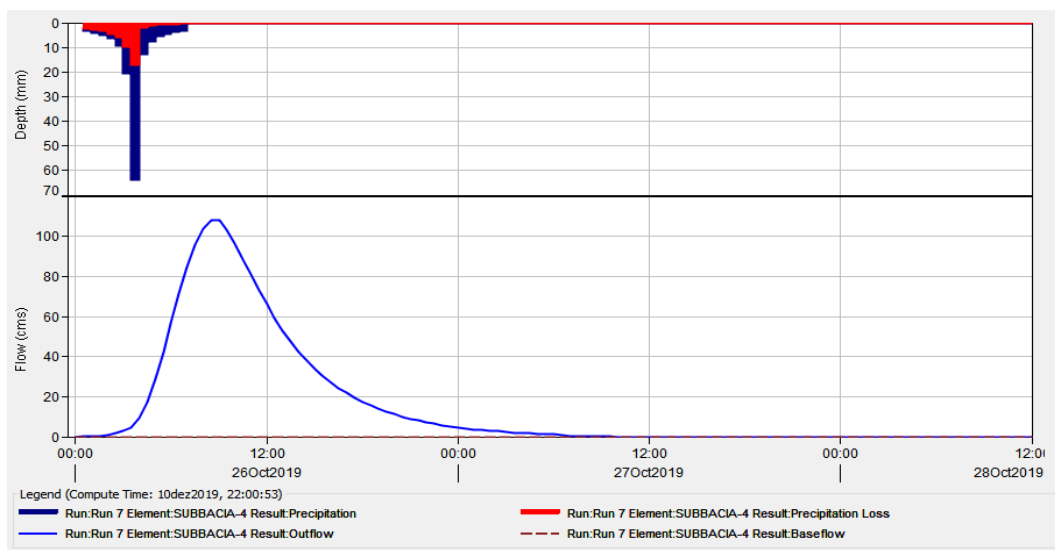
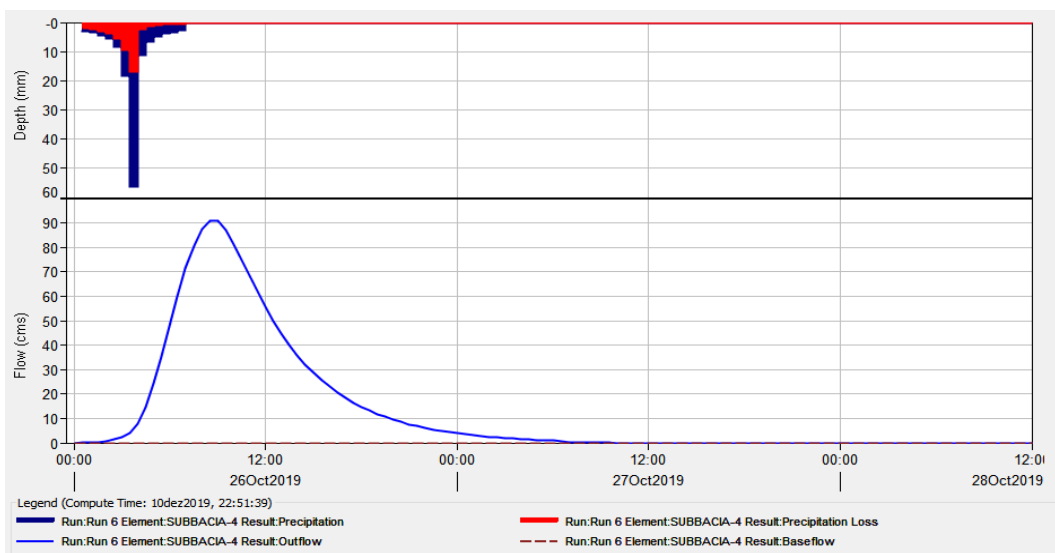
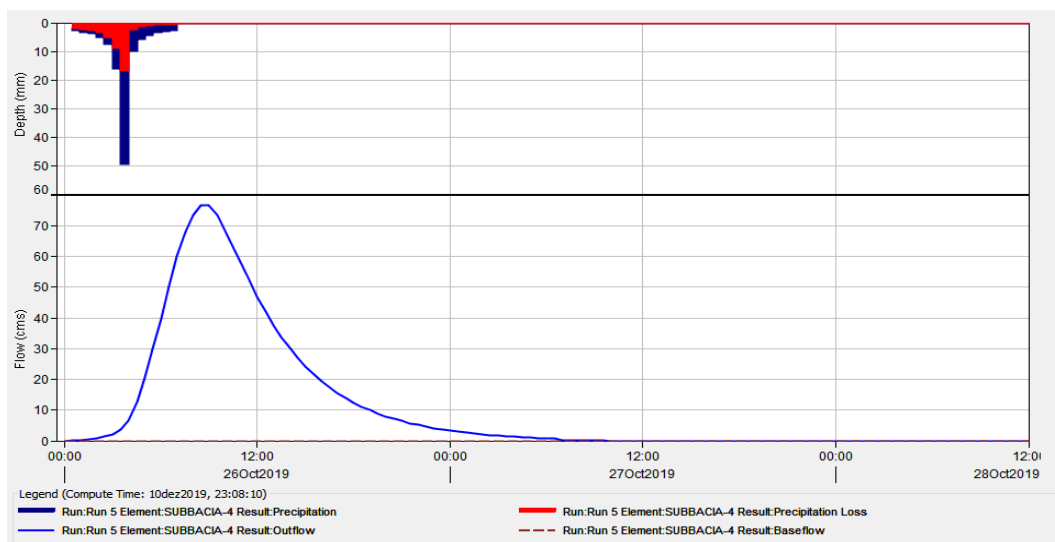
APÊNDICE M - Simulação da sub-bacia 2 pelo método de Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



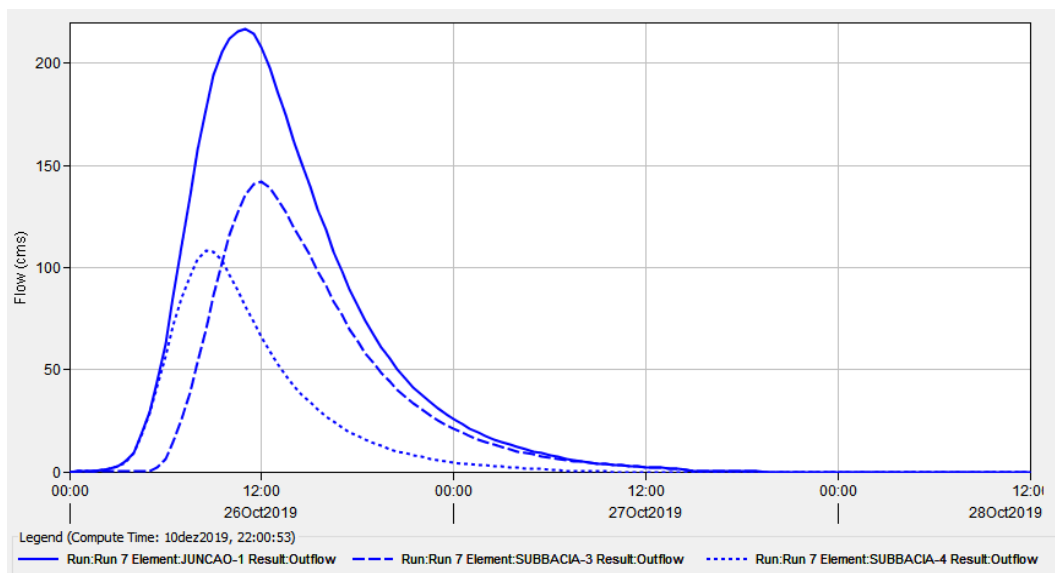
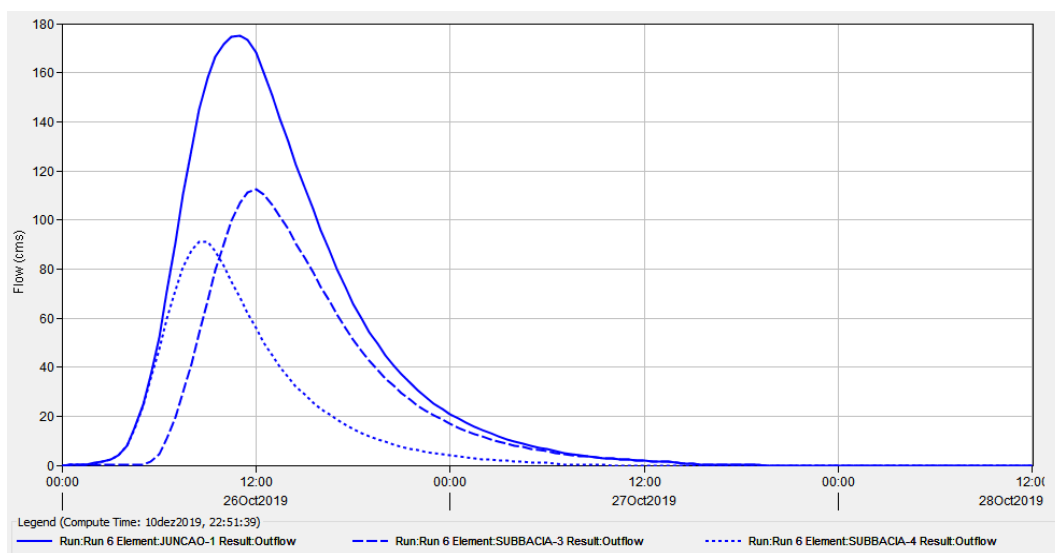
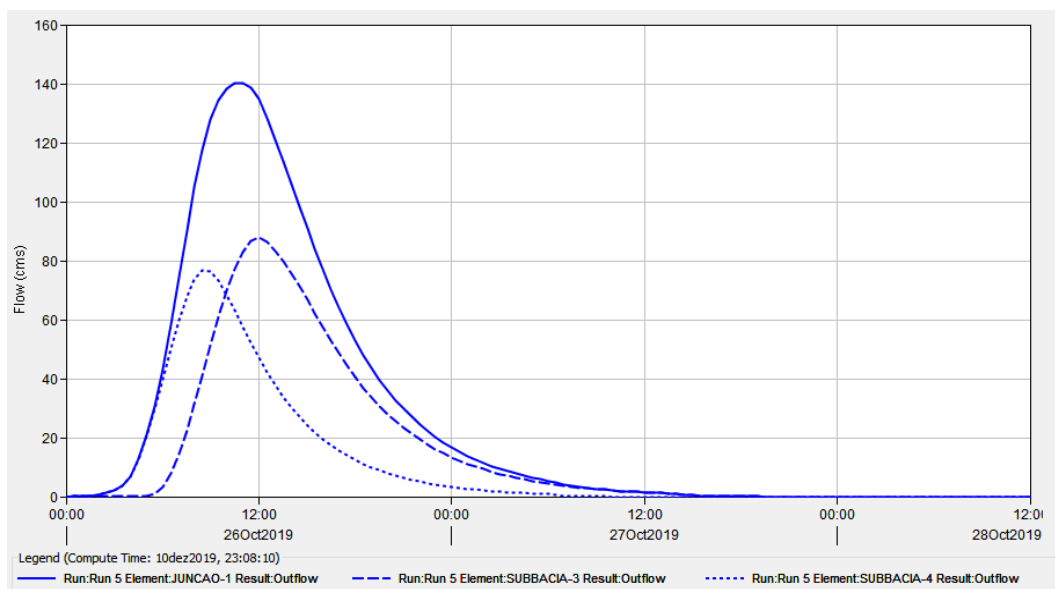
APÊNDICE N - Simulação da sub-bacia 3 pelo método de Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



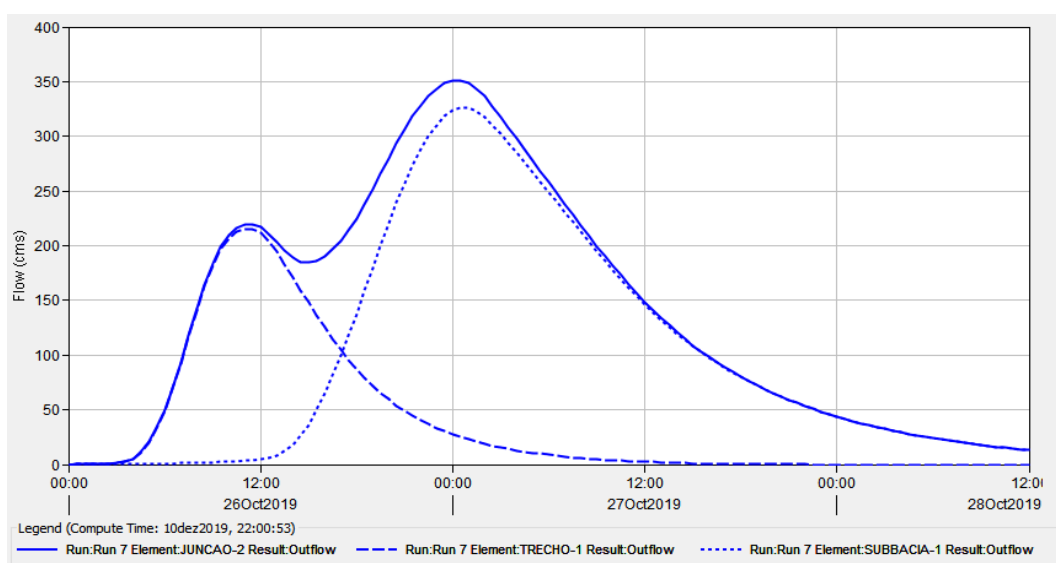
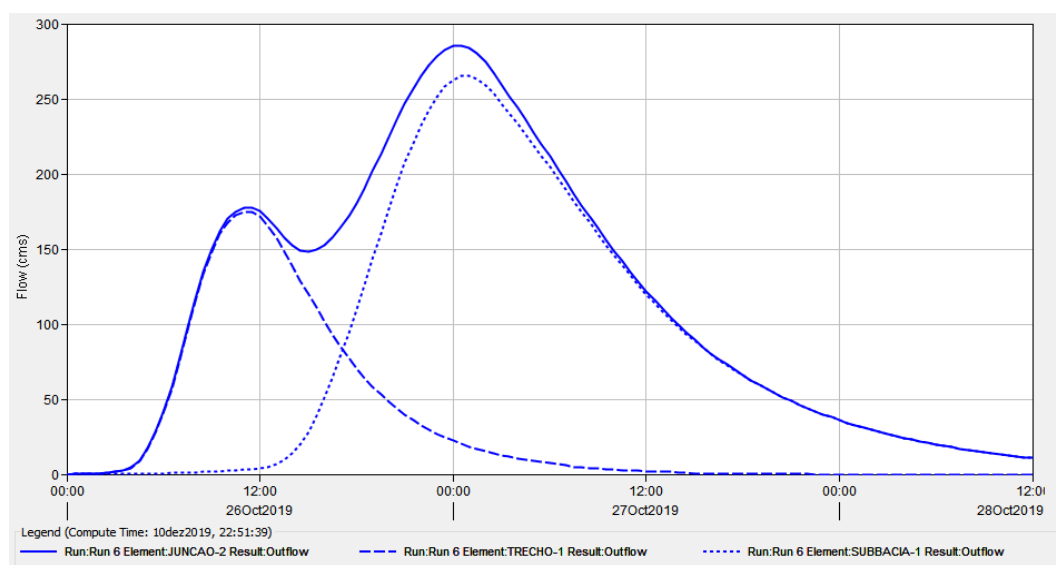
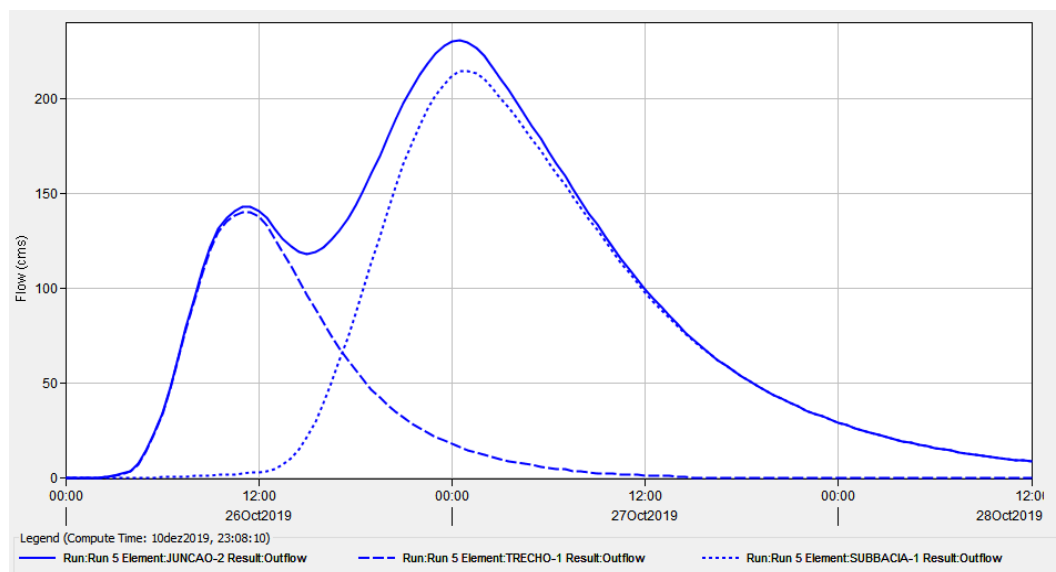
APÊNDICE O - Simulação da sub-bacia 4 pelo método de Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



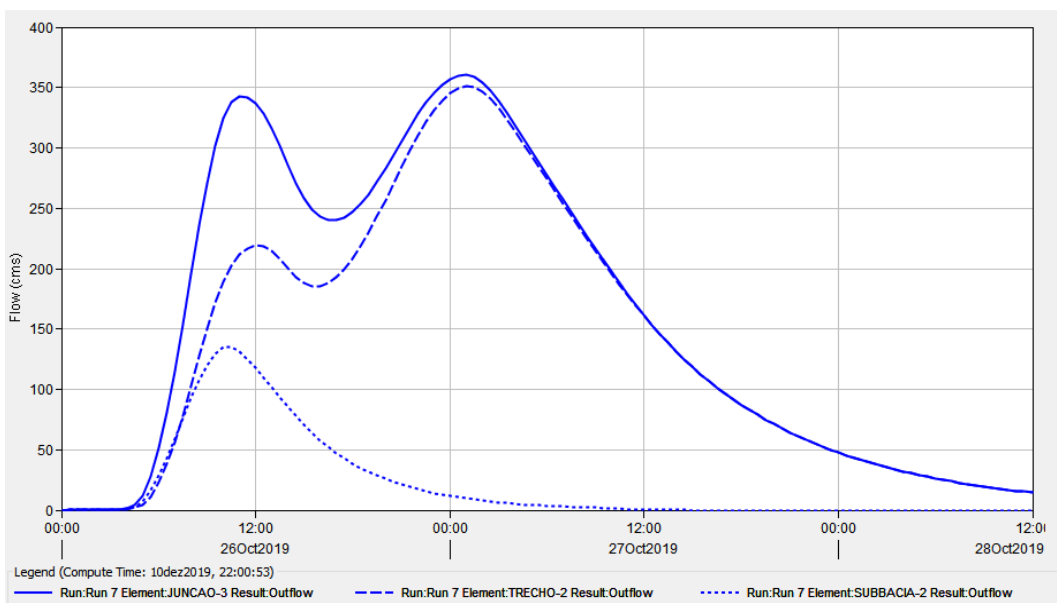
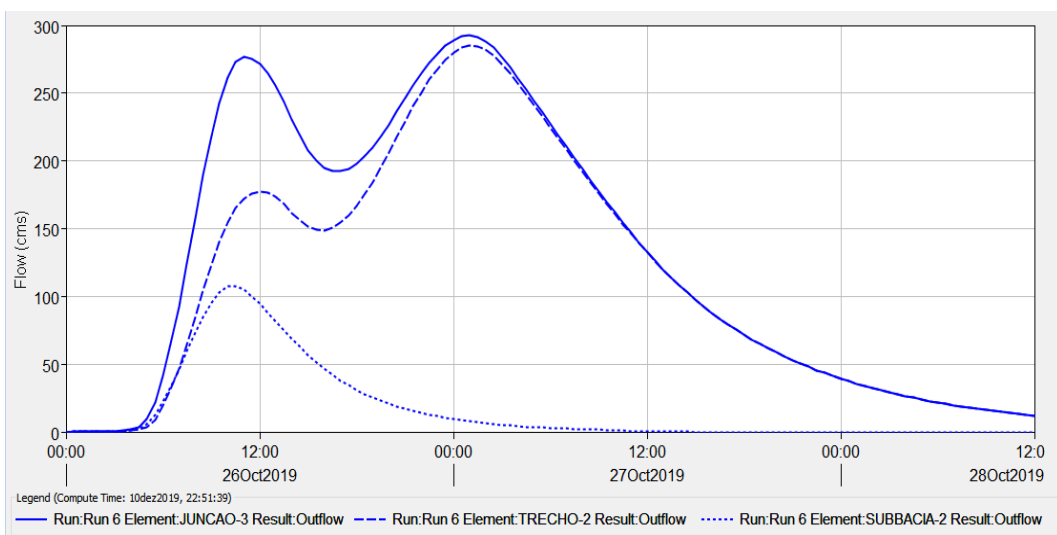
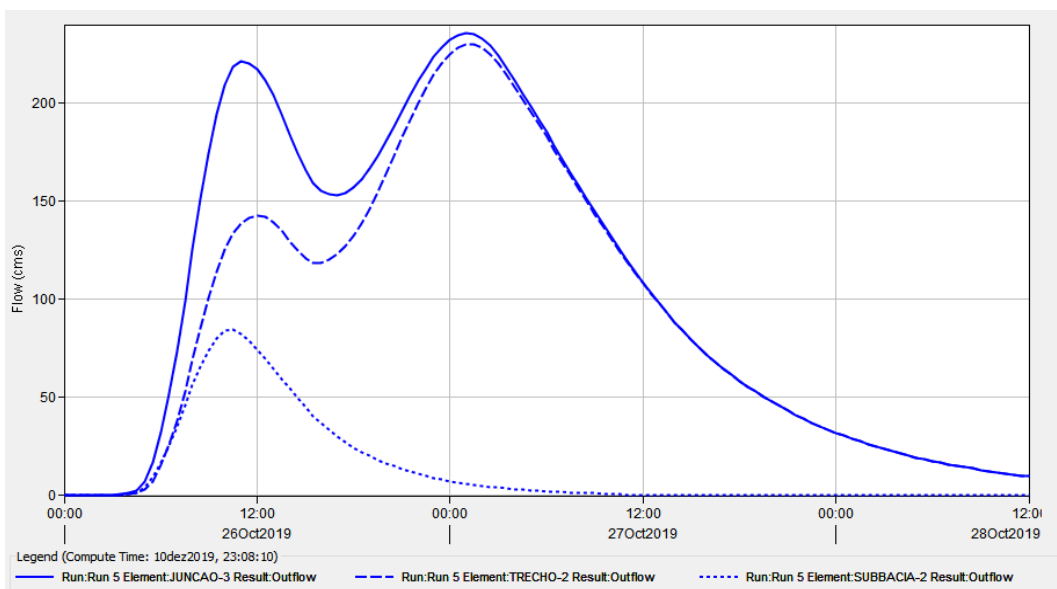
APÊNDICE P - Hidrograma da junção 1 pelo método Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



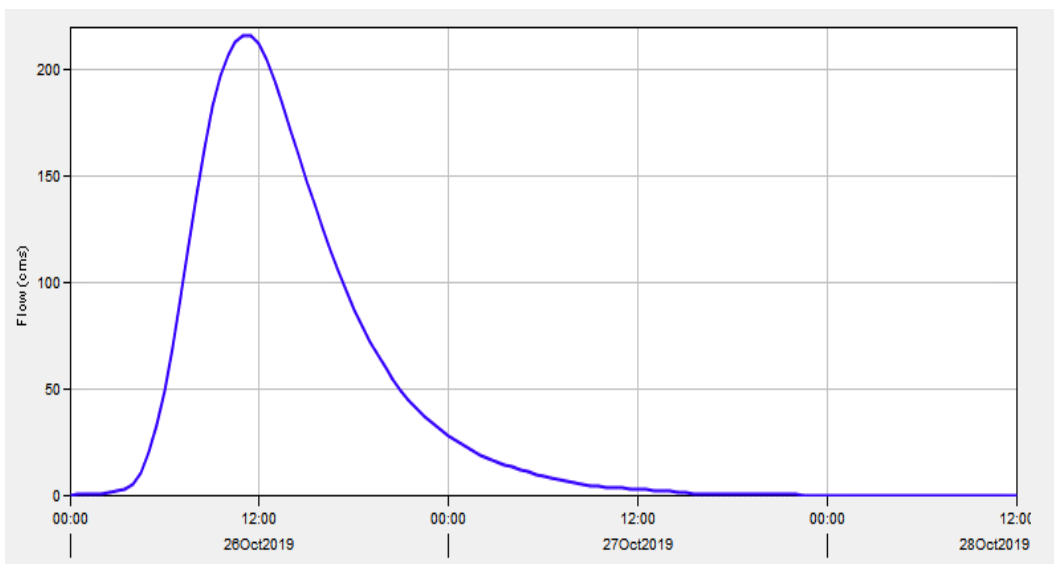
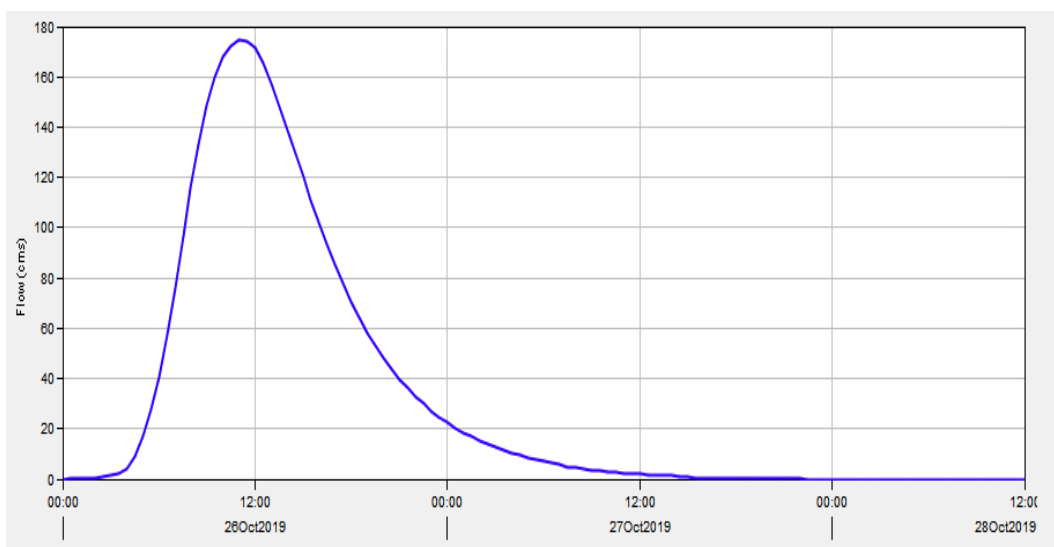
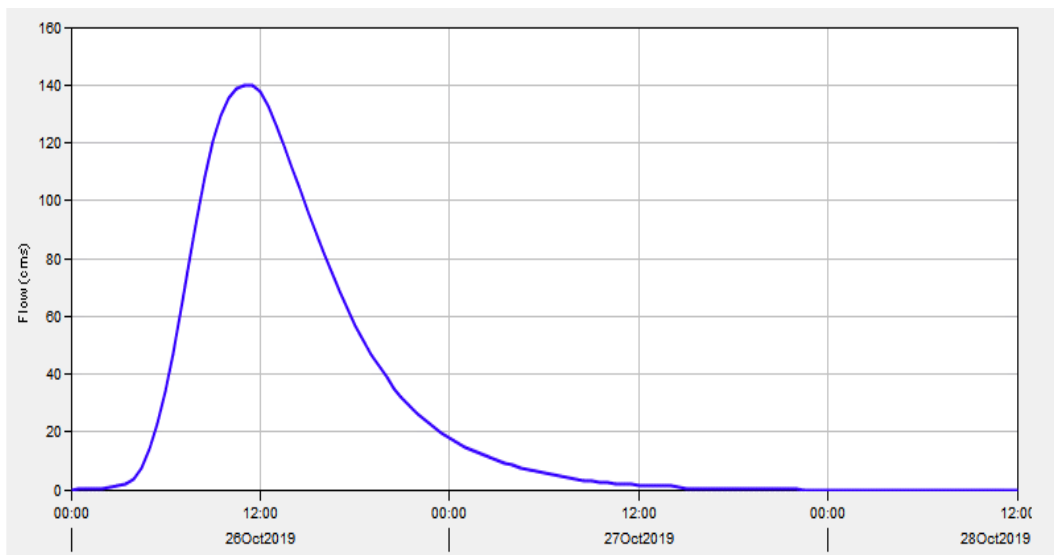
APÊNDICE Q - Hidrograma da junção 2 pelo método Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



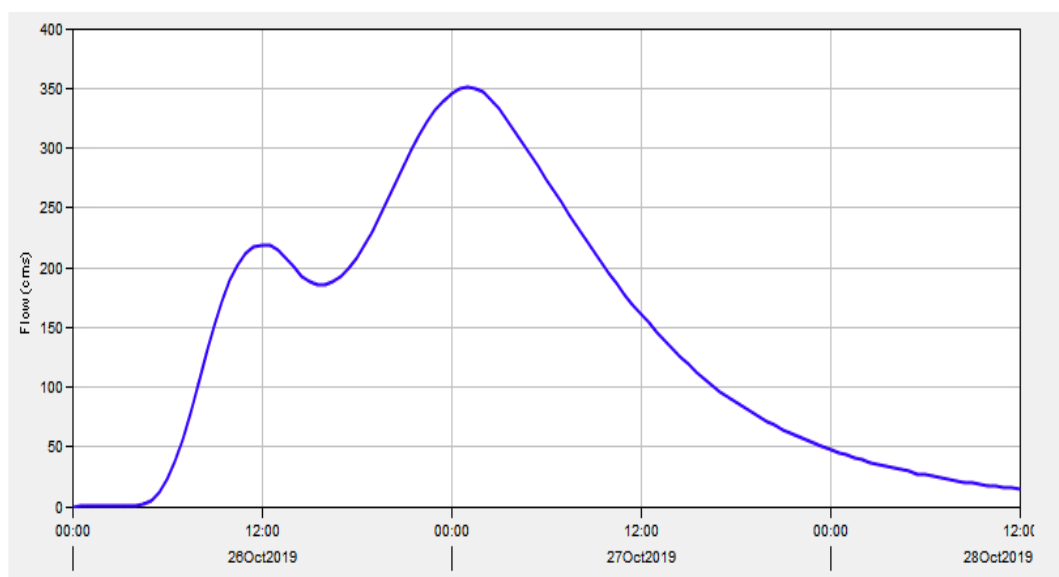
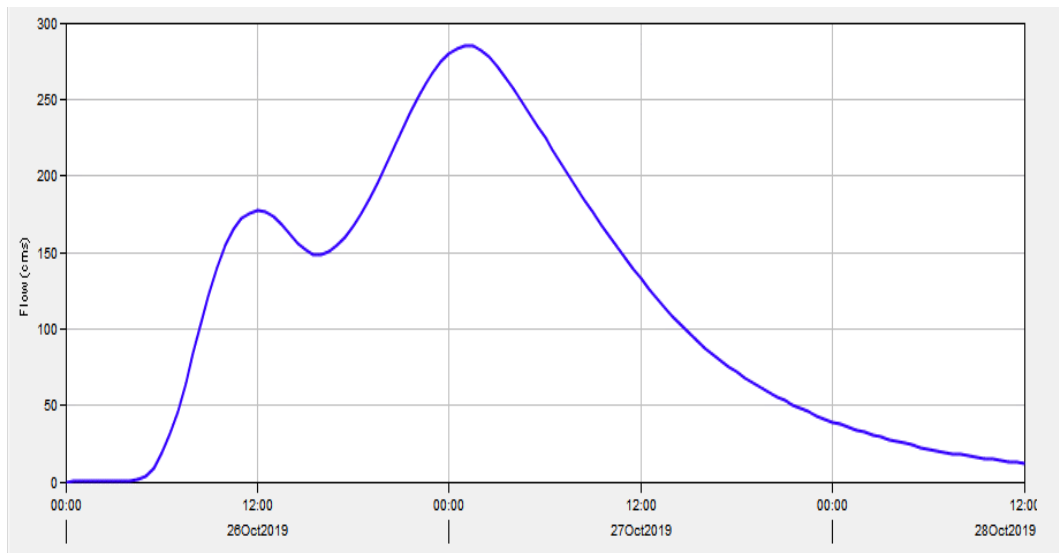
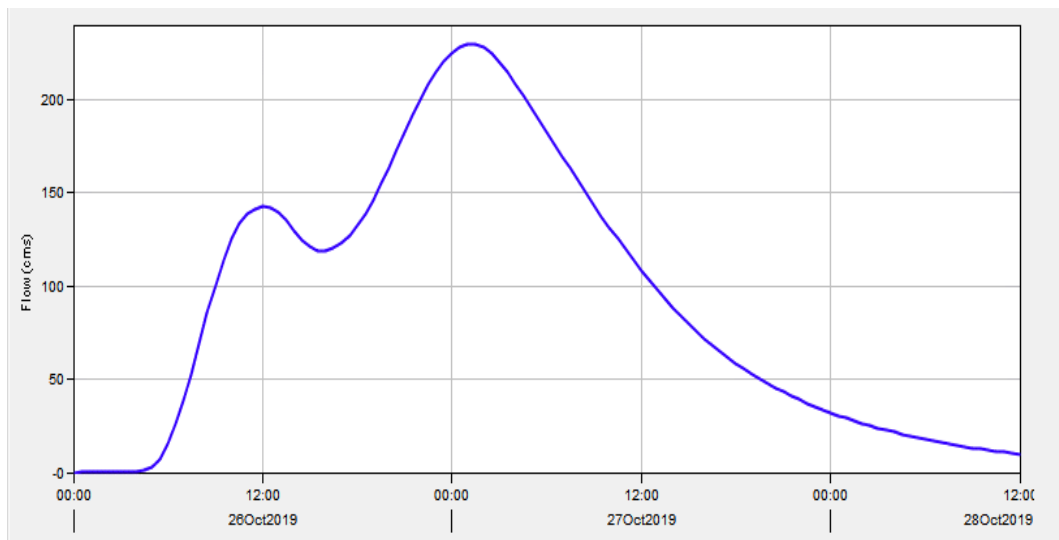
APÊNDICE R - Hidrograma da junção 3 pelo método Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



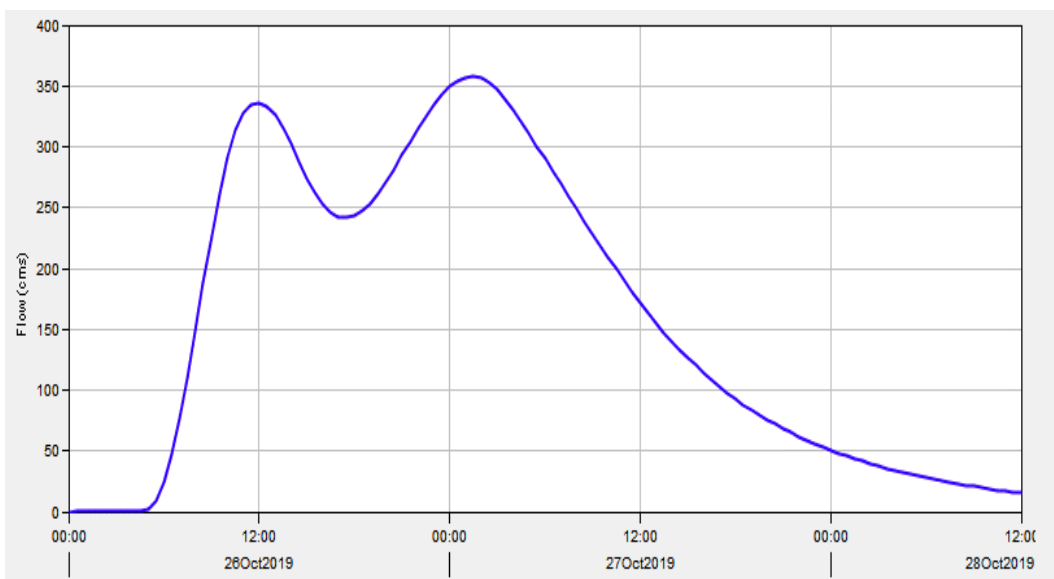
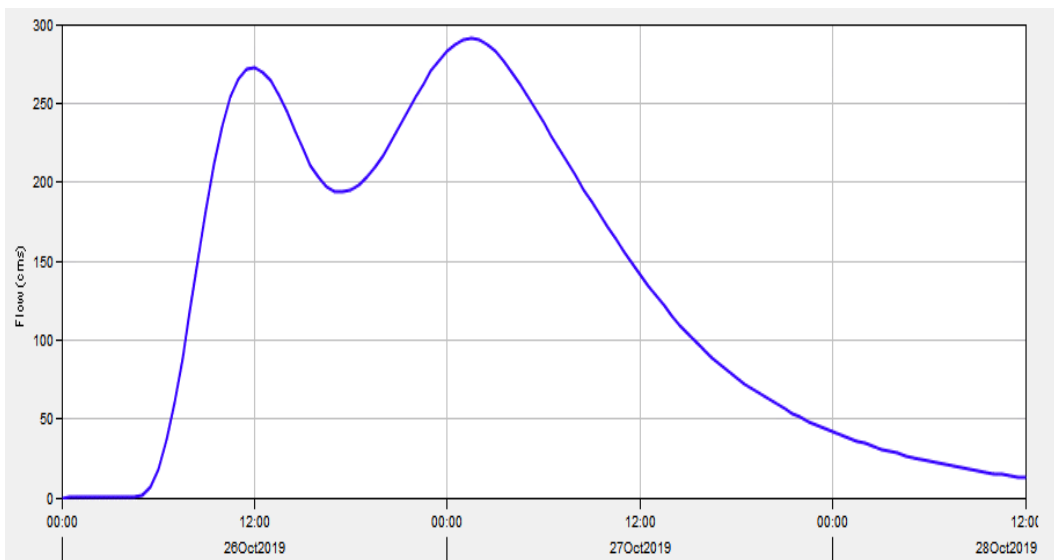
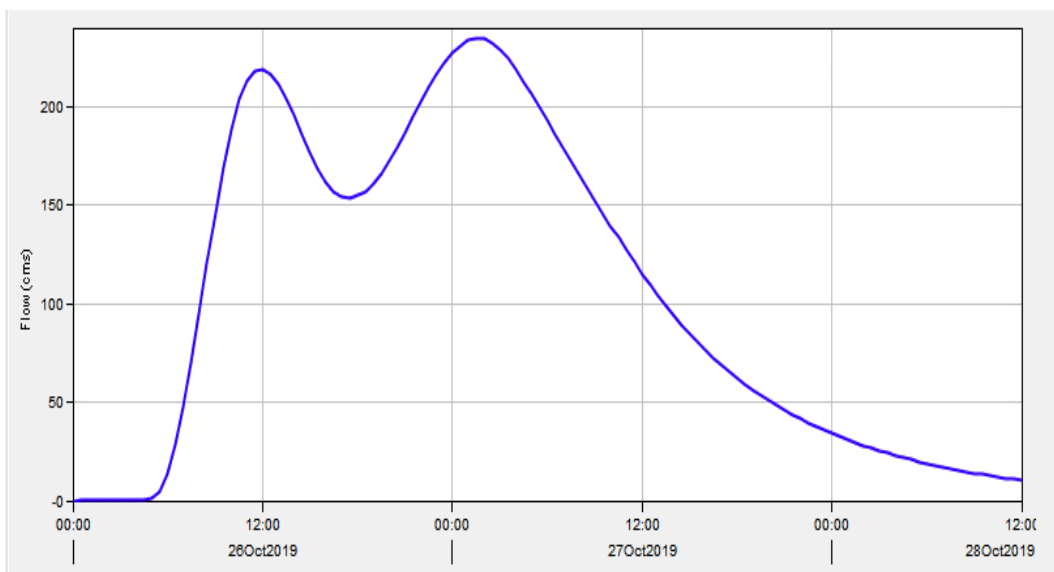
APÊNDICE S - Hidrograma do trecho 1 pelo método Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



APÊNDICE T - Hidrograma do trecho 2 pelo método Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



APÊNDICE U - Hidrograma do trecho 3 pelo método Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.



APÊNDICE V - Hidrograma do exutório pelo método Snyder com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, de 00:00 de 26Oct2019 as 12:00 de 28Oct2019.

