

IX-904-AVALIAÇÃO DE VAZÕES DE PRÉ-DESENVOLVIMENTO SOB DIFERENTES CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS E FISIAGRÁFICAS NO DISTRITO FEDERAL

Sara Janice Duarte de Carvalho ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Brasília (UnB). Mestranda do Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UnB).

Endereço ⁽¹⁾: Asa Norte, Distrito Federal - e-mail: sarajanicee@gmail.com

Isabela Yonaha de Oliveira ⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Brasília (UnB).

Endereço ⁽²⁾: Asa Norte, Distrito Federal - e-mail: isabelayonaha@gmail.com

Andréia Almeida ⁽³⁾

Doutora em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UnB). Professora da Faculdade de Planaltina (UnB).

Endereço ⁽³⁾: Planaltina, Distrito Federal - e-mail: andreia.almeida@unb.br

Sérgio Koide ⁽⁴⁾

PhD em Recursos Hídricos pelo Imperial College London. Professor do Programa Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UnB).

Endereço ⁽⁴⁾: Asa Norte, Distrito Federal - e-mail: skoide@unb.br

RESUMO

No planejamento do sistema de drenagem de um local, para avaliação do impacto do lançamento de águas coletadas pelo sistema, o projeto deve considerar o cenário de pré-desenvolvimento e compará-lo com o cenário posterior à execução da obra proposta. A vazão de pré-desenvolvimento do Distrito Federal foi estimada pela CONCREMAT (2009) no Plano Diretor de Drenagem Urbana do DF (PDDU), com base no Método Racional, assumindo-se um valor para o Coeficiente de escoamento Superficial $C=0,15$, o que levou a uma vazão de 24,4 L/s/ha. Esse valor foi adotado na Resolução nº 09/2011 da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF (ADASA), mas não representa as diferentes condições pedológicas, fitofisionômicas e fisiográficas locais.

Sendo assim, o presente trabalho tem como foco a avaliação da vazão de pré-desenvolvimento regulamentada atualmente no DF, por meio da aplicação de diferentes abordagens, métodos de infiltração e configurações ambientais da região de estudo. O trabalho foi dividido em duas etapas: aplicação do método racional na definição de vazões de pré-desenvolvimento, a partir de Coeficientes de escoamento calculados com o Modelo CN; e comparação entre o Modelo CN e o Método Racional, a partir da compatibilização de suas variáveis.

Por meio dos resultados, verifica-se que a adoção de um valor único de vazão de pré-desenvolvimento no DF deve ser revisada, pois diferentes configurações ambientais ocasionam valores de vazões distintos. É necessário considerar as diferentes características pedológicas, fisiográficas e fitofisionômicas locais. Além disso, é de suma importância entender os diferentes métodos de infiltração e suas limitações, de forma que sua aplicação seja efetiva e representativa da realidade.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem Urbana, Escoamento Superficial, CN, Método Racional.

INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento demográfico urbano brasileiro, a partir de 1970, ocasionou elevada pressão sob o uso e ocupação do solo que, em geral, não foi acompanhada por uma gestão e planejamento adequados (Fernandes

et al., 2016). Como consequências, ocorrem alterações nos processos de escoamento natural das bacias hidrográficas, aumento da frequência e magnitude das inundações e degradação da qualidade da água (Tucci, 2016). Visando reduzir os impactos no âmbito das águas pluviais, os projetos de drenagem devem se embasar nas vazões máximas naturais da bacia para que os efeitos da ocupação urbana no ciclo hidrológico não gerem aumento significativo no volume do escoamento superficial transferido para jusante.

De modo geral, as equações que estimam as vazões de escoamento nas bacias em condições naturais, como as do Método Racional e do Modelo CN, consideram parâmetros relacionados ao tipo de solo, uso e ocupação e precipitação para determinação dos valores. No entanto, há a necessidade de uma reflexão mais aprofundada sobre os métodos existentes para o estabelecimento de vazões de pré-desenvolvimento, os fatores influentes e como considerá-los nas regulamentações.

No Distrito Federal, uma vazão de pré-desenvolvimento única, de 24,4 L/s/ha, foi estimada pela CONCREMAT (2008) no Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) por meio da aplicação do método racional. Esse valor foi adotado na Resolução n° 09/2011 da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF (ADASA) como a vazão limite para outorgas de lançamento de águas pluviais para jusante e em corpos de água lóticos, para empreendimentos com área superior a 600 m². Todavia, da forma como foi estimada, essa vazão não abrange as diferentes características pedológicas e fisiográficas existentes no DF. Áreas com permeabilidades naturais reduzidas, como as de cambissolos em relação as de latossolos (Alves e Castro, 2009), apresentam vazões superiores à vazão regulamentada.

A proposta deste trabalho foi avaliar vazões de pré-desenvolvimento no DF que combinem diferentes pedologias e fisiografias. O trabalho foi dividido em duas etapas: aplicação do método racional na definição de vazões de pré-desenvolvimento, a partir de Coeficientes de Escoamento calculados com o Modelo CN; e comparação entre o Modelo CN e o Método Racional, a partir da compatibilização de suas variáveis. Os resultados possibilitam uma análise crítica em relação aos fatores influentes no estabelecimento de vazões de pré-desenvolvimento e como considerá-los nas regulamentações, visando a discussão de diretrizes que forneçam subsídios para uma futura revisão da Resolução n° 09/2011 da ADASA.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada por meio de simulações de vazões naturais em condições de pré-desenvolvimento no Distrito Federal, levando-se em consideração diferentes arranjos pedológicos e fisiográficos locais. Os cálculos foram efetuados em planilha do programa Excel, permitindo a comparação entre o Modelo CN e o Método Racional, além de uma análise em relação ao valor regulamentado atualmente na região de estudo.

O Distrito Federal apresenta uma área territorial de 5.760,784 Km², com fitofisionomias do Cerrado variando de formas campestres às formações florestais, como campos e cerradões. De acordo com o levantamento da EMBRAPA (1941), os tipos de solos predominantes são os latossolos (54,50%) e cambissolos (20,98%). O relevo do DF é caracterizado por feições em sua maioria planas (ZEE, 2018) e segundo Cardoso et al. (2015) o clima é tropical, com as estações bem definidas: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril). Além disso, é válido ressaltar que o DF está localizado na cabeceira de três relevantes bacias hidrográficas – a do Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná – reforçando a importância de uma adequada gestão hídrica local.

A execução do trabalho foi realizada em duas etapas: aplicação do método racional para diferentes condições pedológicas e fisiográficas a partir do modelo CN, levando-se em consideração as premissas utilizadas por Tucci (2001) na definição da vazão de pré-desenvolvimento do DF; comparação entre o método racional e modelo CN, por meio de sua aplicação em condições pedológicas e topográficas semelhantes.

APLICAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL NA DEFINIÇÃO DE VAZÕES DE PRÉ-DESENVOLVIMENTO

Da mesma forma que Peplau (2013), realizou-se as seguintes etapas para a aplicação do método racional:

a- definição dos valores de CN representativos para os solos dos tipos A, B, C e D (SCS, 1972), de acordo com as condições de pré-urbanização do DF;

b- adoção de diferentes áreas de drenagem;

c- definição da velocidade de escoamento, de acordo com a Equação de BIDONE E TUCCI (1995), Equação 1;

$$v = k \times s^{0,5} \quad \text{Equação 1}$$

Onde v é a velocidade de escoamento (m/s), k é a taxa de cobertura do solo e s é a declividade do terreno (%).

d- definição dos valores de tempo de concentração para as áreas de drenagem, adotando-se o tempo de concentração igual ao tempo de viagem, Equação 2;

$$tc = \frac{L}{v} \quad \text{Equação 2}$$

Onde tc é o tempo de concentração (s), L é o comprimento do talvegue (m) e v é a velocidade do escoamento (m/s).

e- cálculo das intensidades de precipitação, de acordo com a IDF-DF (CONCREMAT, 2008), Equação 3;

$$I = \frac{1574,7 \times TR^{0,207}}{(Tc + 11)^{0,884}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde I é a intensidade da chuva (mm/h), TR é o tempo de Retorno (anos), Tc é o tempo de concentração (minutos).

f- cálculo da precipitação total, capacidade de armazenamento e precipitação efetiva com base no modelo CN, Equações 4, 5 e 6;

$$Pt = tc \times I \quad \text{Equação 4}$$

Onde Pt é a precipitação total (mm), tc é o tempo de concentração (h) e I é a intensidade da precipitação (mm/h).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 5}$$

Onde S é a capacidade de armazenamento (mm) e CN é o Número da Curva.

$$Pef = \frac{(Pt - 0,2 \times S)^2}{(Pt + 0,8 \times S)} \quad \text{Equação 6}$$

Onde Pef é a precipitação efetiva (mm), Pt é a precipitação total (mm) e S é a capacidade de armazenamento (mm).

g- cálculo dos coeficientes de escoamento, Equação 7;

$$C = \frac{Pef}{Pt} \quad \text{Equação 7}$$

Onde C é o coeficiente de escoamento (adimensional), Pef é a precipitação efetiva (mm) e Pt é a precipitação total (mm).

h- estimativa das vazões de pré-desenvolvimento em função das diversas condições, Equação 8.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Equação 8

Onde Q é a vazão (m³/s), C é o coeficiente de escoamento (adimensional), I é a intensidade da precipitação (mm/h) e A é a área da bacia (km²).

A escolha de valores de CN representativos para uma condição geral de pré-ocupação foi feita com base na Tabela de valores da USDA (1986), Tabela 1. Dessa forma, após análise com base nas características de uma vegetação de Cerrado nativo, considerou-se para os cálculos os valores de CN médios para uma vegetação arbustiva misturada ao mato e erva daninha.

Tabela 1: Valores de CN para condição de pré-urbanização (USDA, 1986).

Vegetação arbustiva misturada ao mato e erva-daninha				
Tipo de solo	A	B	C	D
Baixa cobertura (condições pobres)	48	67	77	83
Média Cobertura (condições razoáveis)	35	56	70	77
Alta Cobertura (condições boas)	30	48	65	73
Média	35	56	70	77

Para a definição das áreas de drenagem, levou-se em consideração o valor de lote residencial descrito na Resolução n° 09/11 da ADASA (600 m²), que regulamenta a vazão de pré-desenvolvimento no DF, e valores intermediários ao valor de 100 ha, tomado como base para a o cálculo da vazão de pré-desenvolvimento na região de estudo. Além disso, foi adotada a mesma simplificação utilizada em Tucci (2001), ou seja, lotes retangulares com cobertura do solo homogênea e com comprimento L igual ao dobro da largura e escoamento na direção L. Para a definição da velocidade de escoamento, adotou-se um valor de k=0,08, de forma que as velocidades resultantes não fossem elevadas.

Os tempos de concentração adotados nos cálculos foram selecionados a partir da elaboração de um gráfico contendo a relação entre o tempo de concentração e a declividade do terreno, de acordo com as diferentes áreas, Figura 1.

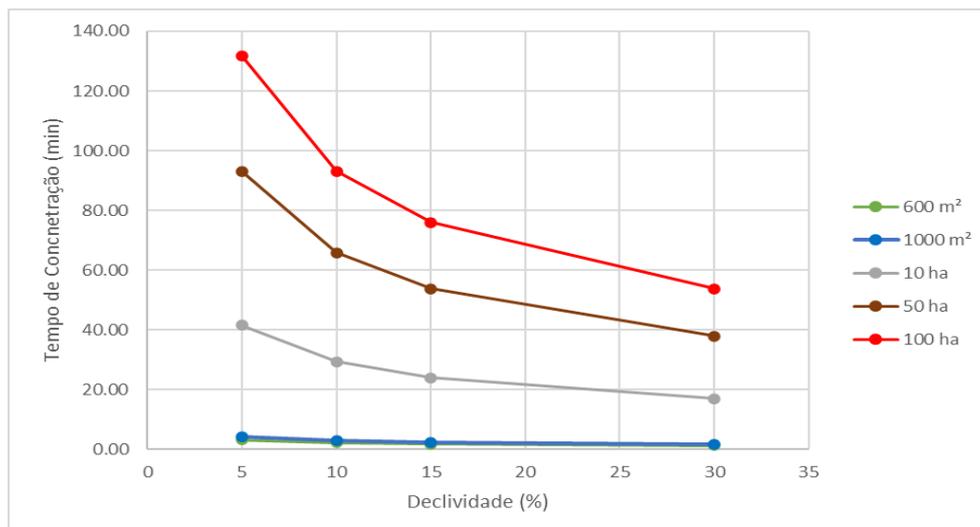


Figura 1: Tempo de Concentração X Declividade.

Por meio do gráfico, verificou-se que o tempo de concentração de 15 minutos cobre as áreas menores que 1000 m², o tempo de concentração de 45 minutos cobre as áreas até 10 ha e o tempo de concentração de 2,5 h

cobre todas as áreas. Para os cálculos, a fim de evitar baixas intensidades de precipitação, não foram utilizados tempos de concentração superiores à 1h. Sendo assim, adotou-se:

- Tc= 15 min para áreas menores que 1000 m²
- Tc= 45 min para áreas menores ou iguais a 10 ha e maiores que 1000 m²
- Tc = 1 h para áreas maiores que 10 ha

A Tabela 2 apresenta o resumo das variáveis de estudo consideradas e os intervalos analisados.

Tabela 2: Variáveis de estudo analisadas.

Área (km ²)	0.0006
	0.001
	0.1
	0.5
	1
Tempo de retorno (anos)	2
	5
	10
Declividade	5
	10
	15
	30
Solos	A
	B
	C
	D

COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO RACIONAL E O MÉTODO CN NA OBTENÇÃO DE VAZÕES DE PRÉ-DESENVOLVIMENTO

Visando uma análise comparativa entre as vazões de pré-desenvolvimento geradas pelo Método racional e o Modelo CN, considerou-se as mesmas características fisiográficas, pedológicas e de uso e ocupação em ambos os métodos. As Equações utilizadas são as mesmas já descritas no tópico anterior. As análises foram feitas assumindo-se características de ocupação de um terreno natural e variando-se o tamanho das áreas, fator de forma (relação entre os lados do retângulo), tempo de concentração, declividade da bacia e o tipo de solo.

Da mesma forma que no tópico anterior, para a seleção das áreas de drenagem levou-se em consideração o valor de lote residencial descrito na Resolução n° 09/11 da ADASA, que regulamenta a vazão de pré-desenvolvimento no DF, e valores intermediários ao valor de 100 ha, tomado como base para o cálculo da vazão de pré-desenvolvimento na região de estudo (Tucci, 2001). Considerou-se tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos nos cálculos das intensidades de precipitação, possibilitando uma avaliação para diferentes cenários de intensidade de precipitação.

Adotou-se para as bacias hidrográficas declividades de 5 e 20%, valores representativos das condições geomorfológicas do DF. Em relação aos fatores de forma, assumiu-se bacias retangulares com valores variando de 0,1 a 1, representando áreas alongadas até um quadrado. Testou-se os grupos hidrológicos dos solos A e D, representando a melhor e a pior condição de infiltração, respectivamente. Além disso, utilizou-se a Equação de Kirpich para definição do tempo de concentração por ser mais usual, Equação 9.

$$t_c = 0,0663L^{0,77} \times S^{-0,385}$$

Equação 9

A Tabela 3 apresenta as variáveis consideradas nas análises, bem como seus intervalos.

Tabela 3: Variáveis de estudo analisadas.

Variáveis	Intervalo
Impermeabilização	Terreno com características naturais
Área (km ²)	0.0006
	0.001
	0.1
	0.5
	1
Tempo de retorno (anos)	2
	5
	10
Declividade (%)	5
	20
Fator de Forma	0,1
	0,5
	1
Solo	A
	D

Na definição dos valores de CN, considerou-se os valores médios para uma vegetação arbustiva misturada ao mato e erva-daninha (USDA, 1986), Tabela 1, assumindo-se que essa situação é a que mais se aproxima das características de uma vegetação do Cerrado. Ademais, para a definição dos valores de Coeficiente de Escoamento, considerou-se a Tabela de MCCuen (1998), Tabela 4, que relaciona os grupos hidrológicos de solo, a ocupação do solo, a declividade e os coeficientes de escoamento. Nesse caso, ao analisar a taxa de impermeabilização – por meio aplicação da Equação de ponderação entre área permeável e impermeável – considerada na definição dos valores de CN para uma vegetação arbustiva misturada ao mato e erva daninha da Tabela da USDA, verificou-se que a mesma se aproxima da taxa de impermeabilização considerada para Zona Residencial com 1000 m² da Tabela de MCCuen. Dessa forma, a nível de comparação adotou-se os valores de Coeficiente de Escoamento para uma Zona Residencial com 1000 m².

Tabela 4: Valores de Coeficiente de Escoamento (MCCuen, 1998).

Uso e ocupação	A		B		C		D	
	2-6%	6%+	2-6%	6%+	2-6%	6%+	2-6%	6%+
Zona Residencial com 1000 m ²	0.26	0.29	0.29	0.33	0.31	0.36	0.34	0.4

RESULTADOS

APLICAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL PARA DEFINIÇÃO DE VAZÕES DE PRÉ-DESENVOLVIMENTO

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os Coeficientes de Escoamento médios obtidos a partir do Modelo CN para as condições de pré-desenvolvimento do DF, para os tipos de solos A, B, C e D e tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos.

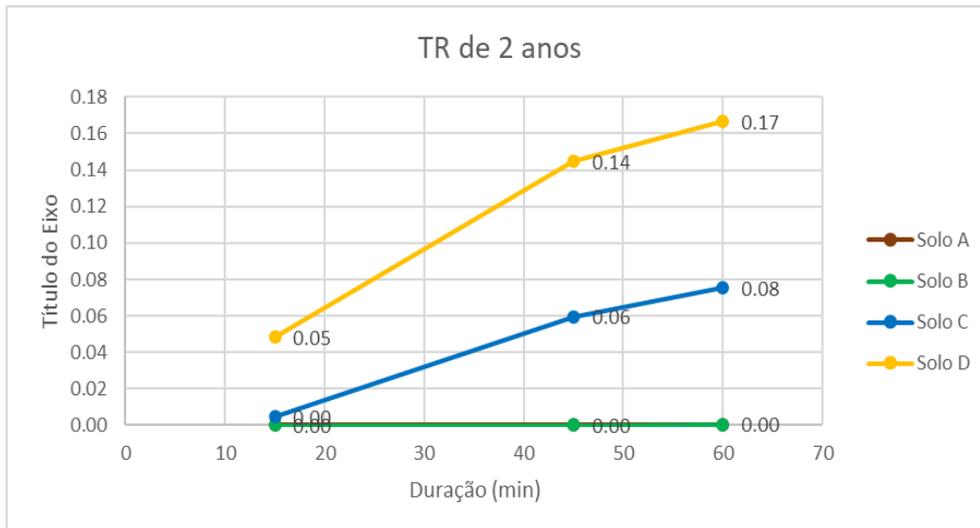


Figura 2: Coeficientes de Escoamento para TR de 2 anos.

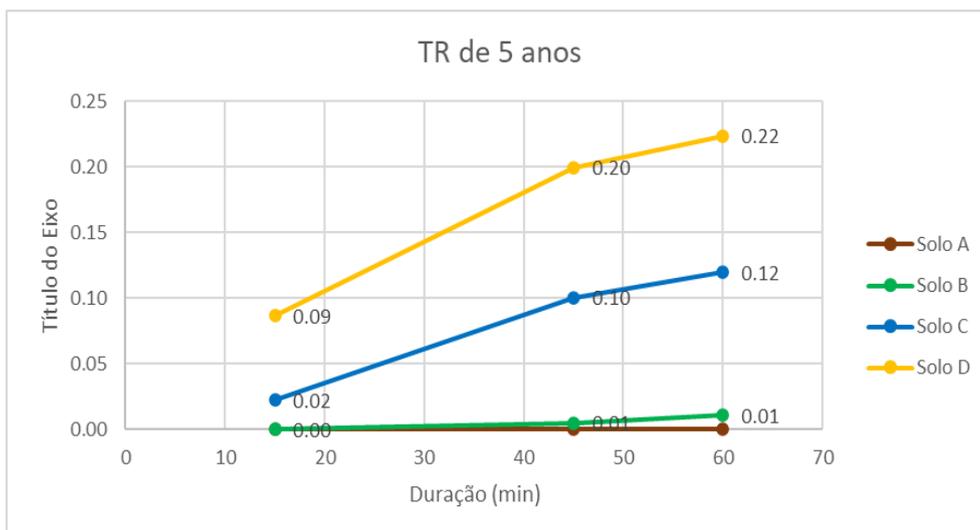


Figura 3: Coeficientes de Escoamento para TR de 5 anos.

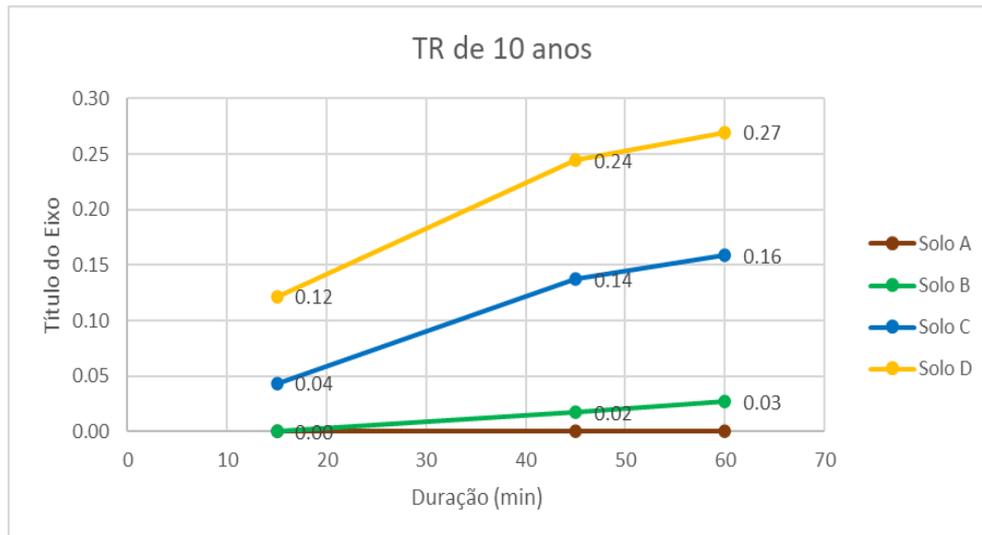


Figura 4: Coeficientes de Escoamento para TR de 10 anos.

No cálculo da vazão de pré-desenvolvimento do DF, Tucci (2001) considerou-se um valor de Coeficiente de Escoamento intermediário (0,15) para os grupos de solos do SCS (1972), para um tempo de retorno de 10 anos e tempo de concentração de 1h. No entanto, por meio das Figuras é possível analisar que diferentes condições da bacia resultam em valores de vazões distintos. Principalmente para os solos A e B, que são mais permeáveis, os valores de Coeficiente de Escoamento são bem menores que 0,15, demonstrando que nesses casos as regulamentações poderiam ser mais restritivas. Já para solos menos permeáveis, como os do tipo C e D, os valores de Coeficiente de Escoamento são superiores a 0,15, demonstrando que nesses casos as regulamentações deveriam ser menos restritivas.

A Tabela 5 apresenta as vazões de pré-desenvolvimento obtidas para o DF, a partir dos Coeficientes de Escoamento encontrados para os tipos de solos A, B, C e D e tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos.

Tabela 5: Vazões de Pré-Desenvolvimento obtidas com os Coeficientes de Escoamento calculados.

Vazões de Pré-Desenvolvimento para o DF (l/s/ha)					
	Área	Solo A	Solo B	Solo C	Solo D
TR= 2anos	600 m ² e Tc= 15 min	0,00	0,00	1,38	13,77
	1000 m ² e Tc = 15 min	0,00	0,00	1,38	13,77
	10 ha e Tc= 45 min	0,00	0,00	8,57	20,84
	50 ha e Tc= 1h	0,00	0,06	8,79	19,45
	100 ha e Tc= 1h	0,00	0,06	8,79	19,45
TR= 5 anos	600 m ² e Tc= 15 min	0,00	0,00	7,74	29,78
	1000 m ² e Tc = 15 min	0,00	0,00	7,74	29,78
	10 ha e Tc= 45 min	0,00	0,89	17,52	34,75
	50 ha e Tc= 1h	0,00	1,55	16,93	31,56
	100 ha e Tc= 1h	0,00	1,55	16,93	31,56
TR= 10 anos	600 m ² e Tc= 15 min	0,00	0,00	17,30	48,13
	1000 m ² e Tc = 15 min	0,00	0,00	17,30	48,13
	10 ha e Tc= 45 min	0,00	3,53	27,56	49,10
	50 ha e Tc= 1h	0,00	4,43	25,85	43,90
	100 ha e Tc= 1h	0,00	4,43	25,85	43,90

Os resultados da Tabela 5 mostram que as diferentes características fisiográficas, pedológicas e fitofisionômicas de uma bacia ocasionam em valores de vazões de pré-desenvolvimento diferentes. Observa-se que a vazão de 24,4 L/s/ha regulamentada no DF foi atendida para os solos A e B em todas as situações. Já para os solos C e D, para algumas áreas, tempo de concentração e tempos de retorno, as vazões resultantes mostraram-se bem acima do valor de 24,4 L/s/ha.

COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO RACIONAL E O MÉTODO CN NA OBTENÇÃO DE VAZÕES DE PRÉ-DESENVOLVIMENTO

Os cálculos das vazões de pico para o Método Racional e o Modelo CN foram realizados por meio de uma compatibilização entre o Coeficiente de Escoamento e o Número da Curva (CN). Essa compatibilização entre as variáveis dos métodos pode ser visualizada na Tabela 6.

Tabela 6: Compatibilização entre C e CN.

Declividade de 5%							
Tipo de solo							
A		B		C		D	
C	CN	C	CN	C	CN	C	CN
0,26	35	0,29	56	0,31	70	0,34	77
Declividade de 20%							
Tipo de solo							
A		B		C		D	
C	CN	C	CN	C	CN	C	CN
0,29	35	0,33	56	0,36	70	0,4	77

A partir da relação entre Coeficiente de Escoamento e CN, foram comparadas as vazões para os diferentes cenários envolvendo combinações das características pedológicas e fisiográficas de uma bacia hidrográfica. Os resultados obtidos podem ser visualizados nas Figuras 5 a 10.

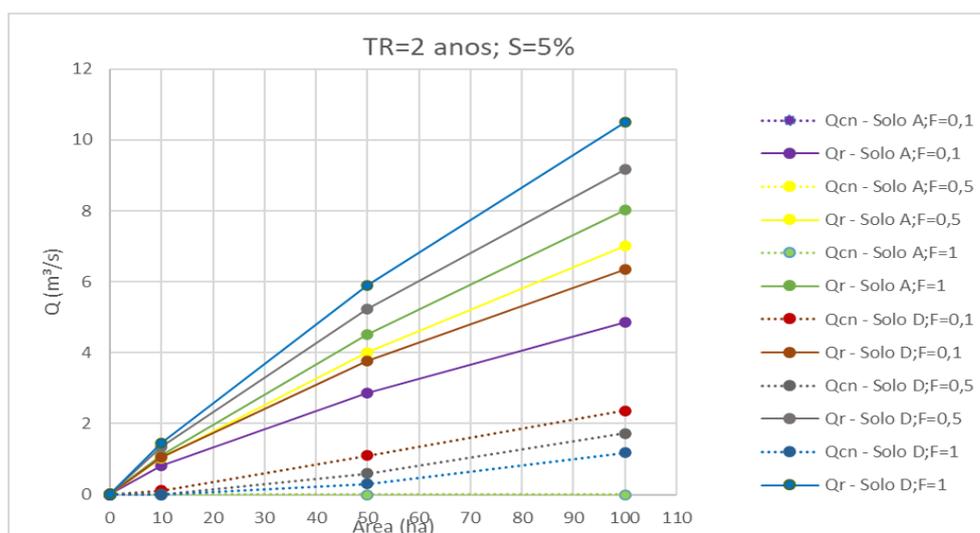


Figura 5: Vazões de Pico para TR de 2 anos e Declividade de 5%.

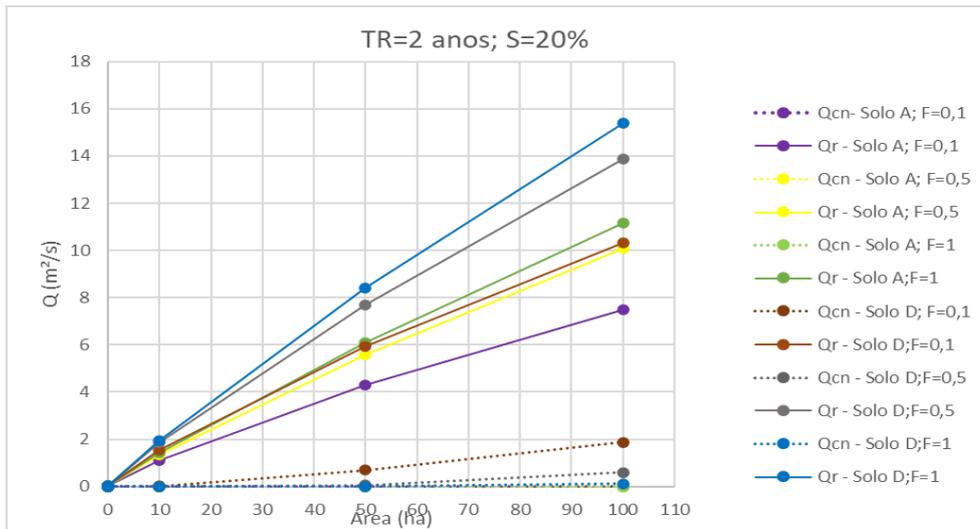


Figura 6: Vazões de Pico para TR de 2 anos e Declividade de 20%.

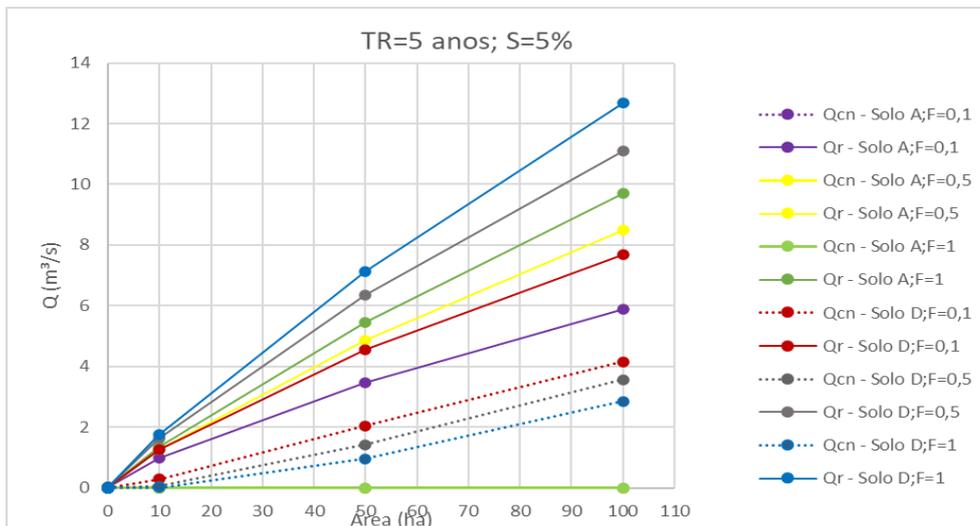


Figura 7: Vazões de Pico para TR de 5 anos e Declividade de 5%.

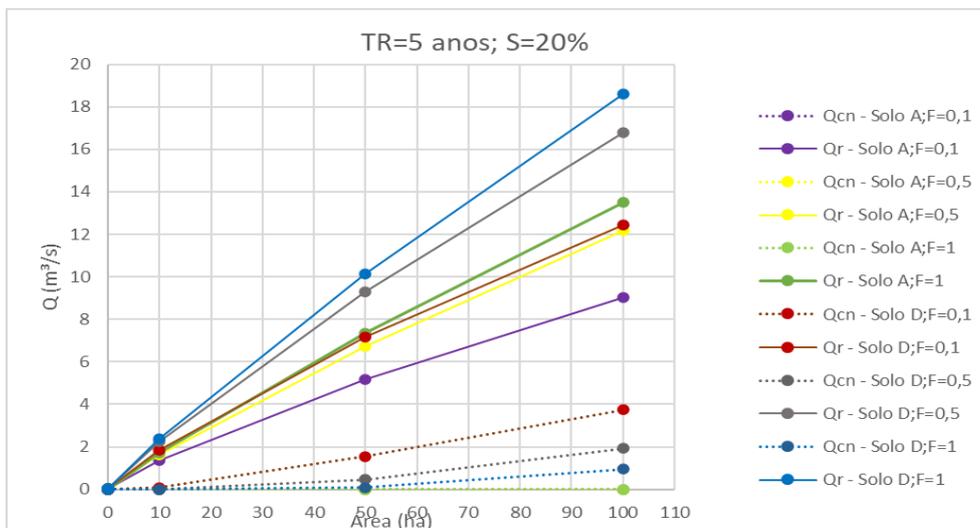


Figura 8: Vazões de Pico para TR de 5 anos e Declividade de 20%.

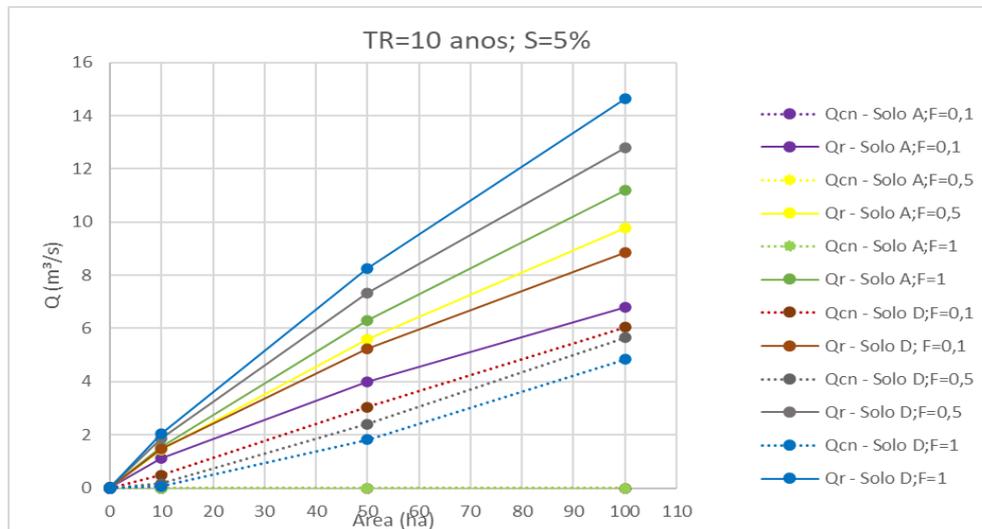


Figura 9: Vazões de Pico para TR de 10 anos e Declividade de 5%.

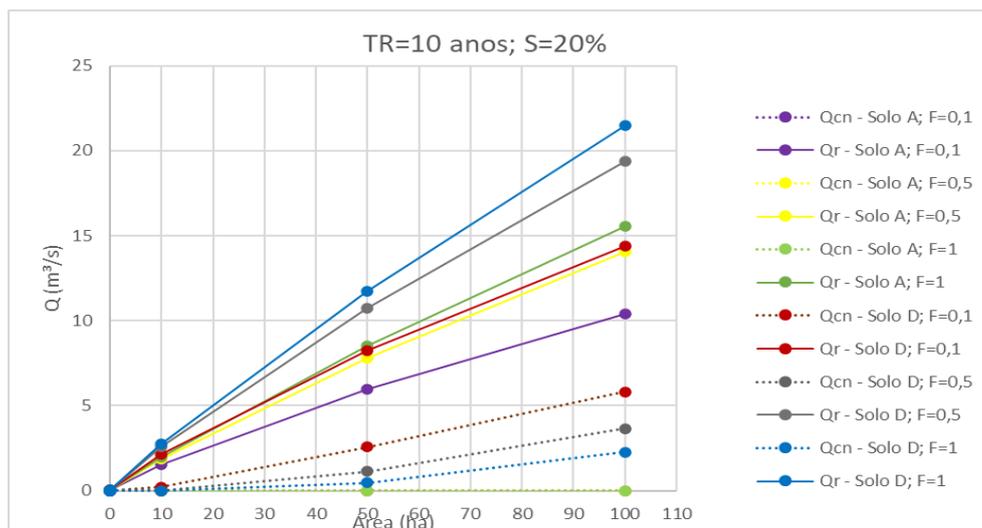


Figura 10: Vazões de Pico para TR de 10 anos e Declividade de 20%.

Percebe-se que para a maioria das situações, não foram geradas vazões para o Solo A com o Modelo CN. Isso acontece porque o modelo CN considera em sua metodologia um valor de abstração inicial da precipitação (0,2S), o que significa que para os casos em que a vazão é nula, a abstração inicial é maior que a precipitação total da chuva. Além disso, nota-se que para solos mais permeáveis, como o Solo A, os métodos apresentam maior divergência nos resultados. Segundo Oliveira (2023), quanto maior a porcentagem de área impermeável, menor é a diferença entre o Método Racional e o Modelo CN, o que justifica as diferenças dos resultados, pois para os cálculos foi considerado um terreno natural com baixa taxa de impermeabilização.

Por meio dos resultados, observa-se que para o Modelo CN, os solos dos tipos A e B apresentaram valores de vazões nulos para a maior parte dos casos, devido aos baixos valores de CN e alta abstração inicial. Nas situações em que foram geradas vazões não nulas para os solos dos tipos A e B, os valores são bem inferiores aos 24,4 L/s/ha (2,44 m³/s) regulamentado no DF. Já para os solos C e D, menos permeáveis, determinadas condições ocasionaram em vazões superiores a adotada no DF.

Em relação ao Método Racional, foram geradas vazões para os solos dos tipos A, B, C e D, em todas as condições, pois esse método considera que a infiltração seguirá a mesma proporção durante toda a precipitação, de acordo com o Coeficiente de Escoamento. Além disso, ao aplicar-se esse método utilizando

os Coeficientes de Escoamento de MCCuen, as vazões geradas se mostraram, em sua maioria, bem superiores à vazão de pré-desenvolvimento do DF (24,4 L/s/ha). Os resultados corroboram a ideia de que diferentes métodos de infiltração, características pedológicas, fisiográficas e fitofisionômicas ocasionam valores de vazões distintos, sendo necessária uma análise caso a caso para os locais de interesse.

Nota-se, para ambos os métodos, que considerando o mesmo tempo de retorno, declividade e fator de forma, as vazões são maiores em áreas menores. Ademais, conforme o tempo de retorno aumenta, as vazões também se elevam. Para análise do comportamento das vazões geradas em relação ao tempo de concentração, fator de forma e declividade, foram elaborados os gráficos das Figuras 11, 12 e 13 considerando uma bacia de 100 ha, solo do tipo D, tempo de retorno de 10 anos e declividade de 20%.

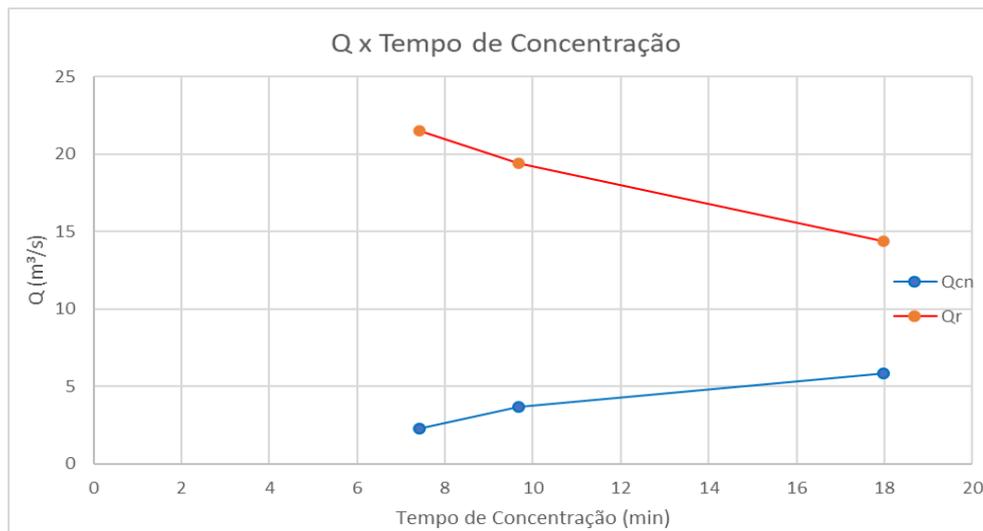


Figura 11: Relação entre Vazão e Tempo de Concentração.

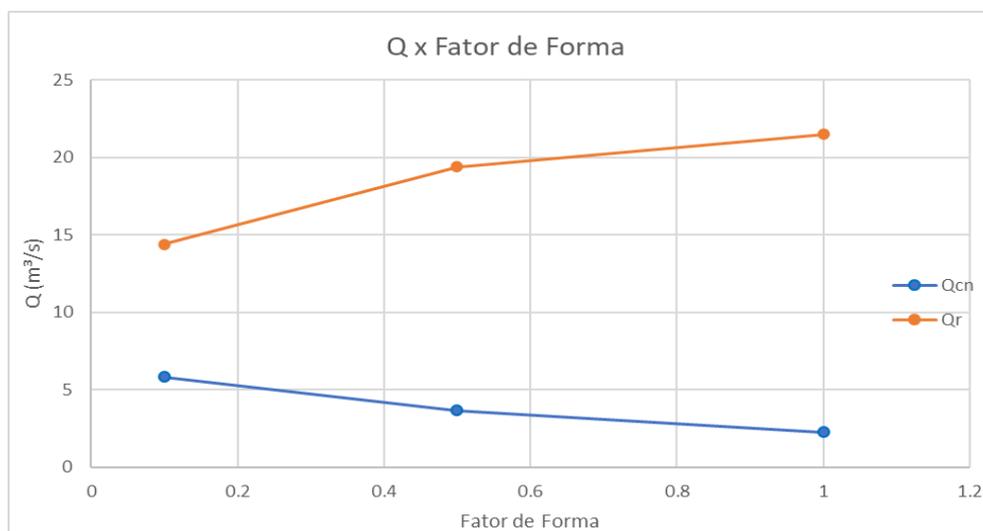


Figura 12: Relação entre Vazão e Fator de Forma.

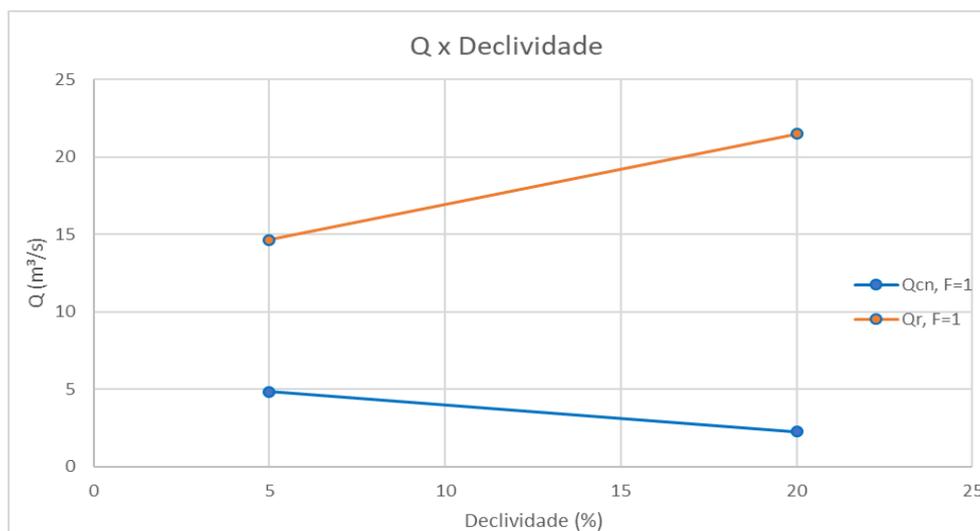


Figura 13: Relação entre vazão e Declividade.

A partir dos gráficos, nota-se que as vazões provenientes da aplicação do Método Racional e Modelo CN variam de forma não linear com o aumento do tempo de concentração. Além disso, para maiores tempos de concentração percebe-se que as vazões dos dois métodos se aproximam. Segundo Oliveira (2023), isso explica o motivo do aumento da área resultar em menor divergência entre os métodos analisados. Além disso, o aumento do fator de forma e da declividade leva a um tempo de concentração menor, o que também justifica a maior divergência entre o Método Racional e o Modelo CN quando o fator de forma e declividade aumentam.

CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de avaliar vazões de pré-desenvolvimento geradas no Distrito Federal sob diferentes abordagens e métodos, de acordo com diversas configurações de fatores ambientais. Para atingir esse objetivo utilizou-se de uma planilha de cálculo e aplicou-se o Método Racional e Modelo CN, considerando-se diversas variáveis, tais como tipo de solo, tamanho da área, fator de forma, tempo de concentração, tempo de retorno e declividade.

A vazão de pré-desenvolvimento do DF foi obtida por meio da aplicação do Método Racional, considerando-se um Coeficiente de Escoamento igual a 0,15, tempo de retorno de 10 anos, tempo de concentração de 1 h e área de 100 ha. Na primeira etapa do trabalho, a partir do Modelo CN foram calculados Coeficientes de Escoamento para diferentes condições pedológicas e fisiográficas e, posteriormente, determinadas as respectivas vazões de pré-desenvolvimento. Os resultados mostraram que a vazão de 24,4 L/s/ha regulamentada no DF foi atendida para os solos A e B em todas as situações. Já para os solos C e D, para determinadas situações, as vazões mostraram-se bem acima do valor de 24,4 L/s/ha.

Para análise comparativa do Método Racional e Modelo CN, foram compatibilizados valores de CN (USDA, 1986) e de Coeficientes de Escoamento (MCCuen, 1998), assumindo-se características próximas a vegetação de cerrado com baixa impermeabilização. Por meio das análises comparativas entre o Modelo CN e o Método Racional, percebe-se que ambos são mais divergentes para baixas taxas de impermeabilização, menores áreas e tempos de concentração, altas declividades e fatores de forma.

Percebe-se que quando aplicado o Modelo CN, as vazões foram em sua maioria nulas devido à alta abstração inicial e que para as situações em que foram gerados escoamentos, os valores atendem aos 24,4 L/s/ha regulamentado atualmente no DF como vazão de pré-desenvolvimento. A aplicação do método racional por sua vez ocasionou valores de vazões para todas as situações, de forma que na maioria dos casos esses resultados foram superiores à vazão de pré-desenvolvimento regulamentada no DF. Essas discrepâncias ocorrem devido as diferentes relações dos métodos com suas variáveis.

Os resultados possibilitam a conclusão de que para fixação de vazões de pré-desenvolvimento é necessário considerar as diferentes características pedológicas, fisiográficas e fitofisionômicas locais, assim como saber aplicar corretamente os diversos métodos de infiltração existentes. A adoção de um valor único deve ser revisada, pois pode ocasionar o superdimensionamento de obras e custos em caso de solos menos permeáveis, como cambissolos, ou ainda menor restrição que o indicado em locais de solos mais permeáveis, como latossolos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADASA, AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, E. E S. B. DO D. F. (2018). Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas no Distrito Federal. Brasília, DF: Superintendência de Drenagem Urbana, v. 1.
2. Alves, T.M. e Castro, S.S.de (2009). “Vulnerabilidade e risco à contaminação dos solos da área de recarga do aquífero Guarani no Estado de Goiás”. Boletim Goiano de Geografia, 29(1), 135-150.
3. Brito, L.K.S. (2020). Avaliação das características geomorfológicas e padrões de uso e ocupação do solo urbano no Distrito Federal no manejo de águas pluviais. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 201p.
4. Cardoso, M. R. D.; Marcuzzo, F. F. N. & Barros, J. R. (2014). Classificação Climática de Köpen-Geiger para o Estado de Goiás e Distrito Federal. In: ACTA Geografia, Boa Vista – RR, 8(16), 40-55.
5. EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1978). Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, Boletim Técnico nº 53. Rio de Janeiro – RJ, 472 p.
6. Fernandes, B.J; Costa, R.M.; Zaidan, R.T. (2016). Análise Multitemporal do Uso e Ocupação da Terra Correlato com a Legislação de Parcelamento e Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Humaitá, Juiz de Fora – MG. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-254-1600.html>. Acesso em: 08 de janeiro de 2023.
7. McCuen, R.H. (1988). Hydrologic Analysis And Design. Pearson Education. Nova Jersey 833p.
8. Peplau, G.J.R. (2013). Análise de Critérios para Definição de Vazão de Restrição para o Controle do Escoamento Superficial Urbano. Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Riacho do Sapo, Maceió-AL. Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Alagoas, AL, 127p.
9. Oliveira, I. Y. (2023). Estudo Comparativo do Método Racional com o Método CN para o Cálculo do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. Monografia de Projeto Final em Engenharia Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 87p.
10. SCS – Soil Conservation Service. (1972). National Engineering Handbook: Section 4, Hydrology.
11. Távora, B.E. (2017). Zona Ripária de Cerrado: Processos Hidrossedimentológicos. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 130p.
12. Tucci, C.E.M. (2001). Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.1, p.61-68.
13. Tucci, C. E. M. (2016). Regulamentação da Drenagem Urbana no Brasil. ABRH, v.13, n.1, p. 29-46.