



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

WESLEY MAYCON ARAÚJO RIBEIRO

**GERAÇÃO DE HIDROGRAMAS DE PROJETO EM CENÁRIOS DE  
URBANIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO.**

POMBAL  
NOVEMBRO DE 2019

WESLEY MAYCON ARAÚJO RIBEIRO

**GERAÇÃO DE HIDROGRAMAS DE PROJETO EM CENÁRIOS DE  
URBANIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Campina Grande Campus de Pombal-PB, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Me. Sc. Fagner França da Costa

POMBAL  
NOVEMBRO DE 2019

R484g    Ribeiro, Wesley Maycon Araújo.  
Geração de hidrogramas de projetos em cenários de urbanização do  
semiárido paraibano / Wesley Maycon Araújo Ribeiro. – Pombal, 2019.  
39 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia  
Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de  
Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Fagner França da Costa".

Referências.

1. Bacia hidrográfica. 2. Escoamento superficial. 3. Expansão urbana.  
4. Modelos hidrológicos. I. Costa, Fagner França da. II. Título.

CDU 556.51(043)

WESLEY MAYCON ARAÚJO RIBEIRO

GERAÇÃO DE HIDROGRAMAS DE PROJETO EM CENÁRIOS DE  
URBANIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Aprovado em 07 / 11 / 2019

BANCA EXAMINADORA

*Fagner França da Costa*

---

Prof. Me. Sc. Fagner França da Costa  
Orientador – UFCG/Campus de Pombal – PB

*Manoel Moisés Ferreira de Queiroz*

---

Prof. Dr. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz  
Examinador Interno – UFCG/Campus de Pombal - PB

*Ricardo Ricelli P. de Almeida*

---

Prof. Me. Sc. Ricardo Ricelli Pereira de Almeida  
Examinador Externo – Faculdade Santa Maria

Pombal – PB  
Novembro 2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter guiado meus passos através da sua palavra, pelo cumprimento das suas promessas na minha vida e a rica oportunidade de ter me conduzido nessa jornada até o presente momento ao longo da graduação.

A minha família pela paciência e principalmente á minha Mãe, Maria Elizonete de Araújo Ribeiro, pelo apoio e incentivo nos momentos fáceis e difíceis, auxiliando e valorizando sempre nas minhas tomadas de decisões na busca pelo conhecimento.

E também ao meu orientador Prof. Fagner França Costa que esteve disponível para sanar minhas dúvidas sempre dedicado e disposto a me ajudar, ao CCTA e os demais professores, por fornecerem a oportunidade de realizar o curso de graduação durante o período de 5 anos.

## RESUMO

O processo de urbanização se não realizado de maneira sustentável, tem como consequência problemas socioambientais como é o caso da ocupação desordenada em áreas periféricas que podem reduzir a disponibilidade de serviços básicos a população e que são intensificados sem um planejamento adequado na bacia hidrográfica por parte da população e poder público local. Uma das consequências desse processo é o aumento do escoamento superficial, sendo uma das etapas do ciclo hidrológico que pode influenciar diretamente no comportamento da bacia hidrográfica é alvo de estudo na engenharia de recursos hídricos. Esse trabalho teve como objetivo estimar e analisar o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica na cidade de Itaporanga-PB. Foi empregada as metodologias do número da curva (CN) e do hidrograma unitário sintético triangular (HUT), ambos propostos pelo *Natural Resource Conservation Service* (NRCS). Foi feita a análise e comparação dos cenários de pré-urbanização e adensamento atual urbano entre os anos de 2010 e 2018. Estimou-se um aumento de 58,82% na vazão máxima (vazão de pico do hidrograma) entre os cenários estudados. Os resultados obtidos podem ser utilizados como base para o planejamento e realização de obras de drenagem urbana futuras no local.

**Palavras-chave:** Modelos hidrológicos, escoamento superficial, bacia hidrográfica, expansão urbana

## ABSTRACT

The process of urbanization, if not carried out in a sustainable way, results in social and environmental problems, such as the disordered occupation in peripheral areas that may reduce the availability of basic services to the population and which are itemized without proper planning in the watershed by the local population and public authorities. One of the consequences of this process is the increase of runoff, being one of the stages of the hydrological cycle that can directly influence the behavior of the watershed is the subject of study in water resources engineering. This study aimed to estimate and analyze runoff in a watershed in the city of Itaporanga-PB. Curve number (CN) and triangular synthetic unit hydrograph (HUT) methodologies, both proposed by the Natural Resource Conservation Service (NRCS), were employed. The analysis and comparison of the pre-urbanization and current urban densification scenarios between 2010 and 2018 was made. An increase of 58,82% in the maximum flow (peak flow of the hydrogram) between the studied scenarios was estimated. The results obtained can be used as a basis for planning and carrying out future urban drainage works at the site.

**Keywords:** Hydrological models, runoff, watershed, urban sprawl

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Principais formas de discretização de modelos hidrológicos .....	13
<b>Figura 2-</b> Hidrograma unitário sintético triangular do NRCS.....	15
<b>Figura 3-</b> Hidrograma unitário sintético triangular do NRCS discretizado .....	17
<b>Figura 4-</b> Análise comparativa de hidrogramas em diferentes cenários de ocupação do solo numa bacia hidrográfica .....	20
<b>Figura 5-</b> Tendência de ocupação e aumento da vazão.....	21
<b>Figura 6-</b> Fluxograma representativo das principais etapas metodológicas.....	23
<b>Figura 7-</b> Localização da área de estudo .....	23
<b>Figura 8-</b> Mapa de uso do solo para o cenário de pré (Figura 8-a) e atual (Figura 8-b) de urbanização .....	27
<b>Figura 9-</b> Hietogramas de chuvas de projeto e excedente para o cenário de pré-urbanização	29
<b>Figura 10-</b> Hietogramas de chuvas de projeto e excedente para o cenário atual de urbanização .....	29
<b>Figura 11-</b> Hidrogramas resultantes dos cenários de pré e atual de urbanização.....	30

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

GLCF - Global Land Cover

GLUE - Generalized Likelihood Uncertainty Estimation

HU - Hidrograma Unitário

HUT - Hidrograma Unitário Sintético Triangular

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDF - Intensidade-Duração-Frequência

NRCS - Natural Resource Conservation Service

SCS - Soil Conservation Service

USDA - United States Department of Agriculture

USGS - United States Geological Survey

## LISTA DE SÍMBOLOS E NOTAÇÕES

A - Área  
b - Largura do canal  
CN - Número da Curva  
d - Duração  
h - Altura do canal  
 $h_{exc}$  - Lâmina precipitada excedente  
i - Intensidade  
km - Quilômetro  
L – Comprimento  
P - Precipitação  
 $P_{24}$  - Precipitação com 24 horas de duração  
 $\eta$  - Coeficiente de rugosidade de Manning  
Q - Vazão  
 $Q_p$  - Vazão de pico  
 $q(t)$  - Vazão no tempo t  
 $R_h$  - Raio hidráulico  
S - Armazenamento  
s – Declividade  
t - Tempo  
 $t_b$  - Tempo de base  
 $t_c$  - Tempo de concentração  
 $t_p$  - Tempo de pico  
 $T_r$  - Período de retorno  
 $\Delta t$  - Variação do intervalo  
V - Velocidade

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Geral.....	12
2.2	Específicos .....	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1	Modelos hidrológicos.....	13
3.1.1	Método da precipitação excedente .....	14
3.1.2	Método do hidrograma unitário sintético triangular .....	15
3.1.3	Exemplos de aplicação dos modelos NRCS-CN-HUT .....	17
3.2	Efeito da urbanização na geração de escoamento superficial .....	19
4	METODOLOGIA .....	23
4.1	Área de estudo.....	23
4.2	Mapas de uso e tipo de solo.....	24
4.3	Variáveis hidrológicas.....	24
4.3.1	Cálculo do tempo de concentração.....	24
4.3.2	Cálculo da precipitação de projeto .....	25
4.3.3	Cálculo da precipitação excedente .....	25
4.3.4	Cálculo do hidrograma resultante .....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	26
5.1	Caracterização da bacia hidrográfica .....	26
5.2	Variáveis hidrológicas.....	27

5.2.1 Tempo de concentração.....	27
5.2.2 Chuvas de projeto e excedente .....	28
5.2.3 Hidrograma resultante .....	29
6 CONCLUSÕES.....	31

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano intensificado, pode ser constatado a partir da ocupação desordenada na área urbanizada, o mesmo tem-se desdobrado em pautas desafiadoras nas décadas recentes, dentre as quais vale ressaltar: a exigência para o aumento e manutenção das mais variadas redes de infraestrutura públicas, o aumento do tecido urbano em as áreas consideradas ambientalmente sensíveis, como áreas ribeirinhas, que pode gerar aumento no volume escoado e nas vazões de pico, principais características de fenômenos, tais como: inundações, enchentes e enxurradas (LONGO, 2018; CANHOLI, 2015).

Fato é que o crescente aumento das áreas urbanas vem apresentando influências diversas sobre a morfologia, uso do solo e a cobertura vegetal, características estas que afetam os processos naturais do ciclo hidrológico (FARES et al., 2014; TARGA et al., 2012; FRITZEN e BINDA, 2011; MEJIA e MOGLEN, 2010; SANTOS et al., 2006; VENDRAME e LOPES, 2005; SCHULER et al., 2003). Segundo Ferreira (2019), o entendimento deste sistema (ciclo hidrológico) e a ação de ajustes objetivando a minimização de impactos sociais e econômicos torna-se um trabalho de complexa execução, uma vez que o respectivo processo de ocupação do solo é dinâmico e geralmente ocorre maior frequência que o ordenamento do solo.

Daí surgem os modelos de transformação chuva-vazão que são amplamente abordados na literatura (COSTA, F. F., PAZ, A. R. e PICCILLI, D. G. A., 2019; SARAVANAN e MAMJULA, 2015; CANDELA, BRINGANDI e ARONICA, 2014; GRALER et al., 2013; GIBBS, DANDA e MAIER, 2010). De acordo com Kaiser (2006), esses modelos têm como características representar as principais fases do ciclo hidrológico, para melhor entendimento dos fenômenos físicos envolvidos em uma bacia hidrográfica em resposta a um dado evento hidrológico.

Atualmente, existem diversas abordagens voltadas à simulação e representação de modelos chuva-vazão, desde as mais simples às mais complexas, sendo aplicadas as condições de estudo em que forem favoráveis para a representatividade dos dados obtidos. Dentre as simples, têm-se os modelos do Número da Curva-CN, proposto pelo *Natural Resource Conservation Service-NRCS* dos EUA, antigo *Soil Conservation Service-SCS* (SCS, 1972; USDA, 2007) e do Hidrograma Unitário Sintético Triangular-HUT (SCS, 1986; USDA, 2007), que, em virtude de suas relativas facilidades de aplicações, são muito utilizados (AJMAL et al., 2015; AJMAL e KIM, 2014; BHUNYA, PANDA e GOEL, 2011).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar os impactos do uso e ocupação do solo em uma microbacia hidrográfica localizada no município de Itaporanga-PB sobre a geração de escoamento superficial.

### **2.2 Específicos**

- Identificar e delimitar a microbacia hidrográfica;
- Aplicar os modelos NRCS-CN-HUT para estimativa do escoamento superficial;
- Estimar o impacto de cenários de urbanização na geração de escoamento superficial.

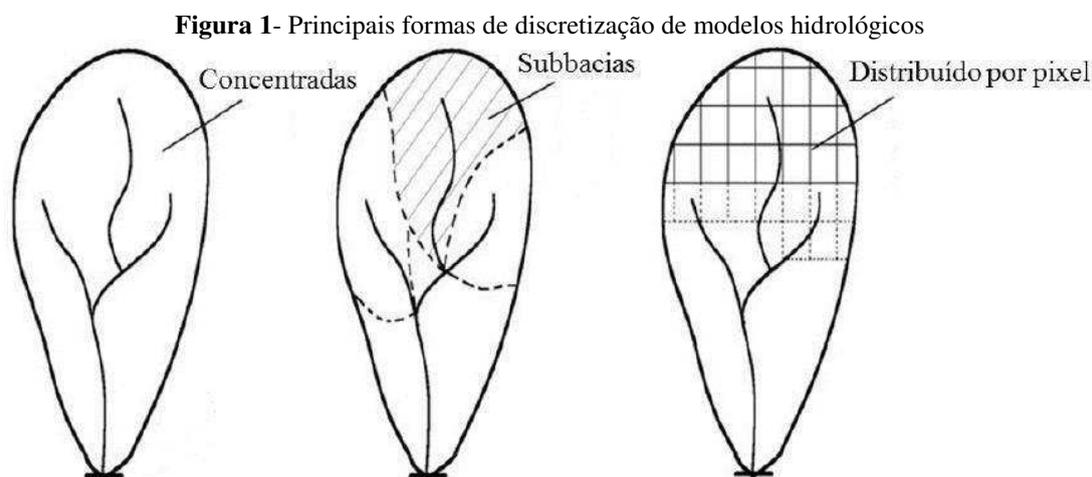
### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Modelos hidrológicos

Os modelos possuem relevância em representar a camada terrestre do ciclo hidrológico, em que a precipitação que cai sobre a bacia é transformada em vazão numa determinada seção de um curso hídrico. O conhecimento foi inicialmente adquirido pela análise todos os processos, como avaliar a precipitação, interceptação vegetal, evapotranspiração, infiltração e percolação, balanço de água nas camadas do solo e também os escoamentos que podem ser classificados como superficial, subsuperficial, subterrâneo e em diversas bacias hidrográficas, rios, canais e lagos (TUCCI, 2010).

O uso de modelos hidrológicos têm por finalidade simular os fenômenos presentes na realidade. Todavia, mesmo considerando os avanços em ciência e tecnologia, não existe modelo hidrológico que possa simular perfeitamente os complexos processos envolvidos na hidrologia pela presença de erros de distintas origens. Os mesmos podem ser minimizados com um processo bastante empregado e denominado calibração (CABRERA, 2012).

Segundo Costa (2017), atualmente existem várias formas de representação de modelos hidrológicos disponíveis. Dentre tais formas abordadas na literatura, têm-se: os concentrados, distribuídos, ou ainda, distribuídos por sub-bacias hidrográficas (Figura 1).



Fonte: Tucci (2005)

Nos modelos concentrados não é considerada a variabilidade espacial das variáveis hidrológicas presentes no processo adotado. Nesses modelos, a variável essencial é o tempo. Ao se tratar da modelagem concentrada de uma bacia hidrográfica, por exemplo, as variáveis do sistema são determinadas de acordo com a média espacial. Isso implica dizer que chuva,

evaporação, infiltração, vazões e outras variáveis são adotadas em termos médios na bacia de estudo (MARINHO et al., 2013).

Já os modelos distribuídos visam a representação da variabilidade espacial de todas as características hidrológicas na subdivisão da bacia hidrográfica em várias unidades que devem ser células regulares ou pequenas sub-bacias (PAZ et al., 2011). De acordo com Andrade et al. (2013), o desenvolvimento e a utilização de modelos hidrológicos distribuídos para diversos propósitos estão entre um dos temas mais requisitados nos estudos e pesquisas hidrológicas da atualidade. Dentre os objetivos, destacam-se a necessidade de identificar potenciais impactos em cenários com variabilidade ou mudança climática, como também de alteração de uso da terra sobre os recursos hídricos de uma determinada região.

Ao adotar modelos hidrológicos, é importante reconhecer a classe dos modelos determinísticos. De acordo com a forma a qual os processos físicos são definidos no modelo, pode-se determinar algumas subdivisões nesta categoria. Em modelos chuva-vazão, os processos físicos podem ser representados através de equações diferenciais, também por formas simplificadas baseadas nas mesmas (ALMEIDA e SERRA, 2017).

Os modelos conceituais se reproduzem em condições médias na bacia de estudo, o objetivo é determinar a qualidade do hidrograma de saída. Nesse caso, os processos simulados são o armazenamento e a continuidade do volume. Diversos parâmetros constituem o modelo, os mesmos são baseados em formulações empíricas e variáveis que poderão ser avaliadas, isso de acordo com os intervalos de tempo discretizados e seus valores médios calculados (BARP, 1999).

Segundo Kaiser (2006), a modelagem hidrológica visa atender os seguintes requisitos:

- Fornecer dados de projeto para estudos na área da engenharia;
- Efetuar a simulação em cursos d'água de bacias que tiveram intervenções;
- Prever vazões que comprometam obras hidráulicas;
- Avaliar impactos ambientais pela intervenção antrópica na bacia;
- Representar as fases do ciclo hidrológico através de estudos desenvolvidos.

### **3.1.1 Método da precipitação excedente**

A relação que é uma das mais empregadas atualmente para estimativa da chuva excedente em bacias hidrográficas é o modelo NRCS-CN, apresentado pelas equações 01 a 03.

$$h_{exc} = \frac{(P-0,2S)^2}{(P+0,8S)} \quad \text{quando } P > 0,2S \quad (01)$$

$$h_{exc} = 0 \quad \text{quando } P \leq 0,2S \quad (02)$$

Sendo  $h_{exc}$  a lâmina de precipitação excedente (mm);  $P$  a precipitação (mm) e  $S$  a máxima infiltração acumulada potencial, isto é, a capacidade do solo em armazenar água (mm).

Para determinar o valor de  $S$ , o modelo NRCS relaciona esse parâmetro da bacia hidrográfica com outro parâmetro, denominado CN, através da equação 03.

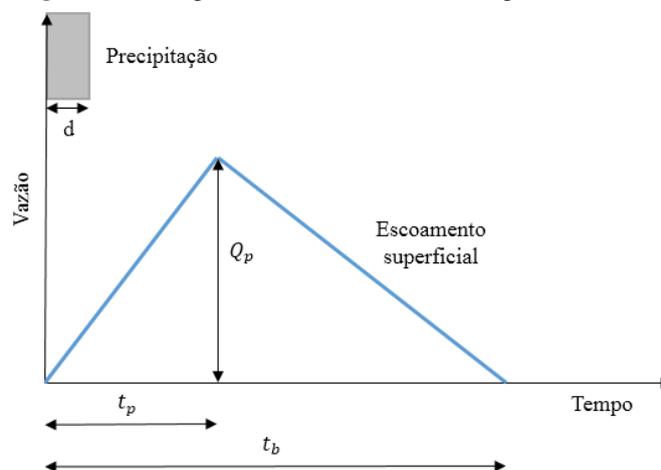
$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (03)$$

Sendo  $CN$  o parâmetro adimensional, cujo valor varia entre 0 e 100, sendo que 0 corresponde a um solo de capacidade de infiltração infinita e 100 corresponde a um solo completamente impermeável. E que por sua vez, o valor desse parâmetro CN é dado em tabelas desenvolvidas a partir de experimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais nos EUA, e depende basicamente do tipo, condições de uso e umidade do solo no período que antecede o evento.

### 3.1.2 Método do hidrograma unitário sintético triangular

Após a determinação da precipitação excedente (Equações 01 a 03) e da definição dos parâmetros do HUT (Figura 2) aplicando-se as equações 04, 05 e 06, torna-se possível através da convolução (princípios da proporcionalidade e da superposição), calcular os hidrogramas resultantes de eventos complexos.

**Figura 2-** Hidrograma unitário sintético triangular do NRCS



Fonte: Costa (2017)

$$t_p = \frac{d}{2} + 0,6 * t_c \quad (04)$$

$$t_b = 2,67 * t_p \quad (05)$$

$$Q_p = \frac{0,208 * A}{t_p} \quad (06)$$

Sendo  $t_p$  o tempo de pico (h);  $d$  a duração da precipitação (h);  $t_b$  o tempo de base (h);  $Q_p$  a vazão de pico em  $m^3.s^{-1}$  e  $A$  a área da bacia hidrográfica em  $km^2$ .

Porém, antes de aplicar a convolução propriamente dita, é preciso definir a duração do intervalo de discretização do hidrograma unitário (Figura 2), que deve ter a mesma duração  $d$  da precipitação excedente unitária e que conseqüentemente é a mesma duração dos intervalos de tempo sobre os quais a precipitação foi dividida.

Na seqüência, a cada intervalo de duração  $d$  (para  $t = d, 2d, 3d, \dots$ ), deve-se calcular a vazão  $q(t)$  correspondente no hidrograma unitário. Essa vazão é obtida a partir das equações 07 e 08.

$$q(t) = \frac{Q_p}{t_p} * t \quad \text{para } t \leq t_p \quad (07)$$

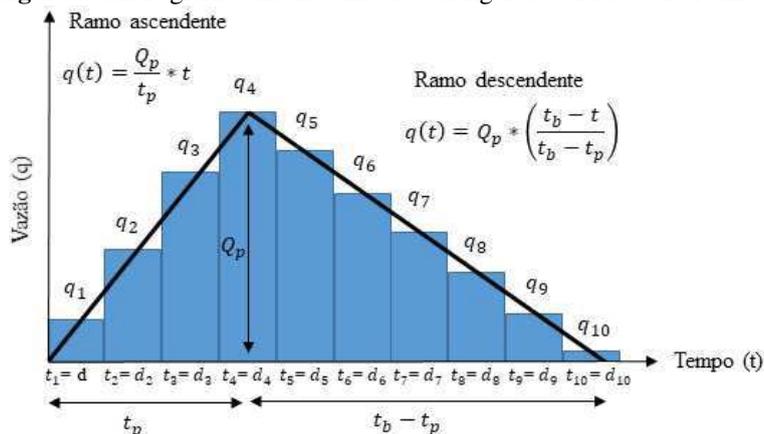
$$q(t) = Q_p * \left( \frac{t_b - t}{t_b - t_p} \right) \quad \text{para } t > t_p \quad (08)$$

Sendo  $q(t)$  é a vazão no tempo  $t$  ( $m^3.s^{-1}$ ) e  $t$  é o instante de tempo para o qual se deseja estimar a vazão do HU (min).

Então, considera-se que a discretização de um HU tenha como resultado as relações entre tempo ( $t$ ) e vazão ( $q(t)$ ). Considere agora que uma precipitação excedente (de projeto ou observada) tenha resultado nas seguintes relações entre tempo ( $t$ ) e precipitação excedente ( $P(t)$ ): para  $t_1$  a precipitação foi de  $P_1$ ; para  $t_2$  a precipitação foi de  $P_2$ ; para  $t_3$  a precipitação foi de  $P_3$ .

Dessa forma, para a obtenção do hidrograma gerado pela precipitação  $P_1$ , multiplica-se  $P_1$  por cada uma das vazões do hidrograma unitário discretizado que foram apresentadas na figura 3. Da mesma forma, precede-se para a obtenção dos hidrogramas gerados pelas precipitações excedentes  $P_2$  e  $P_3$ .

**Figura 3-** Hidrograma unitário sintético triangular do NRCS discretizado



### 3.1.3 Exemplos de aplicação dos modelos NRCS-CN-HUT

Lima (2017), avaliou o desempenho do modelo NRCS-CN-HUT quando submetido a um MDE de alta resolução espacial. Houve a simulação dos hidrogramas de cheia para 9 eventos reais de precipitação ocorridos em uma microbacia de 6 km<sup>2</sup>, localizada em Porto Alegre-RS. Os hidrogramas simulados foram comparados com os dados de vazão obtidos, que forneceu a possibilidade identificar comportamentos tais como: elevada sensibilidade do modelo às considerações sobre perdas iniciais; previsão precisa quanto à vazão de pico; tendência de diminuição no tempo de pico e erros quando foi estimado o volume total escoado.

Paulino (2014), realizou uma análise de sensibilidade utilizando o software HEC-HMS dos parâmetros do método NRCS para determinar as cheias urbanas, o estudo foi realizado no córrego do Mineirinho, em São Carlos, São Paulo. A análise foi efetuada com auxílio de fotografias aéreas de alta e baixa resolução, em distintas metodologias de estimativa de tempos de concentração e distribuição da chuva crítica, desse modo foi constatado que o modelo foi amplamente sensível ao considerar todos os elementos abordados.

O estudo desenvolvido por Pereira et al. (2016), possibilitou a análise das características geomorfológicas e físicas da bacia de estudo. Houve a calibração de 49 hidrogramas, referentes a 7 bacias de drenagem com respectivos 7 eventos. O pior resultado teve antecipação prévia dos tempos de picos simulados em relação aos outros observados, com variação de 1 a 3 dias, com somente 1 hidrograma apresentando tempo de pico igual aos dados iniciais brutos da pesquisa. Já os resultados significativos, geraram 5 hidrogramas com tempo de pico igual aos dados observados, e 2 antecederam o observado em apenas um dia.

Já os autores Fernandes, Costa e Studart (2017), efetuaram a análise de sensibilidade de hidrogramas que demonstraram grande dependência sob a forma dos hidrogramas de cheias máximas que foram resultados da utilização do método NRCS ao valor do Tempo de

Concentração (TC) e do Número da Curva (CN) estimado. As modificações na forma dos hidrogramas de vazões resultaram em modificações no valor das vazões máximas que são utilizadas em muitas aplicações na engenharia de recursos hídricos.

Romero et al. (2007), usou um modelo de escoamento físico para pomares de oliveira em escala de colina para gerar relações chuva-escoamento para distintos cenários do tipo de solo. As relações resultantes foram utilizadas para derivar os valores do parâmetro CN para a metodologia SCS-CN. Os valores de CN resultantes foram validados usando dados de precipitação e escoamento superficial em três locais diferentes e em diferentes manejos do solo. As previsões de escoamento diário usando CN foram comparadas com as feitas com valores CN extraídos das tabelas SCS-CN padrão, os valores derivados de CN apresentaram um erro quadrático médio nas previsões de escoamento. Como consequência, identificou-se que existe a real necessidade de validação adicional dos valores de CN derivados, devido aos dados limitados de chuva e escoamento, o efeito do manejo do solo nas propriedades do solo e sua evolução ao longo do tempo.

Araújo et al. (2012), realizou a calibração e validação do CN para distintos manejos de vegetação da caatinga no semiárido brasileiro. Para tanto, foram utilizadas três microbacias experimentais do estado do Ceará, Brasil. Os resultados mostraram que o manejo da vegetação tem influência direta na formação de escoamento nas microbacias, tal fato é retratado nos valores de CN. Os valores de CN adquiridos podem ser utilizados para estimar o escoamento superficial em condições parecidas de manejo da caatinga no semiárido brasileiro e encontraram-se aproximados a valores tabelados de manejos similares adquiridos para situações de uso e cobertura do solo de outros países.

O trabalho proposto por Asadi & Boustani (2013), foi caracterizado pela análise de sensibilidade entre os parâmetros CN, armazenamento inicial e tempo de retardo, de acordo com os modelos concentrados e distribuídos, anteriormente calibrados, para a bacia hidrográfica do Delibajak, localizado no Irã. Os resultados obtidos mostraram que o modelo pôde apresentar uma sensibilidade elevada para o parâmetro de absorção inicial do que para os outros parâmetros adotados no estudo.

Silveira (2010), efetuou uma análise de sensibilidade em que, as variáveis de entrada na determinação dos hidrogramas de cheia máxima em bacias destituída de dados hidrológicos. Foi analisada a influência existente do CN, da área de drenagem, do TC, período de retorno e duração da chuva sobre os hidrogramas de cheia que foram calculados. Os resultados mostraram que, a vazão de pico é diretamente proporcional à área de drenagem da bacia hidrográfica, pois quanto maior a área de drenagem, o volume de escoamento superficial direto sobre a bacia

idem. Existe também uma relação linear entre a área de drenagem e o volume do hidrograma de cheia obtido, pois foi fixada a altura da chuva excedente, também em pequenas áreas de drenagem as variações nos valores de pico são elevadas.

No estudo feito por Portela et al. (2000), foi utilizado o recurso do HUT-SCS para identificação dos efeitos de diferentes modelos de hietogramas nas vazões de cheia relativos a quatro bacias hidrográficas localizadas em Portugal em que se obteve o TC. Os resultados evidenciaram que, hietogramas com intensidade não uniforme de precipitação conduz vazões de cheia superiores aos que decorrem de uniformidade temporal da intensidade daquela precipitação. Foi também constatado que, a adoção de precipitações com duração elevada ao TC de cada bacia hidrográfica, conduz a vazões de ponta de cheia superiores aos que resultam de precipitações com durações semelhantes aquele tempo, desde que se atribua hietogramas com intensidade não uniforme às precipitações com duração superior a TC.

Coutinho et al. (2019), avaliou a influência da metodologia de Bell e da dependência entre as durações na desagregação de precipitações máximas diárias para a aquisição de hidrogramas de projeto. A bacia hidrográfica utilizada foi do estado da Bahia, para a obtenção dos hietogramas de projeto foram usados os métodos do Bureau of Reclamation e dos Blocos Alternados. Para a obtenção do hidrograma foi utilizado o método do hidrograma unitário sintético do Soil Conservation Service. O método do Bureau of Reclamation foi capaz de produzir um pico de vazão superior ao método dos Blocos Alternados. O método de Bell também foi capaz de produzir vazões e intensidades de precipitação maiores que o método das relações entre durações. O método de Bell com o Bureau of Reclamation tiveram as maiores vazões e o método das relações entre durações com o método dos Blocos Alternados apresentou vazões inferiores.

### **3.2 Efeito da urbanização na geração de escoamento superficial**

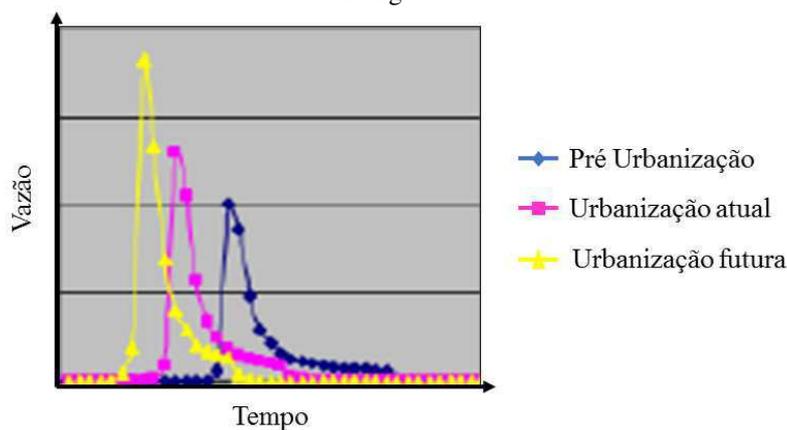
As ações humanas são responsáveis por consideráveis alterações adversas no ambiente de bacias de drenagem, dado sua influência quantitativa e qualitativa direta nos processos hidrológicos. Sendo assim, o último resultado dessas modificações é notado através da existência de eventos hidrológicos extremos bem como suas consequências, por exemplo, longos períodos de estiagens, inundações e demolições, geração e transporte de sedimentos em bacias hidrográficas, afetando negativamente atividades como a agricultura, além do possível aumento no aporte de nutrientes em mananciais, que interferem diretamente na qualidade da água para os diversos fins da população local (ANDRADE et al., 2013).

Expansão urbana é um processo que se refere às dinâmicas da cidade que resultam

ou justificam seu crescimento. O conceito de expansão urbana pode ser entendido como “crescimento territorial urbano”. O processo pode ser dividido em dois grandes tipos em função de seu resultado em termos de ocupação do solo, crescimento territorial urbano intensivo e extensivo. O crescimento territorial urbano intensivo tem como característica principal a intensificação do uso e ocupação do solo e o crescimento territorial urbano extensivo, a extensão do tecido urbano (JAPIASSÚ e LINS, 2014).

O crescimento urbano intensivo pode gerar impactos ambientais na bacia hidrográfica, como é o caso da impermeabilização. De acordo com Alves e Formiga (2019), a impermeabilização do solo e a ausência de cobertura vegetal geram volume de escoamento superficial elevado, aumentam a vazão de pico e reduzem o tempo de pico (Figura 4). Desse modo, a busca de alternativas que objetivem a redução do volume de escoamento superficial em áreas urbanas é indispensável para se obter respostas hidrológicas aos problemas decorrentes do processo de urbanização e, juntamente, reduzir o risco de inundações.

**Figura 4-** Análise comparativa de hidrogramas em diferentes cenários de ocupação do solo numa bacia hidrográfica



Fonte: Adaptado de Vendrame e Lopes (2005)

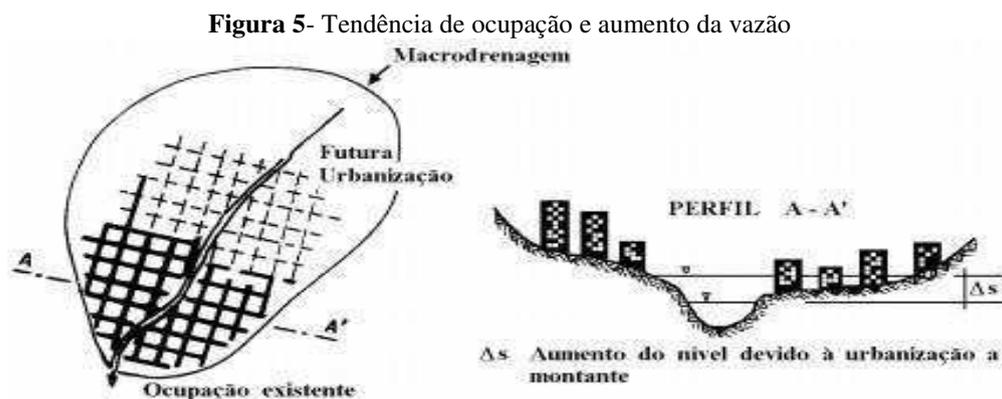
Segundo Santos et al. (2013), metade da população mundial atual reside em centros urbanos, e os impactos adversos decorrentes de eventos hidrológicos têm ocorrido com frequência, pois com o aumento de áreas impermeáveis, ocorre a redução nas taxas de infiltração, levando à diminuição da recarga dos aquíferos e consequentemente, do escoamento de base. Outrossim, o escoamento superficial aumenta consideravelmente, gerando maior frequência e a magnitude dos picos de cheia, o que pode ocasionar na ocorrência de inundações, com ênfase em centros urbanos.

As enchentes ampliam a sua frequência e magnitude através da impermeabilização, ocupação do solo e a implantação da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento no perímetro urbano também contribui com obstruções ao escoamento, como aterros e pontes,

drenagens clandestinas, obstruções em locais de escoamento planejado junto a condutos e assoreamento. Os impactos gerados a partir da urbanização são: Aumento das vazões máximas, aumento da produção de sedimentos, deterioração da qualidade da água subterrânea e superficial, infraestrutura urbana mal planejada (TUCCI, 2003).

De acordo com Martins (2017), o escoamento superficial direto é gerado pelo excesso da precipitação que escoam em direção das condições de infiltração e armazenamento de água em que o solo se encontra. Dessa forma, boa parte da água que escoam superficialmente, descontando-se a vazão que é gerada pelo escoamento de base, é responsável pelo acréscimo da vazão, colaborando para que ocorra a vazão máxima.

As cheias que são resultantes da urbanização ocorrem geralmente em microbacias, já no caso de bacias de drenagem de grande porte a macrodrenagem local favorece a mitigação desse impacto ambiental. Devido às características de relevo local, a urbanização ocorre no sentido jusante para montante, esse fenômeno também é explicado devido à falta de controle por parte do poder público em que, as obras de macrodrenagem não são atualizadas. Desse modo, o aumento da vazão máxima em loteamentos contribui para a ocorrência de enchentes a jusante. Como consequência, ocorre a sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macrodrenagem (riachos e canais) que atravessa os municípios. As áreas mais afetadas, devido à implementação das novas habitações a montante, são as mais antigas, encontradas a jusante, conforme ilustrado na figura 5 (TUCCI, 2007).



Fonte: Tucci (2007)

O monitoramento da infraestrutura hídrica da região é um fator indispensável para a supervisão da eficiência no controle de cheias em resposta a distintos cenários extremos, pois inúmeros aspectos alteram a resposta das bacias hidrográficas, como por exemplo, as mudanças climáticas. O acompanhamento pode ser feito com auxílio da modelagem hidrológica, esses

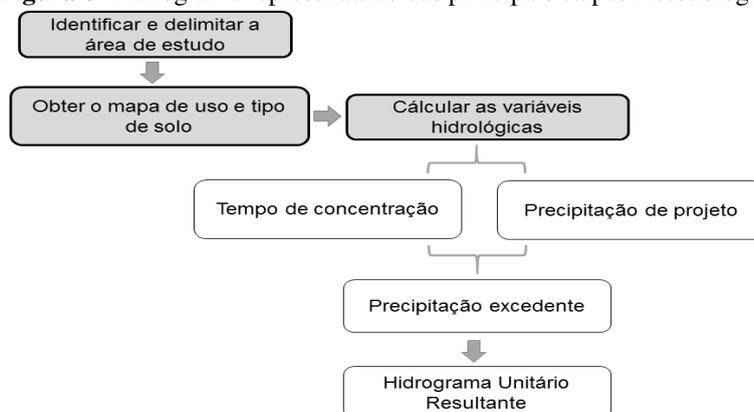
modelos matemáticos são capazes de exibir o ciclo hidrológico e assim representar o escoamento superficial como resultado de evento chuvosos (GOMES, 2019).

A modelagem hidrológica pode ajudar na gestão de recursos hídricos no planejamento de ações, em eventos de longas enchentes e estiagens, tornando viável a preservação dos recursos hídricos e reduzindo os impactos ambientais e sociais desses eventos. Entende-se que a modelagem hidrológica atua como uma ferramenta utilizada para a interpretação, representação e simulação das condições hidrológicas em uma bacia hidrográfica, tornando possível a previsão das consequências em com base nos resultados do estudo. Dessa forma, a modelagem é uma ferramenta computacional que atua no estudo dos fenômenos físicos com a finalidade de previsão de cenários (MORAES et al., 2003).

## 4 METODOLOGIA

As etapas metodológicas a serem desenvolvidas para a execução deste trabalho encontram-se apresentadas na figura 6.

**Figura 6-** Fluxograma representativo das principais etapas metodológicas

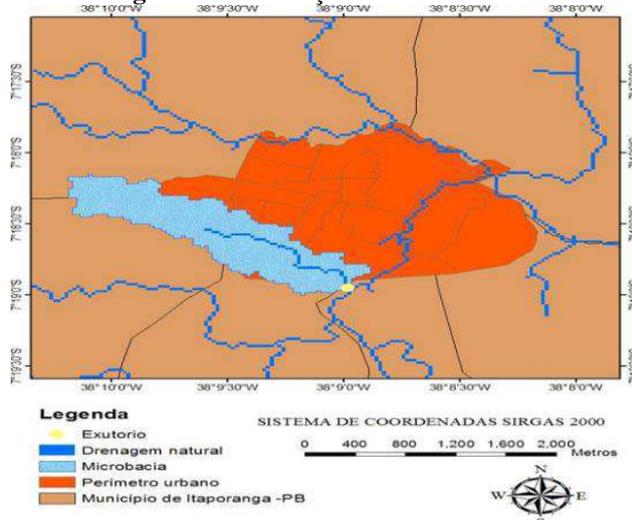


Fonte: Autoria própria

### 4.1 Área de estudo

Como estudo de caso, foi tomada uma microbacia hidrográfica localizada no município de Itaporanga com  $7^{\circ}18'32.78''S$  de latitude e  $38^{\circ}9'32.35''O$  de longitude. A cidade está situada no sertão paraibano e semiárido brasileiro, pertencente à mesorregião do sertão paraibano. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2019), o município está a 291 metros acima do nível do mar, com uma área de aproximadamente 481,8 km<sup>2</sup>. Ainda segundo o IBGE (2019), a população do município no último censo (2010) foi de 23.192 habitantes com densidade demográfica de 28,66 hab/km<sup>2</sup>.

**Figura 7-** Localização da área de estudo



Fonte: Autoria própria

## 4.2 Mapas de uso e tipo de solo

O Tipo de solo foi classificado quanto ao grupo hidrológico NRCS-CN, segundo recomendações de Sartori et al. (2005), que relacionam os tipos de solos adotados pela classificação brasileira, nesse caso da Embrapa (1999) e os tipos de solos adotados pela classificação hidrológica do modelo NRCS-CN.

As imagens para elaboração do mapa de uso do solo foram provenientes do Google Earth Pro através das imagens satélites. Os cenários foram adotados de acordo com a melhor visualização das imagens satélites para sua interpretação e classificação, visto que imagens mais antigas possuem baixa resolução e interferências de visualização na região de estudo.

Quanto aos efeitos da variação no uso do solo sobre a geração de escoamento superficial, foram avaliados em comparação a dois (2) cenários distintos, sendo eles: pré-urbanização e adensamento urbano atual. Sendo que, para a análise do cenário de pré-urbanização serão consideradas as respectivas áreas da microbacia hidrográfica sem ocupação e 99% permeáveis. Para o cenário atual, serão considerados as condições mais atuais do uso e cobertura vegetal do solo.

## 4.3 Variáveis hidrológicas

### 4.3.1 Cálculo do tempo de concentração

Para a aplicação da abordagem NRCS-CN-HUT é necessária a determinação do tempo de concentração da bacia hidrográfica. Para tal, será empregada a metodologia do NRCS que atribui uma equação específica para diferentes superfícies, ou seja, no cálculo do tempo de concentração na superfície, aplica-se a equação 09.

$$T_c = \frac{5,474 * (\eta * L)^{0,8}}{P_{24}^{0,5} * s^{0,4}} \quad (09)$$

Sendo  $T_c$  o tempo de concentração (s);  $\eta$  o coeficiente de rugosidade de Manning;  $L$  o comprimento do trecho em superfície (metros);  $P_{24}$  a lâmina de precipitação excedente ocorrido em 24 horas (mm) e  $s$  a declividade (m/m).

O  $P_{24}$  é estimado a partir das relações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), ou equação de chuvas intensas (Equação 10), proposta por Neto (2018), na qual está inserida a microbacia hidrográfica.

$$i = \frac{951,842 * T_r^{0,147}}{(d+11,953)^{0,759}} \quad (10)$$

Sendo  $i$  a intensidade da precipitação (mm/h);  $d$  a duração da precipitação (minutos) e

$T_r$  o período de retorno (anos).

No cálculo do tempo de concentração em canais, o procedimento consiste na aplicação da equação de Manning (Equação 11) com tempo de concentração dado pela equação 12.

$$V = \frac{Rh^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (11)$$

$$T_c = \frac{L}{V} \quad (12)$$

Sendo  $V$  a velocidade do escoamento no canal (m/s),  $L$  o comprimento do trecho em canal (m) e  $Rh$  o raio hidráulico (m).

#### **4.3.2 Cálculo da precipitação de projeto**

Para a definição do hietograma de projeto, será utilizado o método dos blocos alternados. O método calcula, através das intensidades dadas pela IDF (Equação 10), o hietograma completamente adiantado, isto é, aquele onde o pico está no primeiro intervalo de tempo.

Cada duração cumulativa, a partir desse pico, tem também sua altura de precipitação calculada através das intensidades da IDF (Equação 10), até o limite da duração crítica do evento. Em seguida, o hietograma completamente adiantado é reordenado de forma a posicionar o pico de forma centralizada. Cada ‘bloco’ de precipitação do hietograma adiantado é sucessiva e alternadamente colocado no entorno do ‘bloco’ do pico, à esquerda e à direita.

#### **4.3.3 Cálculo da precipitação excedente**

A precipitação excedente foi estimada pelo modelo NRCS-CN (Equações 01 a 03), sendo os valores de CN obtidos a partir das tabelas descritas em Tucci (2005), que fornece valores de CN para diferentes tipos de solos e respectivas condições de umidade antecedente do solo (AMC). Sendo considerado neste estudo a condição média (condição II) de umidade antecede do solo.

#### **4.3.4 Cálculo do hidrograma resultante**

Para estimativa do hidrograma resultante será utilizado o modelo NRCS-HUT (Equações 04 a 08). Para o cálculo será considerada uma duração  $d$  de 5 minuto da precipitação efetiva, e que por sua vez, foi a mesma duração  $d$  dos intervalos de tempo da precipitação de projeto.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização da bacia hidrográfica

Analisando a Tabela 1, nota-se que a vegetação densa ocupa 17,79 % do total da microbacia, o que corresponde 23,86 ha de área. Observa-se ainda da Tabela 1, uma redução no total de área verde, sendo nesse caso 1,22% do total da bacia, ou seja, um decréscimo de 22,23%.

A cobertura vegetal do solo urbano auxilia na retenção de águas pluviais e estabilização do solo, prevenção contra processos erosivos, pois possuem efeitos amortecedores de chuva e facilitam à infiltração de água, gerando escoamento superficial reduzido, mais áreas com sombra às margens dos cursos d'água (PAIVA e GONÇALVES, 2002).

Ainda de acordo com a Tabela 1, a classe de cobertura vegetal rasteira se encontra em maior proporção 70,68%, equivalente a 94,78 ha do total. Quando comparado ao cenário atual de urbanização percebe-se que a redução é bastante significativa sendo a área de 20,65 ha, correspondente a 15,4% do total da bacia hidrográfica.

A vegetação rasteira está relacionada as pastagens, plantios e vegetação espontânea. Também as coberturas residuais de tamanho reduzido, até rasteiras, caracterizadas por glebas que demonstram serem desprovidas de cuidados e com cobertura do solo que pode sofrer variação (VAEZA et al., 2012). A cobertura vegetal é uma das que contribui significativamente para a alteração do microclima no meio urbano, através de alterações nos seus elementos meteorológicos (FEITOSA, et. al, 2019).

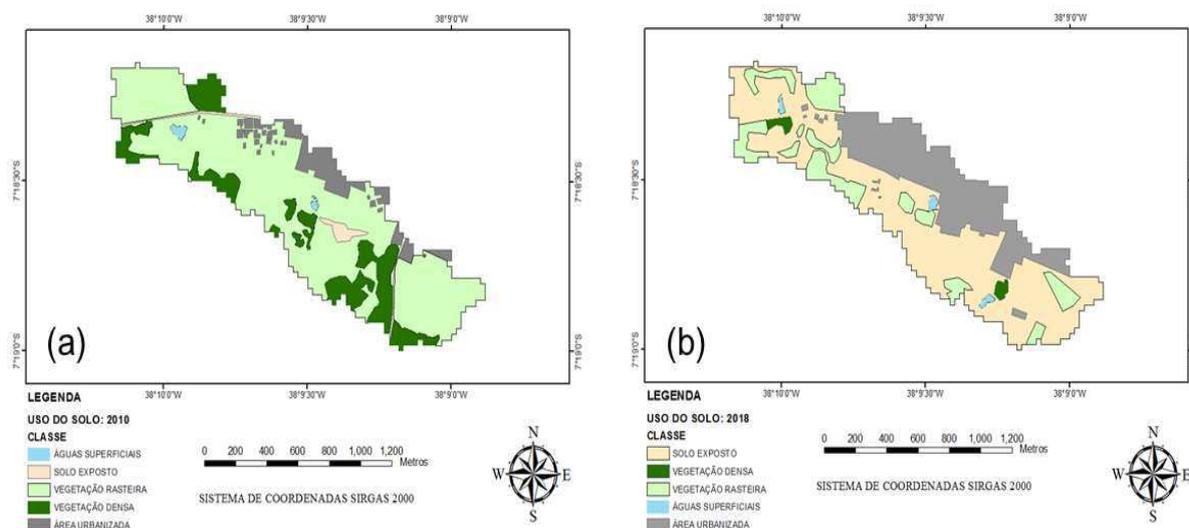
É perceptível que a expansão urbana tende a aumentar, em algumas áreas da cidade de maneira mais expressiva que outras. Desse modo, ao verificar a Tabela 1 e a Figura 8, observa-se um aumento na área urbanizada, saindo de 8,76% para 28,7% do total, um aumento de aproximadamente 27 ha nos últimos 8 anos.

No cenário atual de urbanização ocorre um aumento considerável de solo exposto quando comparado ao cenário de pré-urbanização, de 2,21% para 53,96%. Essa modificação na paisagem altera o comportamento da bacia hidrográfica e suas variáveis hidrológicas. Segundo Filizola et. al, (2011), com a ausência da cobertura vegetal, o solo fica exposto à erosão hídrica que é compreendida por processos que ocorrem em três fases, respectivamente: desagregação, transporte e deposição.

Além disso, as águas superficiais presentes na bacia hidrográfica não chegam a 1%, em ambos os cenários. Vale ressaltar que, o volume de água varia de acordo com as estações do ano na área de estudo, mas não é considerada uma variação que pode interferir

significativamente no comportamento da área de estudo.

**Figura 8-** Mapa de uso do solo para o cenário de pré (Figura 8-a) e atual (Figura 8-b) de urbanização



Fonte: Autoria própria

**Tabela 1-** Percentuais de áreas de uso e cobertura vegetal do solo dos cenários

Classe	Ano de 2010		Ano de 2018	
	km <sup>2</sup>	(%)	km <sup>2</sup>	(%)
Vegetação densa	0,24	17,79	0,02	1,22
Vegetação rasteira	0,95	70,68	0,21	15,40
Área urbanizada	0,12	8,76	0,38	28,70
Solo exposto	0,03	2,21	0,72	53,96
Águas superficiais	0,01	0,56	0,01	0,72

Fonte: Autoria própria

## 5.2 Variáveis hidrológicas

### 5.2.1 Tempo de concentração

Segundo McCuen et al. (1984), tempo de concentração é o tempo gasto pela água para percorrer desde o ponto mais remoto da bacia hidrográfica até seu exutório. Tradicionalmente, o tempo de concentração é determinado de forma manual ou semiautomática, selecionando visualmente quais os pontos candidatos a serem os mais distantes ou que proporcionem os maiores tempos ao longo da bacia hidrográfica (CASTRO et al., 2015).

Existem várias metodologias de se obter o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica. Dentre elas: o método proposto pelo NRCS, que foi empregada neste trabalho, obtendo-se um tempo de concentração de aproximadamente 168,21 minutos, que foi tomado como base para a definição da duração total da chuva de projeto. A metodologia do NRCS utiliza dois tipos de equação, uma para escoamento superficial (Equação 09) e outra para

escoamento em canal (Equação 12), de acordo com a característica do local onde está sendo feito o cálculo.

### 5.2.2 Chuvas de projeto e excedente

A chuva de projeto definida para o tempo de retorno de 8 anos está apresentada na figura 9 e 10, a partir da qual é possível observar um bloco maior de chuva de 12,56 mm no instante de tempo de 90 minutos, com total precipitado de 70,52 mm.

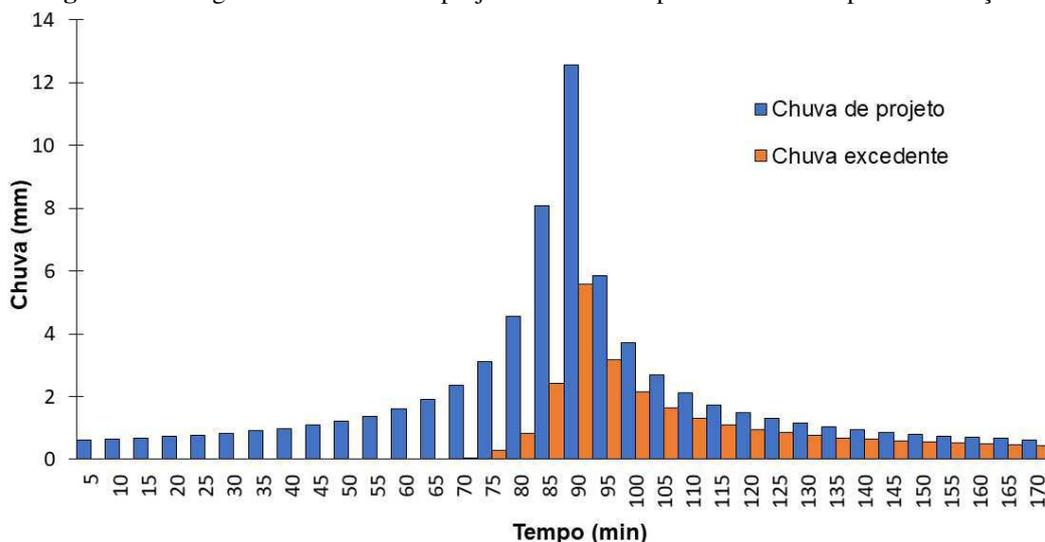
Segundo Abreu et al. (2017), a posição do pico de intensidade de um hietograma estando concentrada no final do evento ocasionará em um maior escoamento superficial, diferentemente se o mesmo se concentra no início do evento. O devido conhecimento da importância dos valores de pico ocasiona em uma melhor compreensão do comportamento da chuva de projeto para a região estudada, e uma melhor quantidade de informações que contribuirão para o desenvolvimento do projeto de drenagem. Uma vez que a chuva excedente é o maior responsável pelas vazões de cheias, principalmente em bacias pequenas e urbanizadas.

Ainda de acordo com as figuras 9 e 10, observa-se o aumento do escoamento superficial quando comparados ambos os cenários. No pré-urbanizado, aproximadamente 36,16 % do total precipitado ocasionou escoamento superficial, já no cenário atual esse valor chega a 61,23%. Sendo assim, houve um aumento de aproximadamente 25%, uma possível resposta são as características do tipo de solo sendo neossolo litólico e enquadrando-se no grupo hidrológico D, que apresenta um elevado potencial para ocasionar escoamento superficial, além disso a classificação de uso e ocupação do solo que influencia diretamente nos valores para a obtenção do hietograma de chuva excedente.

Para Tucci (2005), esses solos apresentam argilas com características expansivas e pouco profundas, e com muito baixa capacidade de armazenamento de água (baixa infiltração), o que podem levar a maiores proporções de escoamento superficial. Por isso é de suma importância a obtenção dos mapas de tipo e uso do solo, como forma de conhecer quais tipos de vegetação são predominantes, assim como outros fatores.

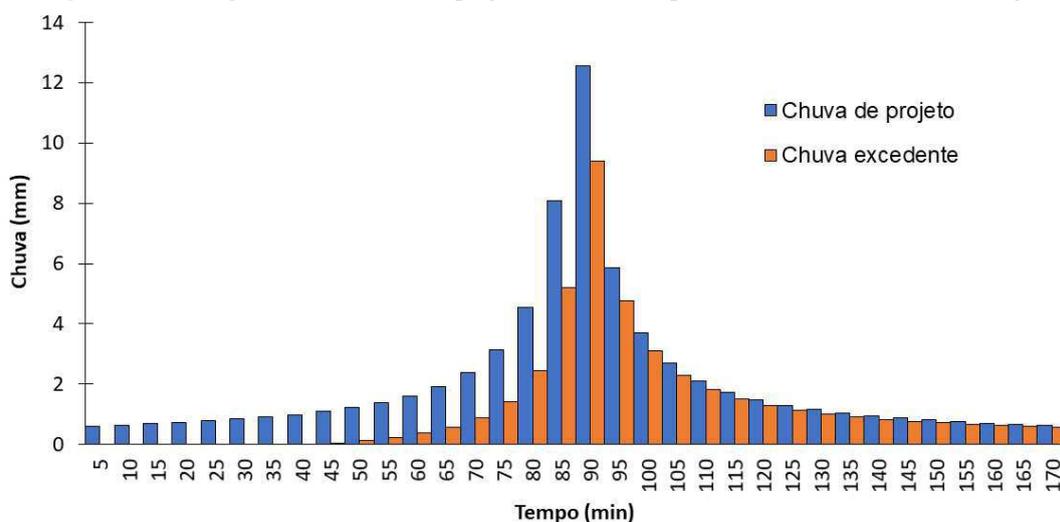
Um outro aspecto, segundo Vanzela, Hernandez e Franco (2010), é o uso e ocupação do solo, pois a urbanização influencia na capacidade de infiltração e armazenamento de água, provocando o aumento do escoamento superficial e reduzindo a contribuição para o escoamento de base.

**Figura 9-** Hietogramas de chuvas de projeto e excedente para o cenário de pré-urbanização



Fonte: Autoria própria

**Figura 10-** Hietogramas de chuvas de projeto e excedente para o cenário atual de urbanização



Fonte: Autoria própria

### 5.2.3 Hidrograma resultante

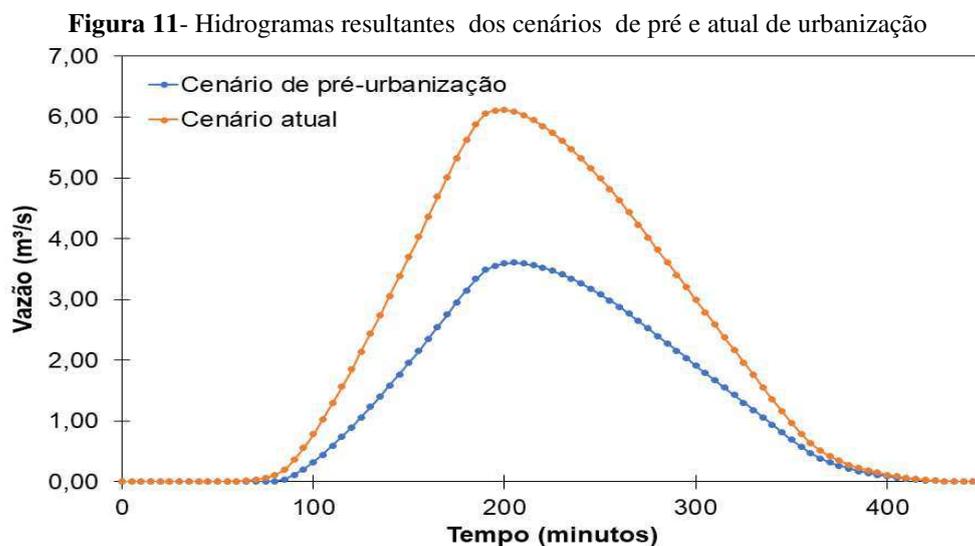
A partir da definição da chuva excedente, é possível dar continuidade a obtenção do hidrograma resultante, sendo os dois fundamentais para simulações hidrológicas. Para Abreu et al. (2017), entende-se que se deve adotar distribuições que procurem representar as condições de desagregação das chuvas de forma mais exata possível, assim obtendo-se um hidrograma de forma que seja igualmente crítico ao encontrado para o hietograma. Portanto, a discretização

do hidrograma apresentado na figura 11, foi a mesma para a obtenção da chuva de projeto e excedente, que foi de 5 minutos.

O hidrograma é a representação gráfica da vazão gerada ao longo do tempo para uma determinada área de referência. Pela figura 11, pode-se observar um aumento de aproximadamente de 58,82% na vazão de pico dos cenários trabalhados foi de aproximadamente 2,52 m<sup>3</sup>/s, e ocorreu no intervalo de tempo t = 200 minutos. Após alcançar a vazão de pico, a lâmina d'água sobre a superfície do solo diminui gradativamente até que se tem novamente a vazão nula, o que ocorre 435 minutos após o início da precipitação.

Um aspecto importante que deve ser mencionado sobre a vazão máxima (vazão de pico), diz respeito aos valores de CNs empregados neste trabalho, isso porque Cunha et al. (2015) comentam a superestimação das vazões de pico a partir de CNs obtidos pelas tabelas do NRCS. Os autores ainda sugerem que este parâmetro seja associado a própria precipitação efetiva que cai sobre a bacia hidrográfica. Silveira (2010) ainda relata que quanto maior o valor deste parâmetro (CN), mais impermeável se torna a bacia hidrográfica, conseqüentemente, menor será a sua capacidade de armazenamento da água no solo.

Observando ainda da Figura 11, nota-se um aumento considerável da vazão na sub-bacia, isso se explica devido a influência do uso e ocupação do solo na geração de escoamento superficial. Outrossim, na caracterização da bacia hidrográfica no cenário atual do ano de 2018 foi observado uma grande perda de vegetação nativa na área e aumento considerável do solo exposto, bem como avanço da malha urbana, isso significa maiores valores de CN e conseqüentemente a chuva excedente tende a aumentar, podendo ocasionar problemas relacionados a infraestrutura urbana de manejo de águas pluviais, como é o caso das enchentes.



Fonte: Autoria própria

## 6 CONCLUSÕES

A expansão urbana é um fenômeno que adquiriu visibilidade a partir das décadas de 80 e 90 e tende a aumentar no decorrer das décadas. Como foi visto, essa dinâmica interfere diretamente na qualidade ambiental da área em que ocorre podendo ocasionar muitas das vezes alterações adversas e significativas como erosão, enchentes e deslizamentos de terra. Sendo assim, no presente estudo nota-se uma modificação no espaço urbano devido as alterações no uso e ocupação do solo que evidenciaram aumento do solo exposto e espaço urbano, além da supressão e redução vegetação local, tendo como consequência o aumento do escoamento superficial que pode ser um problema crítico principalmente em eventos de chuvas extremos.

Em vista disso, cabem aos órgãos municipais e estaduais providenciarem o zoneamento ambiental do município para se ter uma prévia análise da expansão do perímetro urbano e quais suas consequências para a partir daí, adotarem medidas preventivas e corretivas de controle urbano, sendo uma delas a implantação de um Sistema de Drenagem Urbana eficiente para uma urbanização futura. Esse estudo pode ser utilizado como base de dados para futuras obras hidráulicas na área de estudo e região. Outrossim, também é necessário o investimento na educação ambiental de qualidade em instituições de ensino visando fornecer informações para a população sobre as consequências da expansão urbana e como ela possa ser conduzida de maneira sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. G.; SOBRINHA, L. A.; BRANDAO, J. L. B. **Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos.** *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2017, vol.22, n.2, pp.239-250. Epub Jan 19, 2017. ISSN 1413-4152. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016146750>.

ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**, v. 20, n. 1, p. 129-137, jan./jun., 2017.

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M. Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 193-207, 2019. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509825820>.

AJMAL, M.; KIM, T. W. Quantifying excess stormwater using SCS-CN-based rainfall runoff models and different curve number determination methods. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, 2014. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000805](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000805).

AJMAL, M.; WASEEM, M.; AHN, J. H.; KIM, T. W. Improved Runoff Estimation Using Event-Based Rainfall-Runoff Models. **Water Resources Manage**, v. 29, p. 1995-2010, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-015-0924-z>.

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M. Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 193-207, 2019. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509825820>.

ANDRADE, Márcio A.; DE MELLO, Carlos R.; BESKOW, Samuel. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 1, 2013.

ARAÚJO NETO, J. R. et al. Otimização do número de curva (CN-SCS) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil. **Irriga, Botucatu, Edição Especial**, p. 264-279, 2012.

ASADI, Arash; BOUSTANI, Fardin. Performance Evaluation of the HECHMS Hydrologic Model for Lumped and Semi-distributed Stormflow Simulation (Study Area:Delibajak Basin). **American Journal Of Engineering Research (ajer)**, Dehdasht Branch, Iran, v. 2, n. 11, p.115-121, abr. 2013.

BARP, A. R. B. Modelagem chuva-vazão em bacias hidrográficas com suporte em redes neurais artificiais. 1999. 259p. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257974>>. Acesso em: 26 de jun. de 2019.

BHUNYA, P. K.; PANDA, S. N.; GOEL, M. K. Synthtic Unit Hydrograph Methods: A Critical Review. **The Open Hydrology Journal**, v. 5, p. 1-8, 2011.

CABRERA, Juan. Calibración de modelos hidrológicos. **Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú**, 2012.

CANDELA, A.; BRIGANDI, G.; ARONICA, G. T. Estimation of synthetic flood design hydrographs using a distributed rainfallrunoff model coupled with a copula-based single storm rainfall generator. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 14, n. 7, p. 1819-1833, 2014. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-14-1819-2014>.

CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de textos, 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CASTRO, V. L. S.; LIMA, D. M.; COSTA, A. H. A.; PAZ, A. D. R. Processamento de modelo digital de elevação para estimativa do tempo de percurso do escoamento superficial. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR)**, João Pessoa. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6305-6312. 2015.

COSTA, F. F.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Métodos NRCS-CN-HUT modificados para modelagem chuva-vazão distribuída. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol.24, n.21, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.241920180104>.

COSTA, F. F. Abordagem distribuída para simulação chuva-vazão em pequenas bacias hidrográficas. 2017. **Dissertação** (Metrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

COUTINHO, Artur Paiva et al. O efeito do método de desagregação de chuva no hidrograma de projeto para uma bacia hidrográfica rural no semiárido nordestino. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 2, p. 146-156, 2019.

CUNHA, S. F.; SILVA, F. E. O.; MOTA, T. U.; PINHEIRO, M. C. Avaliação da Acurácia dos Métodos dos SCS para Cálculo da Precipitação Efetiva e Hidrogramas de Cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n.4, p. 837-848, out/dez. 2015. DOI: 10.21168/rbrh.v20n4.p837-848.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412 pp

FARES, A.; AWAL, R.; MICHAUD, J.; CHU, P.-S.; FARES, S.; KODAMA, K.; ROSENER, M. Rainfall-runoff modeling in a flashy tropical watershed using the distributed HL-RDHM model. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 3436-3447, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.042>.

FEITOSA, Sônia Maria Ribeiro et al. Consequências da Urbanização na Vegetação e na Temperatura da Superfície de Teresina–Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 2, p. 58-75, 2019.

FERNANDES, R. O.; COSTA, C. T. F.; STUDART, T. M. C. Análise de sensibilidade em hidrogramas de cheias máximas obtidos pelo método do SCS em uma bacia urbana. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 3, p. 243-254, 2017. <https://doi.org/10.14295/ras.v31i3.28812>.

FILIZOLA, Heloisa Ferreira et al. Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos. **Embrapa Meio Ambiente-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2011.

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. Alterações no Ciclo Hidrológico em Áreas Urbanas: Cidade,

Hidrologia e Impactos no Ambiente. Goiânia-GO. **Ateliê Geográfico**, v. 5, n. 3, p. 239-254, 2011. <https://doi.org/10.5216/ag.v5i3.16703>.

GIBBS, M. S.; DANDY, G. C.; MAIER, H. R. Evaluation of Parameter Setting for Two GIS Based Unit Hydrograph Models. **Journal of Hydrology**, v. 393, p. 197-205, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.08.014>.

GOMES, Mayara Maria de Arruda. Abordagem integrada de modelagem hidrológica e operação de barragens para avaliação da eficiência do controle de cheias na Bacia do Rio Capibaribe. 2019. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Pernambuco.

GRALER, B.; VAN DEN BERG, M. J.; VANDENBERGHE, S.; PETROSELLI, A.; GRIMALDI, S.; DE BAETS, B.; VERHOEST, N. E. C. Multivariate Return Periods in Hydrology: A Critical and Practical Review Focusing on Synthetic Design Hydrograph Estimation. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, p. 1281–1296, 2013. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-17-1281-2013>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/itaporanga/panorama>. Acesso em: 29 de junho de 2019.

JAPIASSÚ, L. T.; LINS, R. D. B. As diferentes formas de expansão urbana. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 2, n. 13, 2014. <http://dx.doi.org/10.17271/231884722132014764>.

KAISER, I. M. Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos. 2006. **Tese** (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo. <http://dx.doi.org/10.11606/T.18.2006.tde-17042006-222747>.

LONGO, M. R. Expansão intraurbana como alternativa: estudo dos territórios de projeto urbano no Arco Tietê, São Paulo. In: **X Seminário Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Córdoba, Junio 2018**. Departamento de Planejamento Urbano e Planejamento Territorial. Universidade Politécnic de Catalunya, 2018.

MARINHO FILHO, Gilberto Milhomem et al. Modelos hidrológicos: conceitos e

aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2013.

MARTINS, L. C. Vazão Máxima em pequena bacia hidrográfica parcialmente urbanizada em Uberlândia - MG. 2017. 94p. **Dissertação** (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/18395/1/VazaoMaximaPequena.pdf>>. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

MCCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W. J. The Role of Sensitivity Analysis in Hydrologic Modeling. **Journal of Hydrology**, v. 110, p. 887-904. 1984.

MEJIA, A. I.; MOGLEN, G. E. Impact of the spatial distribution of imperviousness on the hydrologic response of an urbanizing basin. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 23, p. 3359-3373, 2010. [http:// dx.doi.org/10.1002/hyp.7755](http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7755).

MORAES, Jorge M.; SCHULE, Azeneth E R; GUANDIQUE, Manuel E. G. G; MILDE, Luiz C.; GROppo, Juliano D.; MARTINELLI, Luiz. A; VICTORIA, Reynaldo L.. **Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 61-70, 2003.

NETO, M. D. A. Determinação de Curvas IDF com Dados Pluviométricos de uma Sub-Bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu. 2018. **Trabalho de conclusão de curso** (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, 2018.

PAIVA, Haroldo Nogueira; GONÇALVES, Wantuelfer. Florestas urbanas: planejamento para melhoria da qualidade de vida. **Aprenda Fácil Editora**, 2002.

PAULINO, P. F. Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação dos hidrogramas de cheia em bacias urbanas. 2014. 128p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade Federal de Santa Catarina, São Carlos, SP, 2014. Disponível em: <[http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-26012015-154125/publico/Paloma\\_Fernandes\\_Paulino.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-26012015-154125/publico/Paloma_Fernandes_Paulino.pdf)>. Acesso em: 23 de jun. de 2019.

PEREIRA, M. A. F.; CAMPO, G. F. N.; KOBIYAMA, M.; CASTRO, N. M. R. Regionalização

com geometria hidráulica e fractal: estudo de caso com hidrograma unitário instantâneo geomorfológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 347-359, abr./jun., 2016. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p347-359>.

PAZ, A. R.; BUARQUE, D. C. ; COLLISCHONN, W. ; VICTORIA, D. C. ; ANDRADE, R. G. . Discretização de modelos hidrológicos de grande escala: grade regular x minibacias. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2011, Maceió. Anais do XIX SBRH, 2011.

PORTELA, M.; MARQUES, Pedro; CARVALHO, F. F. Hietogramas de projecto para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário do Soil Conservation Service (SCS). In: 5º Congresso da Água-A ÁGUA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: **DESAFIOS PARA O NOVO SÉCULO**. 2000. p. 1-17.

ROMERO, P. et al. Curve number values for olive orchards under different soil management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 6, p. 1758-1769, 2007.

SANTOS, P. T. S. et al. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 1, p. 161-174, jan./mar, 2013.

SANTOS, V. D. Drenagem urbana em áreas especiais: o caso da bacia fechada do bairro de oitizeiro, João Pessoa. 2006. 148p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5549>>. Acesso em: 23 de jun. de 2019.

SARAVANAN, E.; MANJULA, R. Geomorphology based semidistributed approach for modeling rainfall-runoff modeling using GIS. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 908-916, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.114>.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos parte 1: classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 5-18, 2005. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p5-18>.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Ambi-**

**Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>.

SCHULER, A. E.; MORAES, J. M.; GROOP, J. D.; MILDE, L. C.; MARTINELLI, L. A.; GUANDIQUE, M. E. G.; VICTORIA, R. L. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.1, p. 61-70, 2003. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v8n1.p61-70>.

SCS – SOIL CONSERVATION SERVICE. Hydrology. In: U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. National Engineering Handbook. Washington: USDA, 1972. p. 101-1023.

SILVEIRA, Gislaíne Massuia da. Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta. 2010. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.

TUCCI, C. E. M. et al. **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, 2003.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. **Porto Alegre: ABRH/RHAMA**, v. 11, 2007.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos distribuídos. **Rhama**, Porto Alegre, fev. 2010.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 678p. (Coleção da ABRH).

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. NRCS – Natural Resources Conservation Service. CED – Conservation Engineering Division. Technical Release 55 (TR-55): urban hydrology for small watersheds. 2nd ed. Washington, 1986.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. NRCS – Natural Resources Conservation Service. NEH: National Engineering Handbook. Part 630: hydrology. Washington, 2007. chap. 10.

VAEZA, Rafael Franco et al. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2012.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. **Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis.** Rev. bras. eng. agríc. Ambiente., Campina Grande, Vol 14, p. 55-64, 2010.

VENDRAME, I. F.; LOPES, W. A. B. Análise do Crescimento Urbano e seus Efeitos na Mudança da Dinâmica de Escoamento Superficial da Bacia do Pararangaba. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, v. 16, n. 21, Abril, INPE, p. 2555-2562, 2005.