

VI-226 - MODELAGEM E AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DEVIDO ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BACIA HIDROGRÁFICA NO DISTRITO FEDERAL

Cristiano Gonçalves Nascimento Gouveia⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Católica de Brasília – UCB. Especialista em Modelagem de Sistemas Complexos pela Universidade de Brasília – UnB. Aluno do MBA em Gerenciamento de Projetos da Fundação Getúlio Vargas – FGV. Aluno do Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília – UnB. Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb.

Endereço⁽¹⁾: Av. Sibiriruna, Lotes 13/21, Centro de Gestão Águas Emendadas, Edifício São Francisco 1º Andar, EPR – Águas Claras - Brasília - DF - CEP: 71.928-720 - Brasil - Tel: +55 (61) 3213-7551 - Fax: +55 (61) 3213-7185 - e-mail: CristianoGouveia@caesb.df.gov.br.

RESUMO

O processo urbanizador, que impermeabiliza o solo, é um impacto ambiental negativo que gera uma série de modificações hidrológicas nas bacias hidrográficas, tais como inundações e aumento do estresse hídrico em períodos de seca. Na busca de avaliar esse impacto, o presente artigo apresenta um estudo sobre o comportamento hidrológico da sub-bacia hidrográfica altamente antropizada do Alto Vicente Pires - Distrito Federal. Para tanto, a sub-bacia hidrográfica estudada foi caracterizada e avaliada com auxílio das ferramentas de geoprocessamento, dando origem aos cenários de análise: condição natural, condição antropizada em 2009 e mais três situações considerando diferentes níveis de recuperação de vegetação. O volume escoado superficialmente no cenário antropizado na sub-bacia estudada foi 86% maior que o volume escoado superficialmente em condições naturais e a vazão de pico, devido ao efeito da impermeabilização do solo, foi 3,22 vezes superior ao natural. Conclui-se que a impermeabilização do solo é um impacto significativo no ambiente urbano, passível de medidas de controle por meio de conservação do uso e ocupação do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Uso e ocupação do solo, Modelagem de Sistemas Hidrológicos, Drenagem Urbana.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização que, inevitavelmente, impermeabiliza o solo é fato motivador de uma série de problemas ambientais. O principal é o aumento do coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica onde o crescimento urbano acontece. A água que antes percolava o solo, mantinha-se por mais tempo no local precipitado e recarregava as águas subterrâneas é rapidamente transportada à jusante (TUCCI et al., 1995).

É importante citar que para alcançar a sustentabilidade no sistema de drenagem não é suficiente somente a adoção de medidas estruturais, as alternativas não estruturais, que envolvem legislação ou planos diretores, mapas de zoneamento de riscos e enchentes, seguros e normas urbanas já tem sido desenvolvidas e adotadas nas grandes cidades brasileiras passando a fornecer diretrizes para a ocupação urbana.

O presente estudo tem o objetivo de avaliar o acréscimo no escoamento superficial provocado pela urbanização na sub-bacia hidrográfica do alto Vicente Pires, no Distrito Federal, em relação à condição natural da bacia. Para tanto, configurou-se um modelo chuva-vazão no programa HEC-HMS 3.5 que permitisse a simulação da dinâmica hidrológica da sub-bacia em questão em cinco cenários: 01 – condição natural; 02 – condição antropizada; A – condição com 20% de solo exposto recuperado em relação ao cenário 02; B – condição com 40% de solo exposto recuperado em relação ao cenário 02; e, C – condição com 60% de solo exposto recuperado em relação ao cenário 02.

A área de estudo é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do córrego Vicente Pires, inserida na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, um dos afluentes do Lago Paranoá.

O córrego Riacho Fundo é um dos principais contribuintes do assoreamento do Lago Paranoá, tendo em vista a grande ocupação urbana de forma desordenada que esta bacia tem sofrido nos últimos anos.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Figura 01 apresenta os limites da sub-bacia hidrográfica do Alto Vicente Pires no contexto da bacia hidrográfica do Riacho Fundo. Para delimitar a bacia hidrográfica em estudo, utilizou-se um modelador de dados do ArcGIS, a extensão ArcHydro Tools (ESRI, 2002). Aplicou-se um Modelo Digital do Terreno – MDT para identificar as linhas divisoras de águas na bacia hidrográfica do córrego Vicente Pires, possibilitando, assim, a delimitação da área de estudo, com 14,42 km² de área e 18,44 km de perímetro.

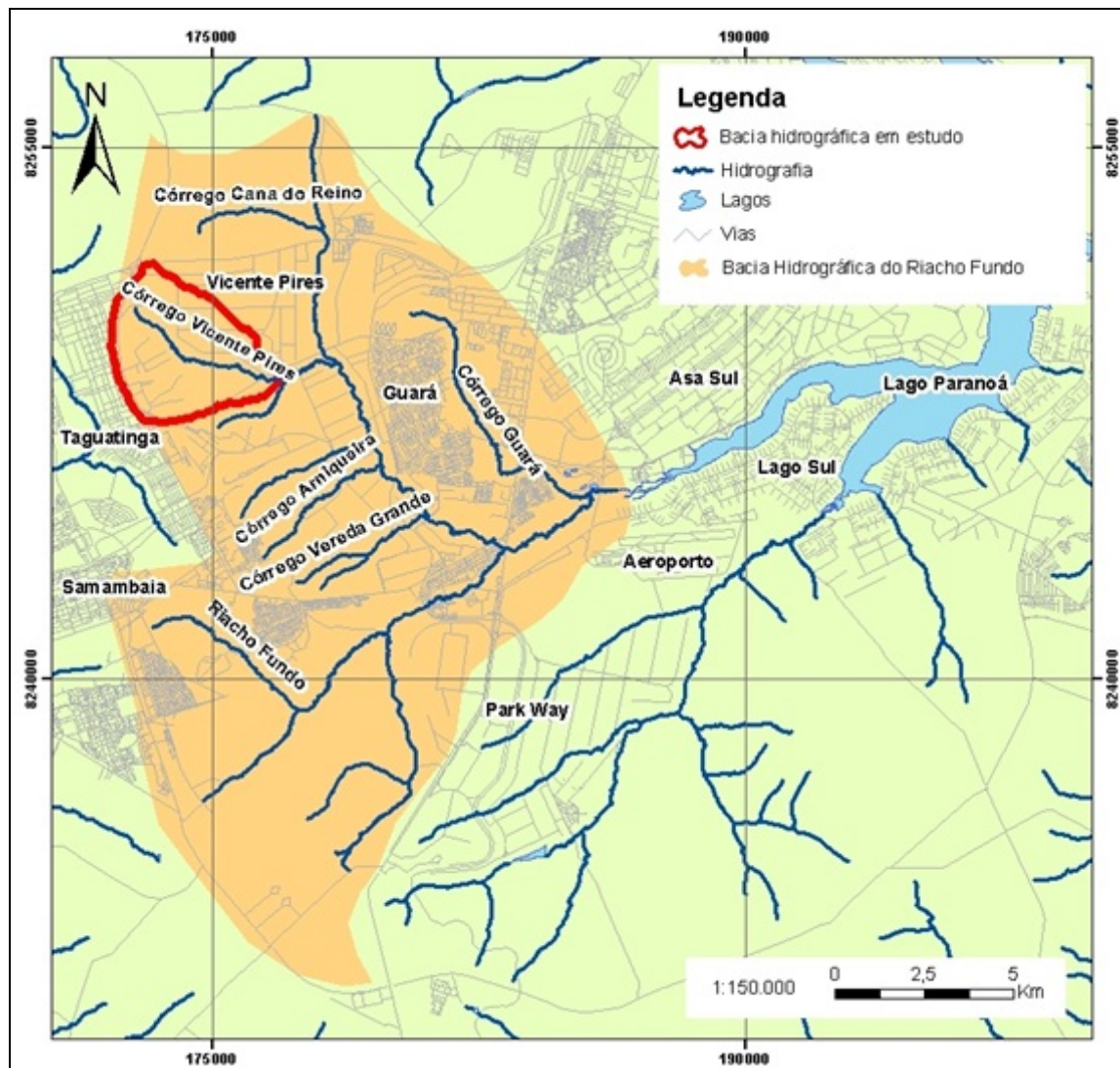


Figura 01: Mapa de localização da bacia do Alto Vicente Pires-DF.

COMPRIMENTO DA SUB-BACIA

Tratou-se o Modelo Digital do Terreno - MDT com algoritmos do ArcHydro Tools para extração dos seguintes parâmetros: direção do fluxo de água superficial e acúmulo do fluxo de água. Dessa forma, estimou-se o caminho mais longo que seria percorrido por uma partícula de água drenada na bacia hidrográfica. A Figura 02 apresenta qual o trajeto desse percurso ao longo da bacia em estudo, totalizando 6,73 km.



Figura 02: Comprimento da sub-bacia hidrográfica do Alto Vicente Pires.

CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA SUB-BACIA DO ALTO VICENTE PIRES

O tempo de concentração da sub-bacia hidrográfica foi calculado por meio da fórmula de Kirpich modificada, definida pela Equação (1) (DNIT, 2005).

$$T_C = 1,42 * (L^3 / H)^{0,385} \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

T_c é o tempo de concentração expresso em horas;

L é o comprimento do curso d' água expresso em km; e,

H é o desnível máximo geométrico da bacia hidrográfica expresso em metros.

Essa equação empírica fornece dados adequados para bacias de diversas dimensões e é uma modificação realizada pelo U.S. Soil Conservation Service da equação de Kirpich (KIRPICH, 1940 apud DNIT, 2005). Para bacias pequenas, a equação de Kirpich resulta em uma velocidade média de 4,0 km/h, e, para bacias maiores, de 4,8 km/h. Esses valores corroboram a aplicação dessa expressão para um leque expressivo de áreas (DNIT, 2005).

O desnível geométrico entre o ponto mais distante na bacia em relação ao exutório foi obtido por meio da captura da cota no MDT nesses extremos. A altimetria da bacia hidrográfica em estudo é apresentada na Figura 03. Nota-se que o desnível geométrico da bacia é igual a 160 metros.

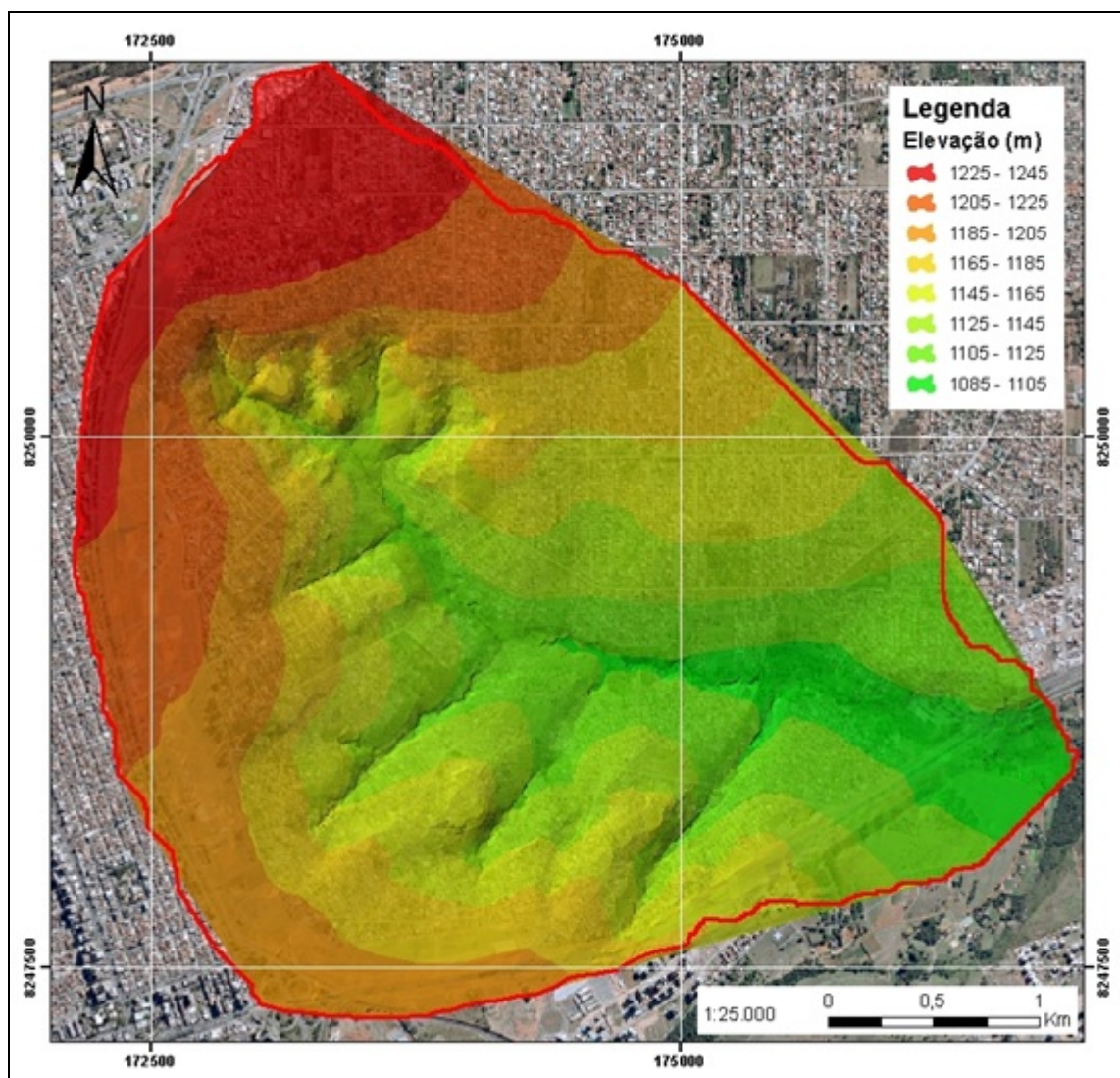


Figura 03: Altimetria da área de estudo.

Aplicando-se a fórmula de Kirpich modificada na bacia estudada, obteve-se o tempo de concentração igual a 1,82 horas.

CÁLCULO DO ÍNDICE DE CIRCULARIDADE DA SUB-BACIA

Para quantificar a susceptibilidade a cheias rápidas em bacia hidrográficas, V. C. Miller, em 1953, propôs o índice de circularidade, que é a relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro, definida pela Equação (2) (MILLER, 1953 apud CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$I_c = A / A_c \quad \text{equação (2)}$$

Em que:

I_c é o índice de circularidade;

A é a área da bacia considerada expressa em km^2 ; e,

A_c é a área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada expressa em km^2 .

Segundo MILLER (1953), para bacias com $I_c = 0,51$, o escoamento é moderado e há pequena probabilidade de cheias rápidas, para bacias com $I_c > 0,51$, há o favorecimento de processos de inundação (cheias rápidas) pela bacia ser circular, e, para bacias com $I_c < 0,51$, o escoamento é favorecido pela bacia ser alongada.

Considerando que a área da sub-bacia é 14,42 km² e seu perímetro é 18,44 km e, que, a área calculada do círculo com perímetro igual ao da bacia considerada é 27,14 km², o índice de circularidade da sub-bacia estudada é 0,53, podendo favorecer, ligeiramente, processos de inundação.

VOLUME ESCOADO SUPERFICIALMENTE

Para simular o volume escoado direto, adotou-se o modelo Curva Número do Soil Conservation Service (NRCS), apresentado em 1975. Esse modelo é utilizado para simulação de hidrogramas de cheias de projetos de obras hidráulicas e para a quantificação e classificação do risco de enchentes para uma área em estudo. É amplamente empregado em estudos hidrológicos por possuir o número de parâmetros sucinto e ser representativo quanto ao relacionamento de parâmetros e características físicas de uma bacia (SCS, 1975).

A precipitação efetiva é estimada por meio de uma função com os seguintes parâmetros: precipitação acumulada, cobertura do solo, uso do solo e umidade antecedente.

As condições de umidade antecedente, segundo TUCCI (2005b) são:

AMC I – Cenário onde os solos encontram-se secos. Na estação de crescimento a precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é menor que 36 mm e em outro período, menos que 13 mm.

AMC II – Situação mediana. Os solos correspondem à umidade da capacidade de campo.

AMC III – Situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias que antecessores e o solo encontra-se saturado. No período de crescimento, as precipitações acumuladas nos cinco dias anteriores, são maiores que 53 mm e no outro maior que 28 mm.

A determinação do volume superficial utiliza uma expressão que relaciona a razão entre a precipitação total acumulada com o volume superficial acumulado, e a razão entre a infiltração e o escoamento da bacia. A relação resultante para $P > I_a$ é apresentada na Equação (3) (TUCCI, 2005b).

$$Q = (P - I_a)^2 / (P + S + I_a) \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

Q: é a profundidade expressa em mm;

P: é a precipitação total acumulada expressa em mm;

I_a: são as perdas iniciais (estimado para condições médias por $I_a = 0,2S$; e,

S: é o armazenamento no solo.

Para o cálculo da capacidade de absorção de água na camada superior do solo, o SCS estabeleceu uma curva de absorção onde a variável é o parâmetro CN. Essa escala leva em consideração fatores como condições de cobertura do solo, variando entre superfícies pouco permeáveis e muito permeáveis, com base no uso e ocupação do solo, além de avaliar os quesitos referentes ao tipo do solo superficial. A relação entre CN e S é apresentada na Equação (4) (TUCCI, 2005b).

$$S = (25.400 / CN) - 254 \quad \text{equação (4)}$$

Para definição do parâmetro CN, adotou-se as considerações apresentadas nas Tabelas 01 e 02.

Tabela 01: Valores de CN para áreas agrícolas.

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	em curvas de níveis	67	77	83	87
	terraceamento em nível	64	76	84	88
	em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	em curvas de níveis	62	74	82	85
	terraceamento em nível	60	71	79	82
	em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	em curvas de níveis	60	72	81	84
	terraceamento em nível	57	70	78	89
	pobres	68	79	86	89
	normais	49	69	79	94
	boas	39	61	74	80
Pastagens em curvas de nível	pobres	47	67	81	88
	normais	25	59	75	83
	boas	6	35	70	79
Campos permanentes	normais	30	58	71	78
	esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	normais	36	60	73	79
	densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras	normais	56	75	86	91
estradas de terra	ruim	72	82	87	89
	de superfície dura	74	84	90	92
Floresta	muito esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
	esparsas	46	68	78	84
	densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	normais	36	60	70	76

Fonte: Tucci, 2005b.

Tabela 02: Valores do parâmetro CN para diferentes tipos de ocupação urbana

Descrição do uso do solo	Tipo de solo			
	A	B	C	D
Espaços abertos:				
• Matos ou gramas cobrem 75% ou mais da área	39	61	74	80
• Matos cobrem 50 a 75% da área	49	69	79	77
Áreas comerciais (85% impermeáveis)	89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeáveis)	81	88	91	93
Áreas residenciais				
tamanho do lote (m ²) área impermeável(%)				
<500 65	77	85	90	92
1000 38	61	75	83	87
1300 30	57	72	81	86
2000 25	54	70	80	85
4000 20	51	68	79	84
Parques e Estacionamentos, telhados, viadutos	98	98	98	98
Arruamentos e estradas				
• Asfaltos e com drenagem pluvial	98	98	98	98
• Paralelepípedos	76	85	89	91
• Terra	72	82	87	89

Fonte: SCS, 1975 *apud* TUCCI, 2005b.

As características dos tipos de solos identificados nas Tabelas 01 e 02 são:

- Solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos com pouco silte e argila.
- Solo B: solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que do tipo A e com permeabilidade superior à média.
- Solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
- Solo D: solos contendo argilas expansivas e pouco profundas com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Seguindo prerrogativas do Plano Diretor de Drenagem Urbana do DF, para a definição do modelo CN, foi escolhido o grupo de solos C e a condição de umidade antecedente do solo tipo II.

CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A classificação do uso e ocupação do solo, necessária à simulação do cenário atual da bacia hidrográfica, foi realizada por meio de classificação supervisionada. Na classificação supervisionada, o reconhecimento dos padrões espectrais se faz com base numa amostra de área de treinamento, que é fornecida ao sistema de classificação.

As amostras de treinamento são identificadas a partir da definição e identificação dos pixels mais representativos das classes a serem estudadas (IBGE, 2001). Todas essas amostras vão constituir um conjunto de treinamento para aquela classe, definindo-lhe um padrão de comportamento. E, então, o algoritmo de classificação do programa compara cada pixel presente na imagem e enquadra-o em uma classe constituída por amostras de treinamento identificadas pelo usuário (MOREIRA 2003). O método de classificação utilizada foi a máxima verossimilhança. A ortofoto utilizada é proveniente de aerolevantamento realizado no Distrito Federal em setembro de 2009, cedida pela Terracap – Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal. A Figura 04 apresenta o resultado da classificação supervisionada, processada com cinco classes: vegetação densa, vegetação esparsa, solo exposto ou residência com baixa impermeabilização, residência com alta impermeabilização, e asfalto, assim como o valor do parâmetro CN correspondente.

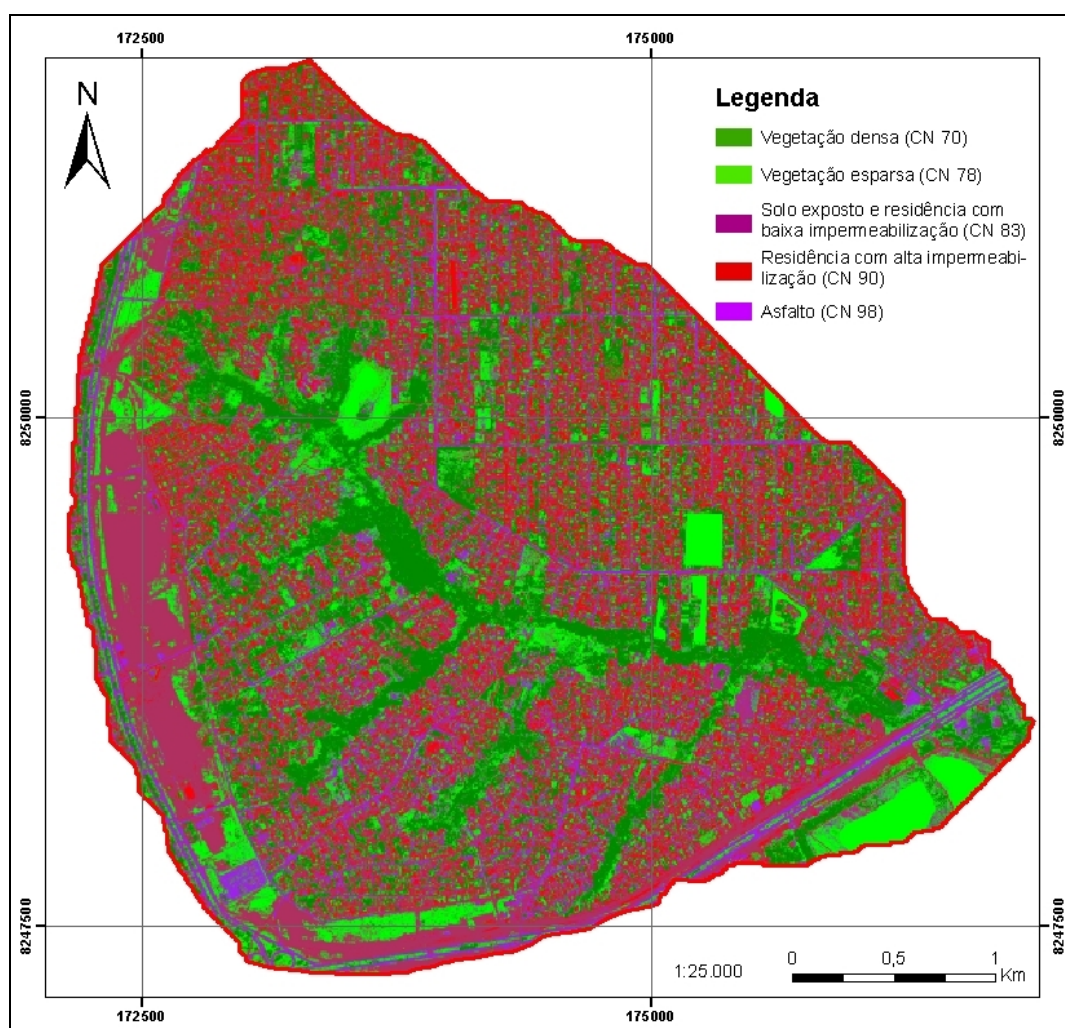


Figura 04: Resultado da classificação supervisionada da área de estudo.

Por meio da classificação supervisionada apresentada na Figura 04, as classes identificadas (vegetação densa; vegetação esparsa; solo exposto e residência com baixa impermeabilização; residência com alta impermeabilização; e, asfalto) receberam pesos diferentes de acordo com suas classificações quanto ao parâmetro CN: 70, 78, 83, 90 e 98, respectivamente. Pela média ponderada da área classificada, obteve-se um valor único do parâmetro CN para a bacia: 84,2. Esse valor é adotado no cenário 02, onde a condição antropizada da bacia é simulada. Para avaliar a possível condição natural de escoamento superficial, adotou-se o parâmetro CN igual a 74.

Para avaliar o comportamento da vazão no exutório da bacia para diferentes condições de uso e ocupação do solo intermediárias às condições dos cenários 01 e 02, mais três cenários foram simulados. Os cenários A, B e C consideram 20%, 40% e 60%, respectivamente, de solo exposto recuperado com vegetação esparsa, em comparação ao cenário 02. A Tabela 03 apresenta a porcentagem em relação à área total para cada classe de uso e ocupação do solo adotada nas diferentes simulações. A Tabela 04 apresenta o valor ponderado do parâmetro CN utilizado em cada cenário.

Tabela 03: Dados de porcentagem em relação a área total para cada classe de uso e ocupação do solo da sub-bacia.

	Cenário 02	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Vegetação densa	22%	22%	22%	22%
Vegetação esparsa	08%	14%	20%	26%
Solo exposto e residência com baixa impermeabilização	30%	24%	18%	12%
Residência com alta impermeabilização	16%	16%	16%	16%
Asfalto	24%	24%	24%	24%

Tabela 04: Resumo do valor do parâmetro CN adotado para cada cenário simulado.

	Cenário 01	Cenário 02	Cenário A	Cenário B	Cenário C
CN	74	84,2	83,9	83,6	83,3

VOLUME ESCOADO SUPERFICIALMENTE

Os modelos de escoamento subterrâneo simulam a drenagem subsuperficial e subterrânea da água do sistema para os canais de drenagem superficial. Para o presente estudo, o modelo de Recessão Exponencial foi adotado, pois é o que melhor representa o processo que ocorre naturalmente na bacia hidrográfica (HEC, 2010).

O modelo define a vazão subterrânea em qualquer tempo a partir de um valor inicial estabelecido no tempo zero. A relação é apresentada na Equação (5).

$$Q_t = Q_0 * K^t \quad \text{equação (5)}$$

Em que:

Q_t é a vazão subterrânea no tempo t expressa em m^3/s ;

Q_0 é a vazão inicial expressa em m^3/s ; e,

K é a constante de decaimento exponencial.

Em virtude da ausência de dados fluviográficos na rede hidrográfica em estudo, foi adotada a vazão inicial como sendo a descarga mínima específica indicada pelo Plano Diretor de Águas e Esgotos do Distrito Federal (CAESB, 2003). Tal valor é equivalente a 4×10^{-3} L/s para cada km^2 referente a área de drenagem de cada sub-bacia estudada. Dessa forma, a contribuição do escoamento subterrâneo, na forma de escoamento superficial, ao exutório da bacia em estudo é $0,0577 m^3/s$ para a simulação dos cinco cenários avaliados.

O valor da constante de decaimento adotado foi 0,9, o qual representa o patamar indicado pelo Manual Técnico do HEC-HMS, para sub-bacias sem dados.

CHUVA DE PROJETO

A precipitação utilizada para determinar a chuva de projeto, por ser amplamente utilizada em estudos de drenagem no DF, possui o tempo de recorrência de 20 anos (5%), com duração unitária – DU igual a 15 minutos. Para o cálculo da precipitação x frequência unitária, utilizou-se o aludido no livro “Chuvas Intensas no Brasil” (PFAFSTETTER, 1982). Tal obra apresenta equações de chuva para o cálculo da precipitação relativa para 98 postos pluviográficos no Brasil. Essa precipitação relativa é apresentada na Equação (6).

$$P = K * [a * t + b * \log(1 + c * t)] \quad \text{equação (6)}$$

Onde a , b e c são constantes para o posto pluviográfico mais próximo da área de estudo. Para o presente estudo, adotou-se as constantes a , b e c do posto de Formosa-GO, com valores 0,5, 27 e 20, respectivamente. P é a precipitação expressa em mm. O parâmetro K é calculado de acordo com a Equação (7).

$$K = TR^{(\alpha+\beta)} / TR^{0,25}$$

equação (7)

Onde TR é o tempo de recorrência, em anos, α e β são obtidos de acordo com a Tabela 05.

Tabela 05: Valores de α e β (DNIT, 2005).

t	5 min	15 min	1 h	2h	4h	8h
α	0,108	0,122	0,138	0,156	0,174	0,176
β	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Fonte: DNIT, 2005.

A Figura 05 apresenta os valores utilizados para a simulação da precipitação na bacia hidrográfica estudada com duração igual ao tempo de concentração (1,82 hora).

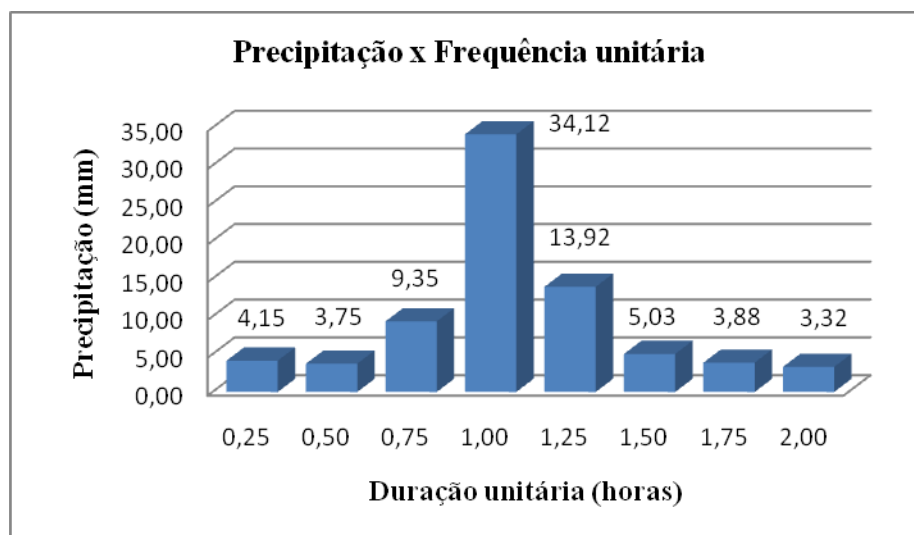


Figura 05: Valores da precipitação x frequência unitária para a área estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados e parâmetros levantados deram origem a geração de cinco cenários modelados no software HEC-HMS 3.5. Os hietogramas e hidrogramas do cenário 01 (natural) e do cenário 02 (antropizado) são apresentados nas Figuras 06 e 07, respectivamente. A Figura 08, por sua vez, apresenta a comparação entre as vazões simuladas para os cenários 01 e 02.

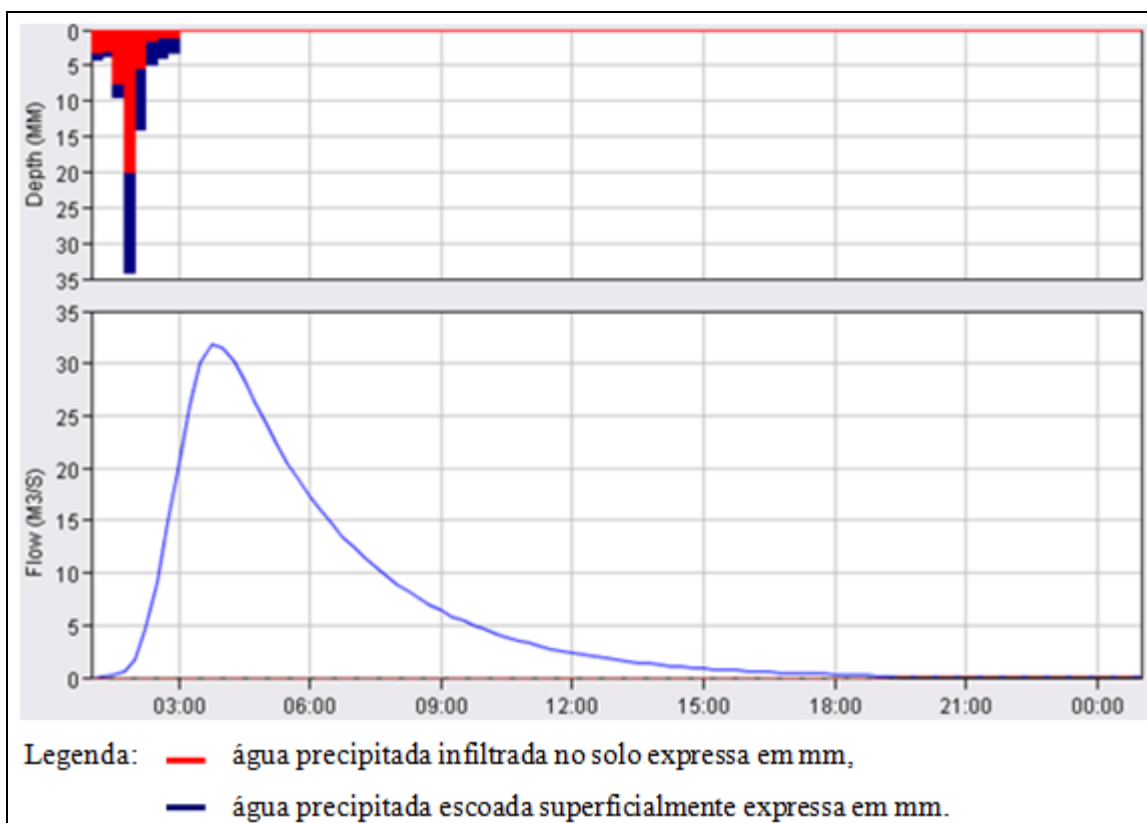


Figura 06: Hietograma e hidrograma do cenário 01 - natural.

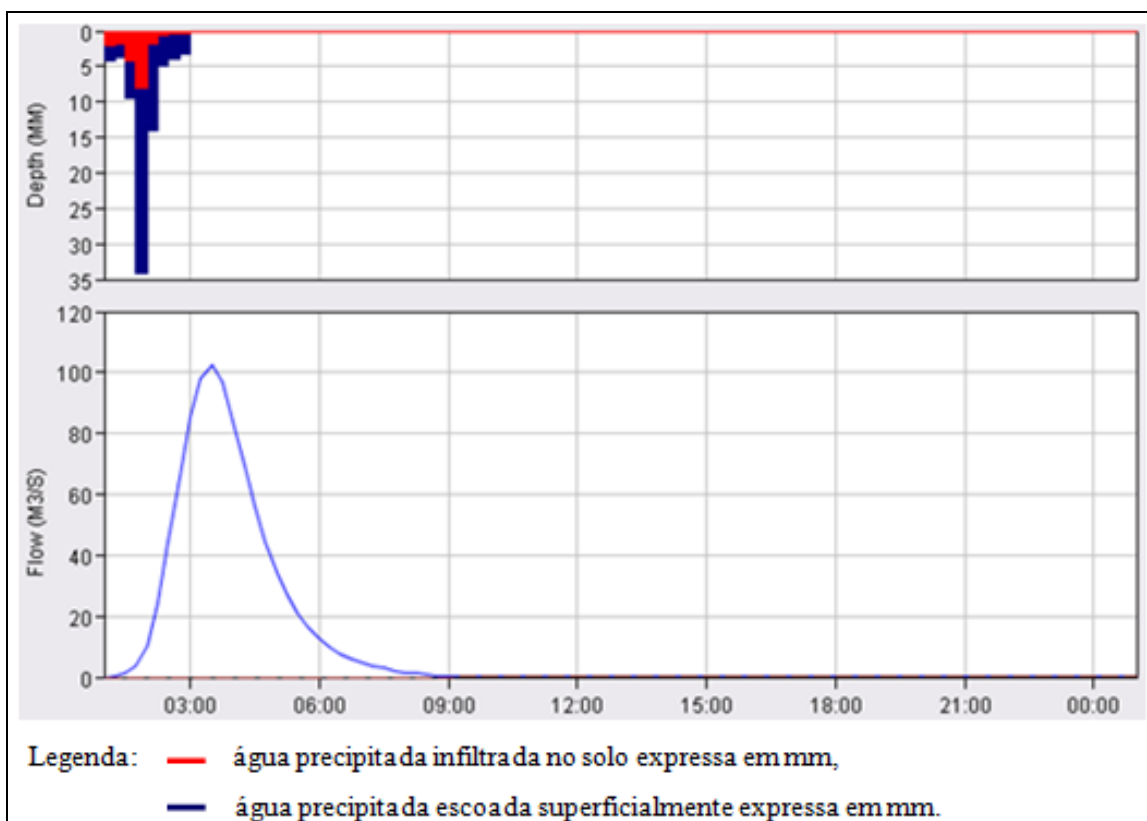


Figura 07: Hietograma e hidrograma do cenário 02 - antropizado.

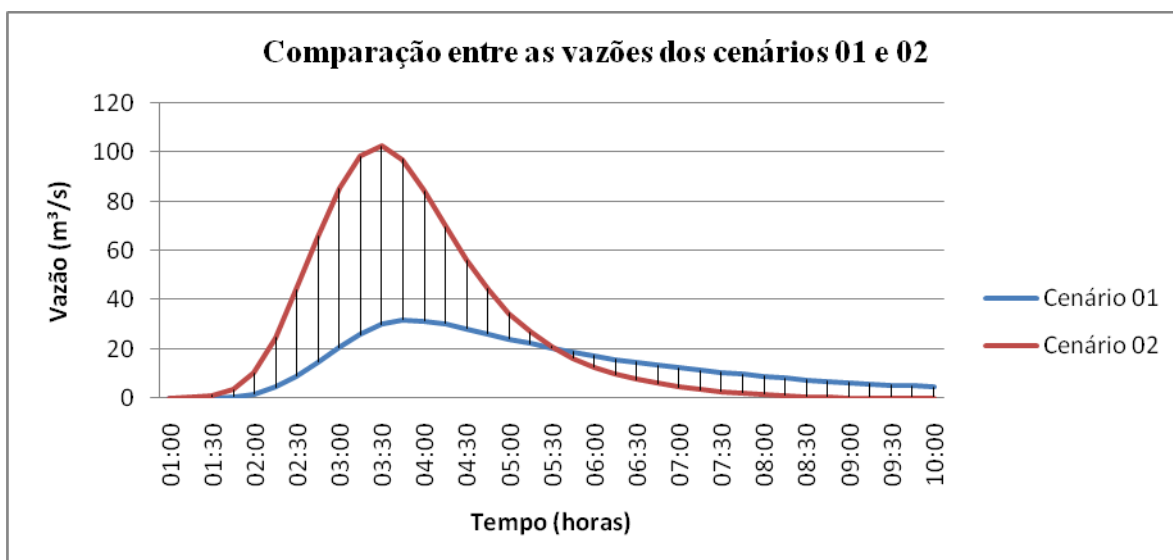


Figura 08: Comparação entre as vazões dos cenários 01 e 02 .

Comparando-se a forma dos hidrogramas obtidos, é visível a redução do tempo em que a água precipitada permanece na bacia hidrográfica. Em relação aos hietogramas apresentados nas Figuras 06 e 07, o volume infiltrado no solo (representado em vermelho), é 2,26 vezes maior no cenário 01, totalizando 42,89 mm, contra 18,96 mm do cenário 02. A infiltração da água precipitada no solo é fundamental para garantir vazão nos córregos em época de estiagem, a impermeabilização da bacia hidrográfica dificulta essa garantia.

No cenário 01, a condição natural da bacia hidrográfica propicia o armazenamento da água precipitada por mais tempo na bacia. No mesmo tempo de simulação onde o cenário 02 (antropizado) apresenta vazão próxima à de contribuição subterrânea (09:00 horas após o início da simulação), o cenário 01 (natural) apresenta vazão 64 vezes superior.

No cenário 02, a água precipitada escoar rapidamente pelo exutório da bacia hidrográfica do alto Vicente Pires. Sete horas e trinta minutos após o início do evento, a vazão no exutório da bacia hidrográfica já aproxima-se às condições de vazão composta apenas por escoamento subterrâneo.

Na Figura 08 é possível comparar visualmente a diferença entre o comportamento do escoamento superficial nos Cenários 01 e 02.

No período de análise, o exutório do cenário 02 deu vazão ao volume de 845.380m³ e o cenário 01 de 454.860m³. O volume de água escoado na bacia, que deixou de ser percolado no solo, foi de 390.420m³.

O acréscimo do volume escoado superficialmente no cenário 02 é 1,86 vezes superior ao cenário 01. Identificou-se a vazão de pico de 31,8m³/s no tempo 03:45horas do cenário 01 e 102,5 m³/s no tempo 03:30horas do cenário 02. A vazão de pico do cenário antropizado foi 3,22 vezes superior à vazão de pico do cenário natural. Segundo TUCCI (2003) esse aumento pode ser de seis a sete vezes maior que a vazão natural. Além do aumento na vazão de pico pelo urbanismo, identificou-se a redução no tempo de pico em 00:15horas. Essa redução no tempo de pico não foi muito expressiva em virtude do índice de circularidade da bacia, que, independente da condição de uso e ocupação, favorece a cheia rápida.

As Figuras 09, 10 e 11 apresentam os hietogramas e hidrogramas dos cenários A, B e C, respectivamente. A Tabela 06 apresenta o volume de água escoado superficialmente na sub-bacia ao longo das simulações realizadas, comparando-as com o volume produzido no cenário 02. A Figura 12 ilustra o volume escoado superficialmente na sub-bacia para os cenários 02, A, B e C.

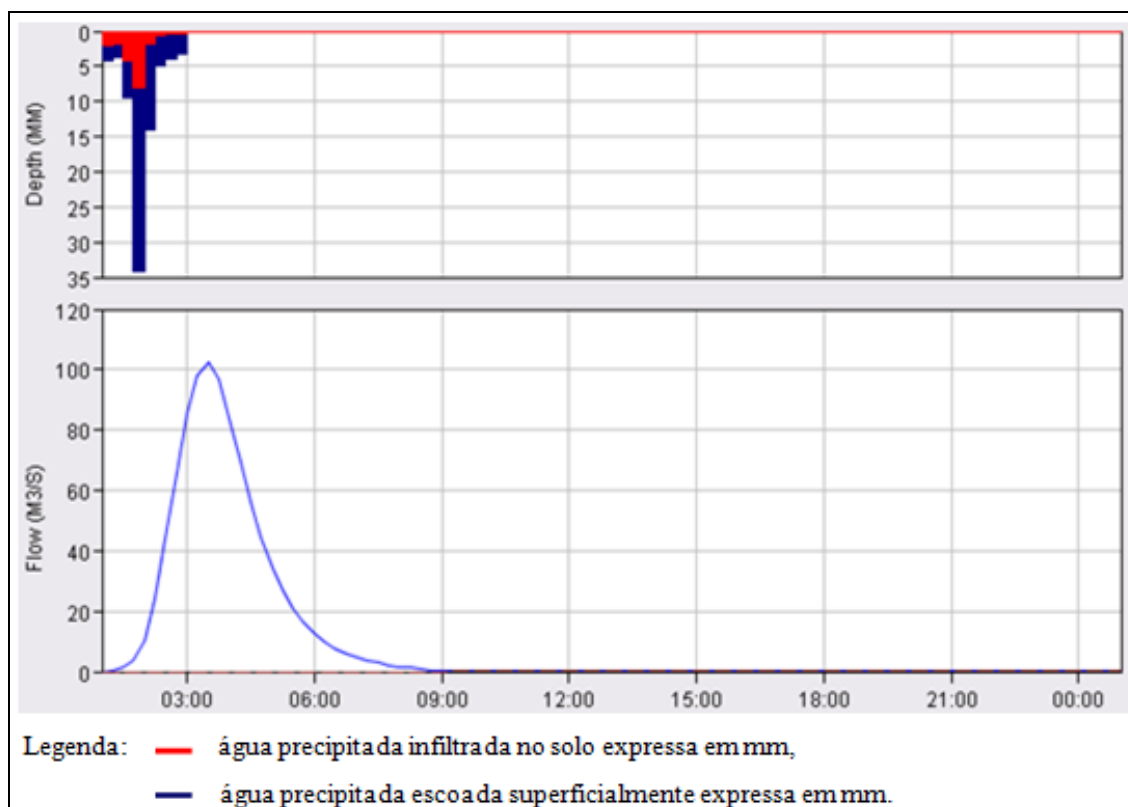


Figura 09: Hietograma e hidrograma do cenário A – 20% de solo exposto recuperado.

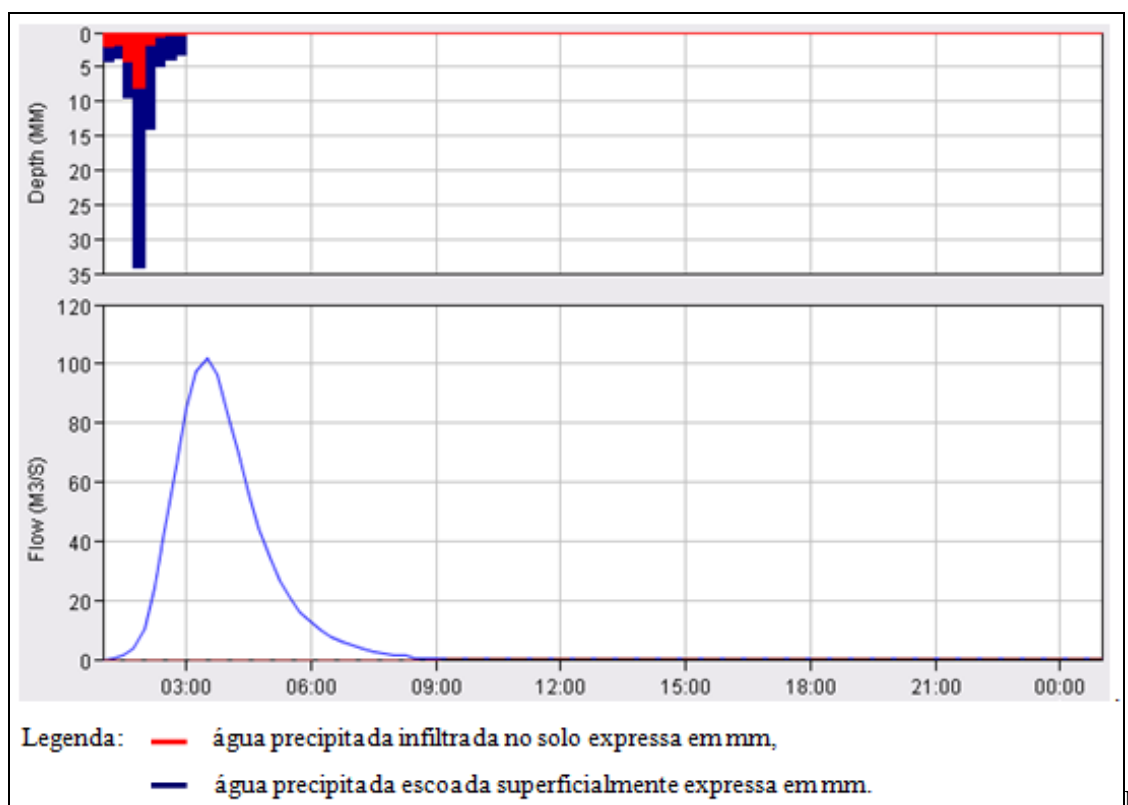


Figura 10: Hietograma e hidrograma do cenário B – 40% de solo exposto recuperado.

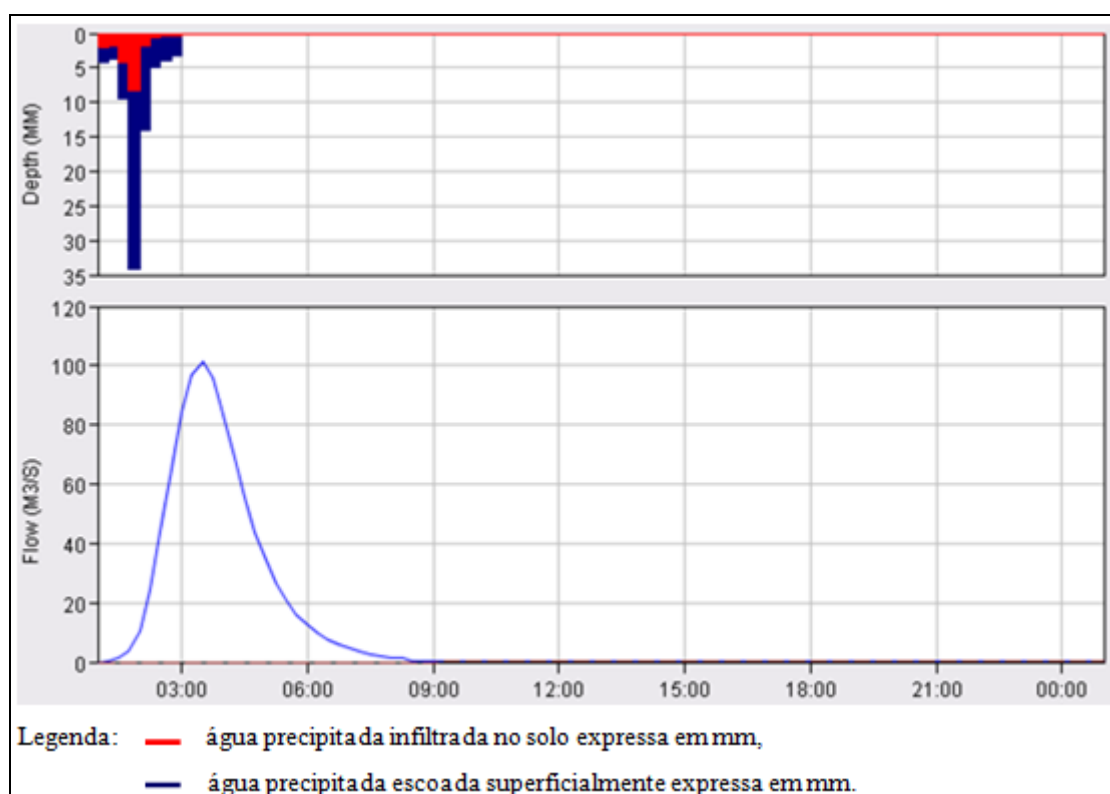


Figura 11: Hietograma e hidrograma do cenário B – 60% de solo exposto recuperado.

Tabela 06: Volume de água escoado superficialmente na sub-bacia em quatro cenários.

	Volume total (m³)	Volume reduzido em relação ao cenário 02
Cenário 02	845280	-
Cenário A	843210	0,24%
Cenário B	839700	0,66%
Cenário C	835740	1,13%

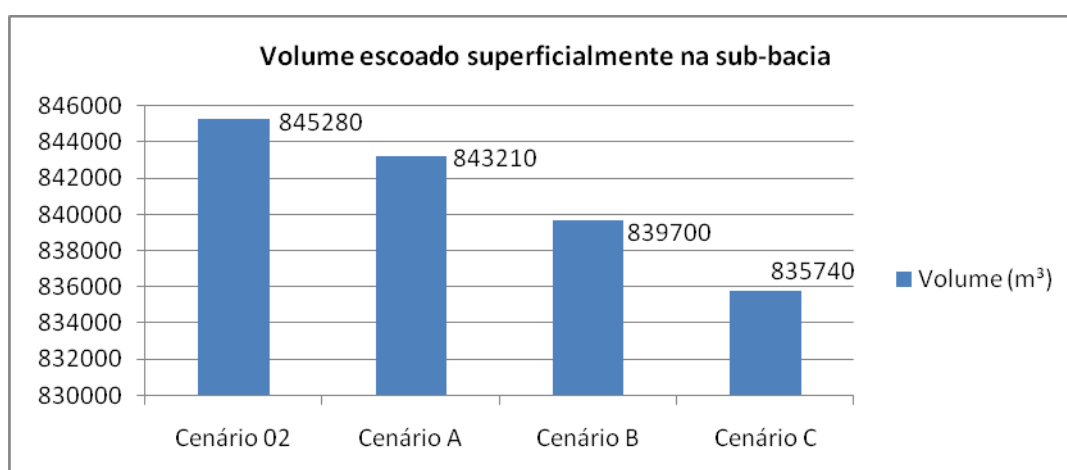


Figura 12: Volume total escoado superficialmente na sub-bacia para cada simulação realizada.

Pode-se observar que a possível recuperação de áreas de solo exposto apresenta uma sensível redução no escoamento superficial na sub-bacia estudada. Os cenários A, B e C promovem, respectivamente, o armazenamento de 2.070, 5.580 e 9.540 metros cúbicos de água na sub-bacia. Conforme a Tabela 06, esses

volumes não são expressivos matematicamente, mas, em termos ambientais, podem contribuir com o aumento na quantidade e qualidade da água em tempos de estiagem na sub-bacia, propriamente dita, e, consequentemente, na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, que possui a bacia hidrográfica do Vicente Pires como afluente.

A redução percentual baixa simulada nos cenários A, B e C refletem o tipo de solo adotado para a definição do parâmetro CN na sub-bacia hidrográfica, o solo tipo C, que, inclusive, é o recomendado para os estudos hidrológicos no âmbito do Distrito Federal segundo diretrizes do Plano Diretor de Drenagem Urbana. Esse solo gera escoamento superficial acima da média e tem capacidade de infiltração abaixo da média. (TUCCI, 2005b)

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Durante uma precipitação, em áreas urbanas, a vazão que escoar superficialmente para os rios é superior à natural, podendo elevar o seu nível de forma brusca, causando enchentes, carreando resíduos sólidos e contaminando as águas. Esse aumento pode ser de seis a sete vezes maior que a vazão natural (TUCCI, 2003). O presente estudo detectou um aumento 3,22 vezes na vazão de pico do cenário antropizado em 2009 em relação ao cenário natural, também caracterizou a sub-bacia como uma bacia circular de índice de circularidade 0,53, podendo favorecer o processo de inundações e cheias rápidas. Esse acréscimo na vazão de pico do hidrograma pode desencadear a inundação de áreas, podendo gerar deslizamentos, erosões e perdas de bens materiais junto àquelas residências mais próximas aos cursos d' água.

Com base nos dados apresentados, foi observado, na região de estudo, que o uso e ocupação do solo atual multiplica por 1,86 o volume de água anteriormente escoado em um cenário não antropizado. Dessa forma, a quantidade de água retida no solo é reduzida, diminuindo, assim, os níveis dos lençóis freáticos, podendo acarretar problemas ambientais e socioeconômicos.

A redução da evapotranspiração devido ao escoamento rápido das águas e pequena infiltração no solo e nas plantas também geram perdas aos agricultores da região que, originalmente, foi planejada para ser uma área agrícola e ainda apresenta remanescentes dessa atividade, principalmente próximo ao córrego (GDF, 2011).

Considerando que os custos das soluções estruturais para sistemas de drenagem urbana podem ser até dez vezes superiores ao de outras soluções de compensação e amortização de vazões na fonte (TUCCI, 2003), os cenários estudados com melhorias no uso e ocupação do solo podem ser vistos como medida complementar para a redução da vazão escoada superficialmente.

Tucci e Orsini(2005), afirmam que a impermeabilização de solos por telhados, ruas, calçadas, compactação do solo etc. faz com que a água, que anteriormente infiltrava no solo, passe a escoar pelas superfícies impermeáveis e condutos do sistema. Com a urbanização, o volume que ficava retido no solo, nas plantas e depressões acaba por escoar e ser coletado por tubulações, exigindo maior capacidade do sistema para escoar essa água, tornando-o mais caro. Assim, a implementação de ações que possam permitir a infiltração da água no solo, além de contribuir com a qualidade ambiental, podem ser atrativas sob aspecto econômico.

O acréscimo da vazão escoada superficialmente devido ao urbanismo deve receber especial atenção quanto à vazão e velocidade geradas para não desencadear processos erosivos. A erosão de solo pode aumentar a turbidez e alterar a cor da água dos corpos hídricos, potencializar o carregamento de matéria orgânica, modificando condições de concentração de oxigênio dissolvido, DBO e matéria orgânica, facilitar o acúmulo de metais tóxicos no corpo hídrico que são acumulados nas vias públicas e levados pelo sistema de drenagem pluvial, tornando os córregos menos atraentes para atividades antrópicas e prejudiciais para a manutenção da qualidade ambiental (TUCCI; PORTO *et al.*, 1995).

Modelagem e simulação hidrológica de bacias hidrográficas podem contribuir nos processos de avaliação de impactos ambientais em projetos de planejamento urbano, verificando e validando a eficiência de medidas mitigadoras adotadas.

Como recomendação a trabalhos futuros, pode-se citar: estudo sobre estruturas de retenção ou retenção complementares às iniciativas não estruturais para amortização do escoamento superficial, técnicas para coleta e aproveitamento de água da chuva em residências, e novas concepções de sistemas de drenagem de águas pluviais que priorizem a infiltração da água no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAESB, COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. Estudos Hidrológicos/Disponibilidade Hídrica. Brasília/DF. 2003.
2. CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980, 2ª. Ed. 188 p.
3. DNIT, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem 2ª Edição. ed. [Rio de Janeiro], 2005. 133 p.
4. ESRI. Arc Hydro, GIS for Water Resources, Volume I. U.S.A., 2002. 203 p.
5. GDF, GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Conheça Vicente Pires – RA XXX.; 03/06/2011; disponível em < http://www.gdf.df.gov.br/045/04503002.asp?slCD_ORIGEM=28034 >; Acesso em: 03/06/2011.
6. HEC, HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. HEC-HMS, Hydrologic Modeling System 3.5 user's manual ed. [Davis, CA]: [U.S. Army Corps of Engineers], 2010. 316 p.
7. IBGE. Introdução ao processamento digital de imagens. Rio de Janeiro, 2001.
8. KIRPICH, PHILLIP ZALMAN. Time of concentration for small sgricultural watersheds. Civil Engineering, v.V. 10, n.n 6, 362 p. Página Inicial: 1940.
9. MILLER, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain Area, Technical Report (1953), (3), Dept. Geology, Columbia University.
10. MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Ed. UFV. 2ª ed. Viçosa, MG, 2003.
11. PFAFSTETTER, O. Chuvas Intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência em 98 postos pluviográficos. DNOS, Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Rio de Janeiro, 426 p. 1982.
12. SCS, SOIL CONSERVATION SERVICE. Urban hydrology for small watersheds. U.S. Department of Agriculture. Washington, 26 p. 1975
13. TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. Ciência e Cultura. 55: 36-37 p. 2003.
14. _____. Modelos Hidrológicos ed. [Porto Alegre]: [Universidade Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS], 2005b.
15. _____. Águas urbanas. Estudos Avançados. São Paulo. 22: 97-112 p. 2008. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200007&nrm=iso >, Acesso em: 22/05/2012.
16. TUCCI, C. E. M. (org.) et al. Drenagem Urbana Recursos Hídricos; 1ª. ed. [Porto Alegre]: [Editora da Universidade], 1995. v.5. 428 p. (Recursos Hídricos)
17. TUCCI, C. E. M. e ORSINI, L. F.. Águas urbanas no Brasil: cenário atual e desenvolvimento sustentável. In: CIDADES, MINISTÉRIO DAS (Ed.). Gestão dos territórios e manejo integrado das águas urbanas. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. p.243-268.