

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS DE GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM MICROBACIAS URBANAS

Gustavo Batista Mohacsi¹ & Julio Gomes²

Abstract: This work aimed to propose a methodology for identifying critical areas in terms of runoff generation, as a tool for developing drainage and urban planning projects. The methodology was applied to four watersheds located in the city of Curitiba-PR, each one with distinct land use and occupation characteristics. The watersheds were discretized into microbasin, and the Rational method was used to estimate the potential for runoff generation of each microbasin, enabling the identification of those with the highest potential for runoff generation. The information related to the hydrographic basins was obtained through airborne laser profiling (LIDAR) and allowed for the definition of digital surface and terrain models that supported the delineation of the microbasins and the estimation of the parameters needed for the Rational Method use. All stages of vectorization, classification, and analysis were carried out with the assistance of computational software. As a result, runoff generation maps were produced, allowing to identify the most critical microbasins in each of the four analyzed watersheds.

Resumo: Este trabalho teve por objetivo propor uma metodologia para a identificação de áreas críticas em termos de geração de escoamento superficial, como ferramenta para o desenvolvimento de estudos e projetos de drenagem e planejamento urbano. A metodologia foi aplicada a quatro bacias hidrográficas localizadas na cidade de Curitiba-PR com características de uso e ocupação do solo distintas. As bacias hidrográficas foram discretizadas em microbacias e utilizou-se o método Racional para estimar o potencial de geração do escoamento superficial de cada microbacia, possibilitando a identificação das microbacias com maior potencial de geração de escoamento superficial. As informações relativas às bacias hidrográficas do estudo foram obtidas via perfilamento laser aerotransportado (LIDAR) e permitiram a definição de modelos digitais de superfície e terreno que deram suporte à delimitação das microbacias e a estimativa dos parâmetros necessários para o uso do Método Racional. Todas as etapas de vetorização, classificação e análise foram realizadas com auxílio de softwares computacionais. Como resultados, foram produzidos mapas de potencial de geração de escoamento superficial que identificam as microbacias mais críticas em cada uma das quatro bacias hidrográficas analisadas.

Palavras-Chave – Microdrenagem Urbana, LIDAR, Planejamento Urbano

INTRODUÇÃO

A Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece como de fundamental importância que o planejamento, manejo e gestão dos recursos

1) PrevPred Engenharia e Consultoria LTDA, Avenida Sete de Setembro, nº 2775 – 9º Andar, loja 316, CEP 80260-010, Curitiba/PR, +55 (41) 9 8837-5000, gustavo@prevpredengenharia.com.br

2) Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS), Centro Politécnico – Jardim das Américas, Rua Francisco H. dos Santos, n.º 100, CEP: 81531-000, Curitiba/PR, +55 (41) 3361-3142, jgomes.dhs@ufpr.br

hídricos estejam alinhados às políticas e diretrizes de uso e ocupação do solo, sendo que uma situação deve adequar-se à outra, de modo que possam garantir o uso racional e a conservação da quantidade e da qualidade da água.

A demanda por mecanismos de suporte e gestão dos recursos hídricos tem aumentado significativamente em decorrência dos fenômenos naturais extremos mais recorrentes e do ritmo acelerado da urbanização, o que implica em mais áreas impermeabilizadas, frequentemente sem planejamento, resultando em problemas como enchentes e inundações (CHRISTOFIDIS *et al*, 2020).

A geração do escoamento superficial em bacias hidrográficas é objeto de estudo e pesquisa na hidrologia. Siefert e Santos (2012) elaboraram uma revisão sobre o tema, comparando as formas de descrição do mecanismo de geração do escoamento superficial, de onde se conclui que ele ocorre paralelamente e posteriormente à infiltração, quando o substrato do solo não tem mais capacidade de absorver água, ou quando a vazão que escoar sobre a superfície do terreno tem velocidade maior do que o gradiente hidráulico de absorção. A água excedente tende a buscar a posição de menor energia potencial, ou seja, por gravidade, tende a se deslocar ao ponto mais baixo do terreno. Segundo Tucci (1993), o escoamento superficial depende de algumas variáveis, sendo a intensidade da chuva, relevo, forma da bacia e uso e ocupação do solo, as mais importantes para o presente trabalho.

A declividade e a resistência ao escoamento são variáveis importantes para a velocidade do escoamento superficial. A declividade pode ser obtida do relevo por meio de um Modelo Digital de Terreno (MDT). Já a resistência ao escoamento deve ser considerada junto com as condições de infiltração, ou seja, ambas as grandezas oferecem certa resistência ao escoamento superficial e podem ser estimadas com base nas características da bacia e no uso e ocupação do solo.

Comumente a classificação do uso e ocupação do solo é realizada a partir de imagens aéreas ou de satélites (NAMBA *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2022), somada a um modelo digital de terreno (MDT), geralmente do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Existe ainda disponível, para algumas regiões, uma base cartográfica obtida a partir de perfilamento laser aerotransportado (LIDAR) que pode oferecer dados com maior nível de detalhamento e precisão do que outras bases obtidas via satélite. O Modelo Digital de Superfície (MDS), obtido do LIDAR, reúne, em um modelo tridimensional, as informações de relevo e de uso e ocupação do solo. Desta forma, pode ser usado para caracterização de bacias hidrográficas para a estimativa do escoamento superficial.

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia de identificação de áreas críticas de geração de escoamento superficial em bacias urbanas como ferramenta para o planejamento de uso e ocupação do solo e priorização de intervenções na drenagem urbana. A metodologia proposta foi avaliada em quatro bacias hidrográficas localizadas no município de Curitiba-PR, a partir do modelo digital de superfície obtido por perfilamento laser aerotransportado (LIDAR).

De modo prático, ao se definir quais as regiões de uma bacia hidrográfica apresentam maior potencial de geração de escoamento superficial, pode-se teoricamente local de forma mais eficaz obras de intervenção ou simular condições de uso e ocupação do solo, dado um determinado relevo, que não impactem diretamente nas condições de operação do sistema de drenagem urbana.

MATERIAL E MÉTODOS

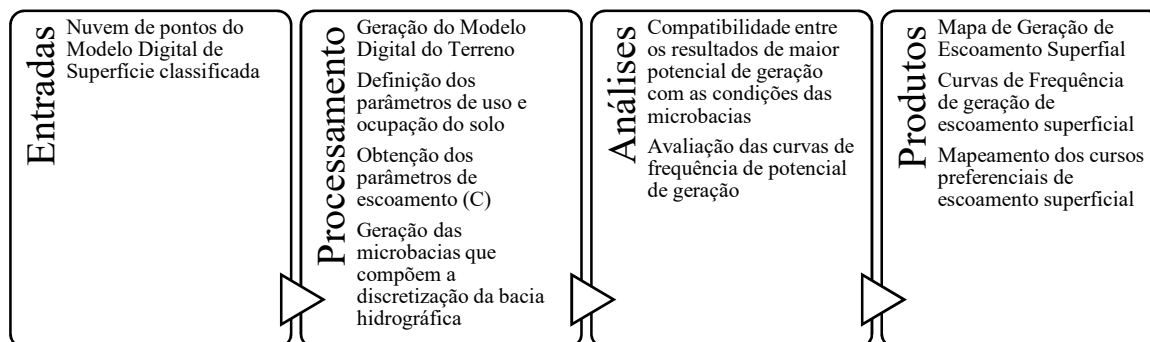
O método proposto para atingir objetivo do trabalho é ilustrado na Figura 1, onde são considerados os seguintes processos (etapas): entrada de dados; processamento dos dados espaciais; análises pós-processamento dos dados espaciais e geração de produtos.

Base de dados para o desenvolvimento do trabalho

A tecnologia de varredura por laser scanner aerotransportado é um sistema de obtenção de coordenadas para pontos que compõem uma região de interesse, onde um feixe de luz (laser) é disparado em direção à superfície. Esse feixe reflete na superfície e retorna para um receptor instalado na aeronave de transporte. Considerando a velocidade da luz constante, a diferença de tempo entre a saída do feixe de luz e o seu retorno para o receptor, as coordenadas do ponto de emissão do pulso laser e as coordenadas do ponto de recepção do feixe de luz, pode-se obter as coordenadas da localização do ponto que se deseja caracterizar (CENTENO, 2003; CENTENO e MITISHITA, 2007).

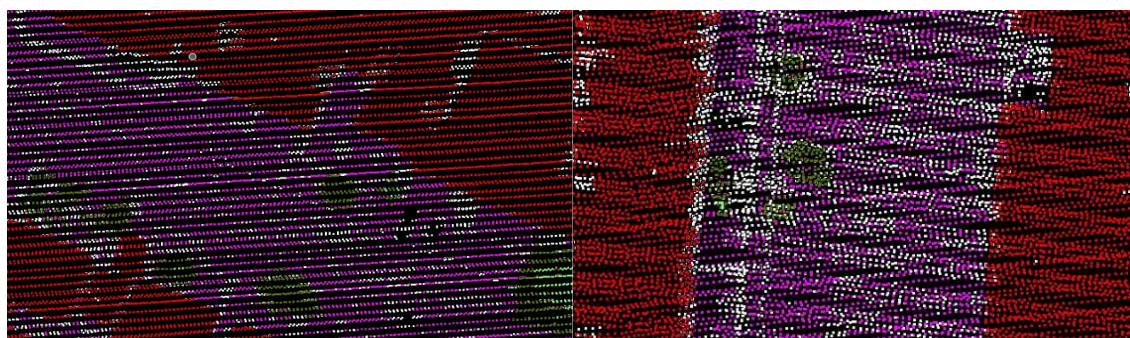
Um dos atributos de caracterização da superfície, e de extrema importância para esse trabalho, é a reflectância, que é a capacidade de cada material de absorver e refletir a luz, ou seja, a quantidade de luz emitida pelo sensor laser é menor do que a quantidade captada pelo receptor. Essa diferença é denominada reflectância ou intensidade e é armazenada como atributo de caracterização de cada ponto, o que permite algumas classificações de feições de forma automática.

Figural - Fluxograma de processos do método proposto



Para o presente estudo foi utilizada uma nuvem de pontos fornecida pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), obtida em um levantamento realizado ao longo do ano de 2019, cujas varreduras foram executadas em 55 faixas de voo com uma altitude média de 770 m. A densidade média de cada faixa de voo (relação entre a quantidade de pontos e a área em que se encontram) é de 4,76 pontos/m², resultante de 25 leituras em quadrados com área de 100 m². Para que haja completa representação da superfície, as faixas de voo devem se sobrepor nas extremidades. Desta forma, a densidade da nuvem de pontos, no projeto em geral, é variável em função do número de áreas sobrepostas, chegando a 16,8 pontos/m² em algumas regiões. A Figura 2 ilustra a nuvem de pontos a partir das linhas do perfilamento a laser aerotransportado em uma região sem sobreposição de faixa (Figura 2a) e em uma região com sobreposição de faixa (Figura 2b).

Figura 2 Exemplo de nuvem de pontos obtidas do perfilamento a laser aerotransportado em duas regiões

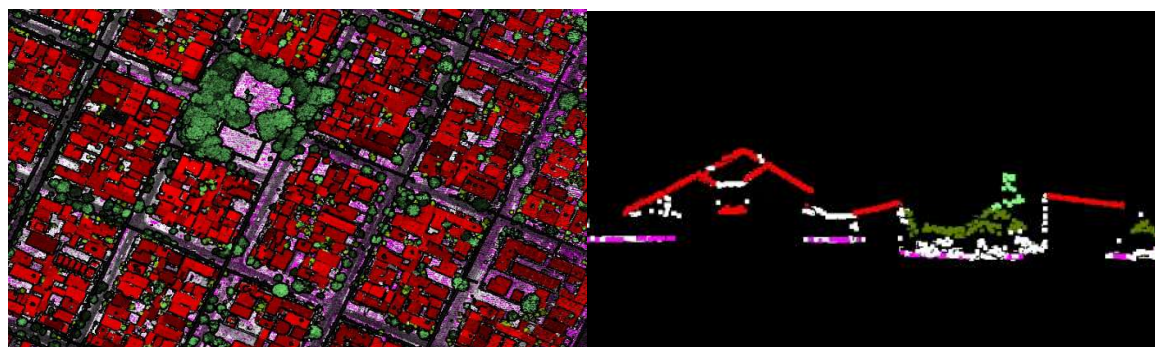


(a) sem sobreposição de faixas de voo

(b) com sobreposição de faixas de voo

A nuvem de pontos do modelo digital de superfície (MDS) estava previamente classificada, ou seja, os pontos organizados em classes conforme as feições que representam. As classes representadas e utilizadas no estudo foram: *ground* (terreno); *building* (telhado); *medium vegetation* (vegetação média) e *high vegetation* (vegetação alta). Para análise do potencial de geração do escoamento superficial, utilizando-se a informação de intensidade, a classe *ground* (terreno) foi posteriormente subdividida em duas novas classes: sem pavimento asfáltico e com pavimento asfáltico. A Figura 3 ilustra o MDS classificado (Figura 3a) e um perfil longitudinal do MDS classificado (Figura 3b), cujas cores refletem a classe de cada ponto e a intensidade do material representado.

Figura 3 Exemplo de área e perfil longitudinal do MDS classificado, segundo as classes utilizadas no estudo



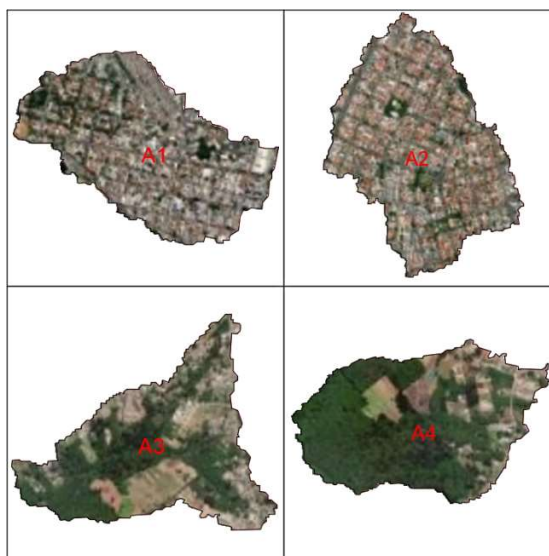
(a) vista superior do MDS classificado

(b) perfil longitudinal do MDS Classificado

Definição das áreas de estudo

As áreas de estudo, localizadas em Curitiba/PR, foram escolhidas limitando-se o contorno das bacias hidrográficas a uma área máxima de 1 km², sobre um modelo digital de terreno (MDT) no formato GeoTiff DEM com distância amostral do solo (*Ground Sample Distance – GSD*) de 50 cm, utilizando-se o *software* GlobalMapper. Para o estudo, foram selecionadas quatro áreas com padrões de uso e ocupação do solo distintos: grande densidade urbana e verticalizada (área 1), urbanização parcial (área 2) e majoritariamente coberta por vegetação alta (áreas 3 e 4), conforme ilustrado na Figura 4. O Quadro 1 apresenta as características básicas das áreas de estudo.

Figura 4 – Uso e ocupação do solo das áreas de estudo



Para permitir a correta triangulação entre pontos em uma análise mais detalhada do Modelo Digital do Terreno (MDT) para a subdivisão das bacias hidrográficas em microbacias e a definição

dos caminhos preferenciais de escoamento (rede de drenagem), aplicou-se um buffer de 100 m. Por exemplo, se a área de trabalho é de 10 m x 10 m, para garantir que a triangulação seja representativa no limite da área de estudo, deve-se aplicar um *buffer*, ou seja, um acréscimo de área de estudo de pelo menos 2 m, analisando-se assim uma área total com 12 m x 12 m.

Quadro1 - Características básicas das áreas de estudo localizadas na cidade de Curitiba/PR

Área	Localização	Característica de uso e ocupação do solo	Área (m ²)
01	Centro	Grande densidade urbana e verticalizada.	771.954,7
02	Jardim das Américas	Urbanizada, porém de maneira horizontal, sem prédios ou construções de grande porte e altura.	942.186,1
03	Umbará	regiões semi-urbanizadas, prevalecendo ainda áreas cobertas por vegetação.	701.243,7
04	Umbará	regiões semi-urbanizadas, prevalecendo ainda áreas cobertas por vegetação.	617.935,5

A nuvem de pontos do Modelo Digital de Superfície (MDS) foi cortada dentro dos limites majorados (com *buffer*) de cada área de estudo, sendo o MDT convertido novamente em um GeoTiff DEM com GSD de 10 cm, de modo que fosse possível detalhar os caminhos preferenciais de escoamento urbano e eliminar falsas depressões oriundas do colchão residual da nuvem de pontos laser. O colchão residual de uma nuvem de pontos laser é a variação em altimetria que os pontos podem apresentar considerando fatores óticos, como a refração por variação térmica ou o efeito miragem. Por exemplo, ao observar o asfalto em dias muito quentes, pode-se ver, à olho nu, uma leve oscilação na imagem próximo à superfície.

Delimitação das microbacias e cursos preferenciais de água

Cada bacia hidrográfica foi discretizada em microbacias, visando realizar uma análise detalhada e atribuir a cada microbacia um valor particular que caracterizasse o seu potencial de geração de escoamento superficial, com o objetivo de permitir a comparação entre as microbacias, tanto do ponto de vista da análise individual de cada bacia, quanto da análise conjunta das 4 bacias do estudo.

A delimitação das microbacias deu-se com o uso dos *softwares*: GlobalMapper, ArcGis PRO, Quick Terra Modeler e AutoCAD MAP, sendo o Quick Terra Modeler usado para a geração do GeoTiff DEM, o GlobalMapper para vetorização dos caminhos preferenciais do escoamento e delimitação das microbacias, o ArcGis PRO para análises quantitativas e de atributos e o AutoCAD MAP para consistência e edição dos vetores para ajuste, quando necessários.

As microbacias delimitadas foram consideradas como limites para corte do MDS, de modo que a análise do potencial de geração do escoamento superficial fosse realizada para todos os tramos da rede de caminhos preferenciais de escoamento. A Figura 5 ilustra a divisão de microbacias e os caminhos preferenciais de escoamento. Observa-se o detalhamento e a vetorização dos cursos de água nos arruamentos, onde o software identificou inclusive as calhas das sarjetas da drenagem urbana.

Com objetivo de conhecer um pouco melhor as bacias do estudo, realizou-se uma caracterização fisiográfica das 4 bacias hidrográficas, cujos principais resultados são apresentados na Tabela 1

Potencial de geração de escoamento superficial

O método Racional (PORTO, 1995), pela sua simplicidade e pelas dimensões das microbacias, foi utilizado para estimar o potencial de geração de escoamento superficial de cada microbacia. Importante destacar que o objetivo do trabalho é identificar áreas críticas de geração de escoamento

superficial e não propriamente estimar o escoamento superficial. Nesse sentido, o que se sugere é estabelecer uma classificação (ranqueamento) que permita identificar as microbacias críticas em cada uma das 4 bacias hidrográficas analisadas.

No presente estudo, as 4 bacias de interesse têm área inferior a 1 km² e o método Racional foi utilizado para a estimativa do potencial de geração de escoamento superficial das microbacias, resultantes da divisão das bacias, e que apresentam áreas inferiores a 1 ha (10.000 m²). Portanto, pelas dimensões das microbacias, considerou-se o método Racional como adequado ao propósito do estudo.

Figura 5 - Limites de microbacias e caminhos preferenciais de escoamento

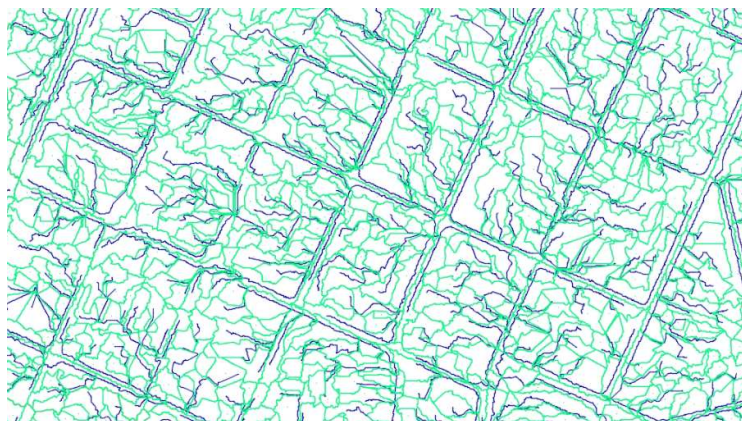


Tabela 1 - Caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas do estudo

Parâmetro	Bacia 1 (A1)	Bacia 2 (A2)	Bacia 3 (A3)	Bacia 4 (A4)
área da bacia (m ²)	771.954,7	942.186,1	701.243,7	617.395,5
tempo de concentração (min)	16,6	15,5	16,7	11,6
densidade de drenagem (km/km ²)	136,3	71,0	71,7	33,0
declividade média (EMBRAPA)	Suave ondulado	Suave ondulado	Ondulado	Ondulado
número de microbacias	1.981	2.394	1.608	808
área média das microbacias (m ²)	389,7	393,6	436,1	764,1
comprimento total dos caminhos preferenciais de escoamento (m)	105.099,7	66.928,5	50.250,4	20.347,2

A Equação 1 (método Racional) foi utilizada para a estimativa do potencial de geração do escoamento superficial de cada microbacia:

$$Q = \frac{C i A}{3600} \quad (1)$$

onde: Q = vazão máxima (L/s);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

i = intensidade média de precipitação (mm/h);

A = área de drenagem (m²).

Calculou-se a vazão máxima de cada microbacia, utilizando-se a Equação 1, e fez-se uma mudança para uma escala de 0 (zero) a 100 (cem), onde 0 representa a menor vazão máxima estimada e 100 representa a maior vazão máxima estimada para facilitar a representação gráfica dos resultados.

Na análise individual das bacias hidrográfica, a transformação de escala considerou os valores estimados de vazão máxima do conjunto composto por todas as microbacias da bacia em questão. Na análise conjunta das bacias hidrográficas, a transformação de escala considerou os valores estimados de vazão máxima do conjunto composto por todas as microbacias das 4 bacias do estudo.

A intensidade média de precipitação (i) foi estimada a partir da equação de chuvas intensas de Curitiba, devida a Parigot de Souza, conforme Equação 2 (HOLTZ, 1976):

$$i = \frac{5950 T^{0,217}}{(t_d + 26)^{1,15}} \quad (2)$$

onde: i = intensidade média de precipitação (mm/h);

T = tempo de recorrência (ano);

t_d = tempo de duração da precipitação (min).

Uma das hipóteses fundamentais do método Racional é que a duração da chuva (t_d) é, no mínimo, igual ao tempo de concentração da bacia (t_c). Para a estimativa do tempo de concentração de cada microbacia (t_c), adotou-se a Equação 3, derivada da equação de Kirpich (PORTO, 1995):

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3)$$

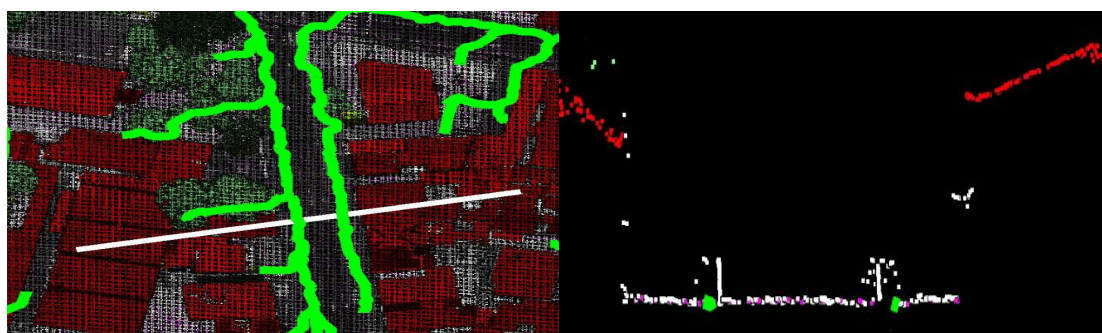
onde: t_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue (km);

H = desnível total da microbacia (m).

Como as microbacias delimitadas apresentam dimensões pequenas, com área média inferior a 800 m² e não apresentam talvegues definidos e sim caminhos preferenciais de escoamento como em sarjetas e outros dispositivos de drenagem urbana, adotou-se o comprimento da microbacia para a estimativa de L como uma simplificação do método. A Figura 6 ilustra, com uma vista superior (Figura 6a) e um perfil transversal (Figura 6b) da linha em branco, o caminho preferencial do escoamento vetorizado sobre a nuvem de pontos do levantamento a laser, onde as linhas em verde representam o escoamento superficial nas sarjetas junto aos meio-fios de uma via urbana.

Figura 6 – Representação dos caminhos preferenciais de escoamento



(a) vista superior

(b) perfil transversal

As feições significativas que foram consideradas na composição do coeficiente de escoamento superficial (C), conforme mencionado anteriormente, foram: pavimento com revestimento asfáltico, terreno exposto (pavimento sem revestimento asfáltico), telhados, vegetação média e vegetação alta. A Tabela 2 apresenta os valores para o coeficiente superficial C para cada feição (classe) adotados no presente trabalho com base em Wilken (1978), Porto (1995) e DNIT (2005).

Tabela 2 - Valores adotados para o coeficiente de escoamento superficial C

Classe	C
Ground (sem revestimento asfáltico)	0,35
Ground (com revestimento asfáltico)	0,84
Building (telhado)	0,85
Medium vegetation (vegetação média)	0,10
High vegetation (vegetação alta)	0,20

O valor médio de C de cada microbacia foi calculado como uma média ponderada dos coeficientes C de cada feição (classe) observada na microbacia. O peso relativo de cada feição (classe) foi calculado como a razão entre o número de pontos amostrados de uma determinada feição (classe) dentro da microbacia e o número total de pontos amostrados na mesma microbacia. Matematicamente, o valor médio de C de cada microbacia foi estimado pela Equação 4 a seguir:

$$\bar{C}_j = \sum_{i=1}^{NF} p_{ij} C_i = \sum_{i=1}^5 \left(\frac{NP_{ij}}{NP_j} \right) C_i \quad (4)$$

onde: \bar{C}_j = valor médio do coeficiente C para a microbacia j ;

C_i = valor do coeficiente C para a feição (classe) i ;

p_{ij} = peso da feição (classe) i na microbacia j ;

NP_{ij} = número de pontos amostrados da feição (classe) i na microbacia j ;

NP_j = número de pontos amostrados na microbacia j .

NF = número de feições ($NF = 5$, no presente trabalho)

A densidade da nuvem de pontos é crucial para determinação dos pesos de contribuição para a estimativa do valor médio de C de cada microbacia. Foram realizadas leituras de densidade em 50 pontos de terreno encoberto por vegetação e em terrenos expostos, onde verificou-se que, em média, o terreno coberto por vegetação tem sua densidade reduzida em 60%, quando comparado a terrenos expostos. Desta forma, o valor de C para terrenos cultivados ou terrenos encobertos foi majorado em 60% para suprir a falta de pontos em razão da existência de cobertura vegetal.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 7 apresenta os mapas de potencial de geração de escoamento superficial, resultado da análise conjunta das bacias e representa o principal resultado do estudo, cujo objetivo principal é identificar áreas críticas de geração de escoamento superficial, tendo, como estudo de caso, quatro bacias hidrográficas localizadas na cidade de Curitiba-PR.

Verifica-se visualmente que a área 1, densamente urbanizada, apresenta maior potencial de geração de escoamento superficial em termos médios, em virtude principalmente do uso e ocupação do solo. No entanto, é possível observar microbacias com alto potencial de geração de escoamento superficial nas áreas 3 e 4 que são bacias com maior cobertura vegetal. Destaca-se que a análise individual das bacias não representa nenhuma complexidade adicional ao método, exigindo apenas a transformação para a escala de 0 (zero) a 100 (cem), individualizada para cada bacia.

A Figura 8 mostra uma análise estatística do potencial de geração de escoamento superficial das microbacias das 4 bacias hidrográficas do estudo. A análise estatística permite identificar as bacias hidrográficas que apresentam maiores valores médios de potencial de geração de escoamento

superficial (áreas 1 e 2), bem como, a existências de outliers, possibilitando a localização espacial das microbacias cujo potencial de geração do escoamento superficial é muito superior aos das demais microbacias que compõem cada bacia hidrográfica em análise. De modo geral, como os relevos das bacias analisadas não são muito distintos entre si, os outliers se localizam em regiões com grandes feições de impermeabilização: pátios pavimentados, grandes telhados ou extensas vias.

Figura 7 - Mapas de potencial de geração de escoamento superficial para as bacias hidrográficas (análise conjunta)

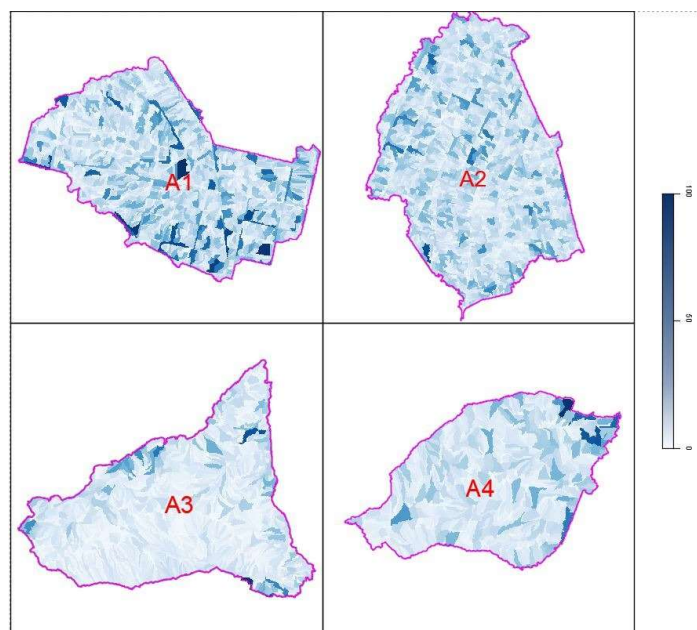
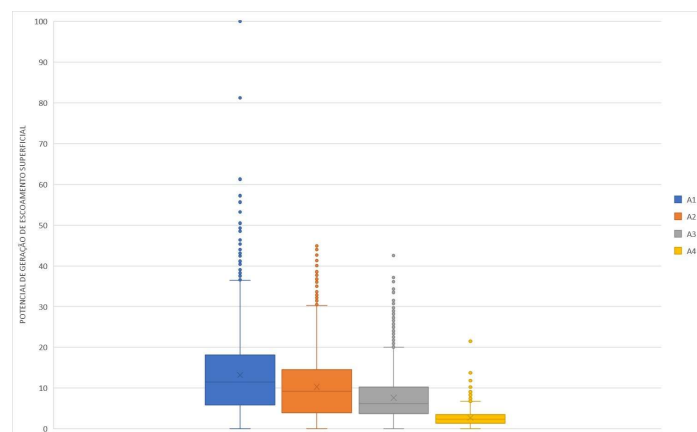


Figura 8 – Análise estatística do potencial de geração de escoamento superficial das microbacias



CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia proposta permitiu estabelecer uma classificação (ranqueamento) que possibilitou identificar as microbacias críticas, em termos de potencial de geração de escoamento superficial, em cada uma das 4 bacias hidrográficas analisadas. Como era de se esperar, em uma análise conjunta, as bacias mais urbanizadas (áreas 1 e 2) possuem um maior número de microbacias com maior potencial de geração de escoamento superficial, embora se verifique também microbacias com grande potencial nas bacias menos urbanizadas (áreas 3 e 4). Por não haver muita diferença nas características do relevo das bacias em estudo, o potencial de geração do escoamento superficial foi influenciado principalmente pelo uso e ocupação do solo.

É importante destacar que a existência de informações detalhadas para as bacias analisadas, a partir do levantamento a laser aerotransportado, permitiu a definição dos caminhos preferenciais de escoamento em bacias cujo sistema de drenagem natural é quase que completamente substituído por um sistema de drenagem artificial. Tal demarcação permite auxiliar no embasamento de políticas públicas de planejamento urbano e na concepção de projetos de drenagem urbana, principalmente os que visam amortecer cheias em pontos à jusante das regiões críticas.

Como desenvolvimento futuro, recomenda-se o uso de outros métodos para a estimativa do potencial do escoamento superficial. Sugere-se também análise mais detalhada das características de relevo das regiões analisadas para avaliar de modo conjunto a contribuição do relevo (declividades) e do uso e ocupação do solo. Nesse sentido, é interessante comparar bacias cuja características de relevo sejam significativamente distintas.

REFERÊNCIAS

- CENTENO, J. A. S. (2003) *Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais*. Departamento de Geomática, UFPR.
- CENTENO, J. A. S.; MITISHITA, E. A. (2007). “*Laser Scanner Aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR*” in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. INPE, 364 p.
- CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. dos S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A. (2020). “*Evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza*” in Saúde em Debate, 43, 94–108. <https://doi.org/10.1590/0103-11042019s307>.
- DNIT (2005). *Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem*. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Publicação IPR-715. 133 p.
- HOLTZ, A. C. T. (1976). “*Precipitação*” in Hidrologia Básica. Org. por Pinto, N. L. S., Holtz, A. C. T., Martins, J. A. e Gomide, F. L. S. Editora Edgard Blücher, São Paulo – SP, p. 7-35.
- NAMBA, J. U.; BOLONHEZ, B. F.; LIMA, E. P.; SOARES, P. F. (2021) “*Avaliação da Influência do Uso e Ocupação do Solo na Geração de Escoamento Superficial em Duas Bacias Urbanas*” in Revista Tecnológica, 30, Universidade Estadual de Maringá, p. 53-64, ISSN 1517-8048 - 10.4025/revtecnol.v30i156820.
- OLIVEIRA, U. C.; SOARES, M. H. V. (2022) “*Análise multitemporal do uso e ocupação do solo e cobertura vegetal do município de Coreaú (CE) nos anos de 1999, 2009 e 2019*” in A Cartografia na era Digital, p. 101-112.
- PORTO, R. L. L. (1995). “*Escoamento superficial direto*” in Drenagem Urbana. Org. por Tucci, C. E. M., Porto, R. L. L. e Barros, M. T. ABRH, Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre – RS, p. 107-165.
- SIEFERT, C.A.C.; SANTOS, I. (2012) “*Mecanismos de geração de escoamento e áreas hidrologicamente sensíveis: uma abordagem hidrogeomorfológica para delimitação de áreas de preservação permanente*” in RA'E GA 24 (2012), p. 227-257.
- TUCCI, C. E. M. (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade; UFRGS; EDUPS; ABRH, 943 p.
- WILKEN, P. S. (1978). *Engenharia de Drenagem Superficial*. São Paulo: CETESB, 1978.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) pelo fornecimento de dados e informações que possibilitaram o desenvolvimento do trabalho.