

SUPERFÍCIE DE ESCOAMENTO E ACUMULAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Barbara M. Giacom-Ribeiro¹, Clódis de O. Andrades-Filho²

¹ Curso de Arquitetura e Urbanismo, Coordenadoria Acadêmica,
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) Campus Cachoeira do Sul, barbara.giacom@ufsm.br ;

² Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sustentabilidade (PPGAS),
Unidade São Francisco de Paula, clodis-filho@uergs.edu.br

RESUMO

Em áreas urbanas, estudos e ações na escala da bacia hidrográfica para identificação do “Ciclo Lixológico” são essenciais para se evitar ou minimizar as destinações inadequadas de resíduos sólidos e, conseqüentemente, degradação do meio ambiente. Considerando-se as muitas possibilidades de descarte de resíduos sólidos, muito pouco se sabe sobre os detritos lançados inadequadamente no ambiente, que ficam excluídos dos sistemas de manejo e gestão municipais. Tais resíduos podem se deslocar pelo ambiente pela ação de chuvas ou ventos, por exemplo, podendo se acumular em locais propícios à sua retenção. É proposto o Índice Relativo de Propensão à Acumulação (IRPA) com o objetivo de caracterizar a superfície de escoamento antropizada. O resultado é apresentado sob forma de mapeamento de locais propensos ao acúmulo de resíduos sólidos urbanos, informação que pode subsidiar o planejamento de ações e o desenvolvimento de políticas e programas de gestão relacionados ao meio ambiente, à ocupação urbana e à educação ambiental.

Palavras-chave — resíduos sólidos urbanos, superfície de escoamento, variáveis morfométricas, mapeamento temático

ABSTRACT

Studies and actions taken at the watershed scale to identify the “Wastelological Cycle” are essential to avoid or minimize undue waste disposal and, consequently, environmental degradation. Considering the many possibilities of solid waste disposal, very little is known about the improperly disposed debris in the environment, which are excluded from municipal handling and management systems. Such residues can travel through the environment taken by rain or wind, for example, and can accumulate in places suitable for its retention. Aiming to characterize the anthropogenic flow surface, we propose the Accumulation Propensity Relative Index (IRPA). The result is presented through mapping of sites prone to urban solid waste accumulation, an information that can subsidize the planning of actions and the development of management policies and programs related to the environment, urban occupation and environmental education.

Keywords — urban solid waste, flow surface, morphometric variables, thematic mapping

1. INTRODUÇÃO

O popular “lixo urbano” (chamado, alternativamente, de detrito, sujeira, impureza, sobra, entulho, entre outros) é um problema grave em diversas cidades brasileiras. Geralmente composto de materiais industrializados, tais como garrafas, latas, embalagens plásticas e de papel, jornais, sacolas de supermercado, maços de cigarros, também pode incluir itens como peças de veículos, entulho de construção civil, móveis velhos, além dos resíduos orgânicos e animais mortos. Os resíduos acumulam-se nas imediações de centros comerciais, estacionamento, estações de trem e ônibus, estradas, escolas, parques públicos, lixeiras públicas, lixões, depósitos de coleta de recicláveis e ecopontos. Até que “alguém” vá removê-lo, permanece nesses locais; mas existe também a possibilidade de ser transportado pela força de ventos e/ou de chuvas, sendo, muitas vezes, conduzido no sistema de drenagem urbana [1].

O descarte inadequado dos resíduos sólidos provoca sérias e danosas conseqüências à saúde pública e ao meio ambiente. Em tempos de chuva, por exemplo, o acúmulo de resíduos sólidos em regiões inadequadas pode trazer diversos perigos: sua disposição ilegal em locais como terrenos baldios, margens de córregos e rios e nas ruas e calçadas, contribui diretamente com as enchentes, potencializando-as, pois entope bocas de lobo e galerias de água pluvial, diminuindo a capacidade de escoamento de água das mesmas; além de assorear córregos e rios, o que altera a seção transversal dos mesmos, reduzindo a sua profundidade e aumentando, então, a cota de inundação para um mesmo evento de chuva. As enchentes espalham os resíduos sólidos, que podem contaminar a água e alimentos. As perdas econômicas incluem os recursos destinados à limpeza das áreas atingidas, ao socorro das vítimas que perderam bens ou mesmo foram retiradas de suas residências, à recuperação de redes de infraestrutura que tenham sido danificadas (e.g., fornecimento de energia elétrica, abastecimento de água, etc.), bem como prejuízos decorrentes da interrupção das atividades cotidianas (e.g., interrupção do transporte de pessoas e cargas, das atividades de estabelecimentos comerciais e de serviços, etc.). As conseqüências do lançamento inadequado de resíduos sólidos no ambiente acontecem sob efeito cascata, refletindo-se de montante à jusante na bacia hidrográfica.

A demanda por dados confiáveis sobre a geração de resíduos sólidos está implicitamente incluída na maioria das legislações relativas à gestão de resíduos sólidos. Mais explicitamente, exige-se uma avaliação dos resíduos gerados atualmente e suas previsões futuras, permitindo que as

autoridades públicas competentes possam planejar a eliminação destes resíduos com anos de antecedência. Ainda hoje, contudo, são escassos os dados sobre quantidade e qualidade dos resíduos na rede de drenagem, tanto no Brasil, quanto internacionalmente, devido ao monitoramento possuir custo elevado e demandar tempo para coleta de dados. Relacionar as fontes de geração e a resposta do ecossistema são fatores importantes na geração de informações para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos no meio urbano [1].

Após uma detalhada revisão de literatura sobre caracterização, quantificação e modelagem de resíduos sólidos [2], observou-se que existe uma vasta gama de pesquisas que buscam otimizar a alocação de pontos de coletas de resíduos sólidos e o dimensionamento dos contêineres e lixeiras a serem implantados, considerando-se, para isto, a disposição adequada dos resíduos (i.e., acomodação em embalagem adequada e condução, pelo indivíduo, até o ponto de recolha do sistema de coleta). Entretanto, não há literatura que aborde a acumulação de resíduos sólidos de modo “espontâneo” no ambiente (i.e., natural ou antropizado), ou seja, daqueles resíduos sólidos que se deslocam por ruas, terrenos e corpos d’água sem a ação direta de homem (e.g., sob ação de vento, chuvas, etc.) [2].

A partir do entendimento do “Ciclo Lixológico” como o ciclo de geração, transporte e disposição final dos resíduos sólidos, integrando variáveis relativas ao ambiente físico, às características socioeconômicas da população e às condições da infraestrutura urbana existente, torna-se possível a tomada de decisões mais eficiente e mais acertada em termos de planejamento e gestão de resíduos sólidos [2]. Nesse ínterim, este trabalho busca contribuir com a modelagem do transporte de resíduos sólidos no ambiente urbano por meio da identificação de condições propícias ao deslocamento e ao não-deslocamento (i.e., acumulação) de resíduos sólidos, caracterizando a fisicamente a superfície de transporte. A identificação de locais propensos ao acúmulo de resíduos sólidos pode subsidiar o planejamento e o desenvolvimento de políticas e programas de gestão relacionados ao meio ambiente, à ocupação urbana e à educação ambiental.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização do relevo de uma cidade é de fundamental importância para caracterização do ambiente urbano e de seu meio natural. Esta caracterização possibilita a obtenção de informações variadas, como a dinâmica hidrológica, áreas de risco, planejamento do uso e ocupação do solo, potencialidades e fragilidades da área estudada, ou seja, de várias informações que contribuem com o planejamento do meio físico. Os métodos paramétricos de identificação de formas de terreno podem fornecer uma base objetiva e uniforme na identificação de sistemas terrestres. Estes requerem a medição e o mapeamento de variáveis do relevo, como altitude, declividade, curvaturas vertical e horizontal, orientação de vertentes etc., que são combinados para caracterizar o relevo de forma mais completa [3].

Nesta pesquisa, são utilizados dados provenientes de um

levantamento LiDAR para caracterização altimétrica da área de estudo. Os dados LiDAR são importantes na caracterização do meio ambiente antropizado, pois, devido à sua resolução espacial, têm capacidade de retratar feições de objetos de dimensões pequenas em cena, por exemplo, distinguir o desnível entre uma calçada e a rua. Para atingir o objetivo desse trabalho de caracterizar a superfície de escoamento antropizada, utiliza-se o MDE (modelo digital de elevação), que registra claramente os arruamentos da área, praças, terrenos baldios, entre outros, i.e., permite uma caracterização mais fiel da superfície de escoamento por onde os resíduos sólidos trafegam. Toma-se a bacia hidrográfica Mãe d’Água, em Viamão (Rio Grande do Sul), como estudo de caso [2].

As variáveis morfométricas básicas locais utilizadas são a declividade, curvatura horizontal, curvatura vertical e orientação de vertentes [3].

A variável *declividade* é resultante do ângulo de inclinação da superfície em relação ao plano horizontal local. Geralmente, é representada em valores percentuais ou em graus. A declividade tem ação preponderante nos processos hidrológicos, uma vez que baixos valores de declividade são associados a uma baixa capacidade de escoamento superficial; já altos valores de declividade são associados a uma alta capacidade de escoamento e menor propensão à acumulação (Figura 1a).

A variável *curvatura vertical* refere-se à forma côncava, retilínea ou convexa do terreno sob uma perspectiva em perfil. Morfometricamente, essa variável é representada na medida de ângulo (graus) por metro, já que é traduzida pela variação de ângulo por meio de uma distância horizontal no terreno; ou também pode ser representada em raio de curvatura. Terrenos côncavos tendem a acumular mais água e sedimentos na base em detrimento dos terrenos retilíneos e convexos (Figura 1b).

A *curvatura horizontal* diz respeito à condição divergente-convergente do terreno, no que tange ao escoamento superficial, numa perspectiva em projeção horizontal. Desta forma, a curvatura horizontal é resultante da integração de direções de declive. Assim como a curvatura vertical, a curvatura horizontal pode ser representada em ângulo por distância (i.e., graus por metro) ou em raio de curvatura (metros). Terrenos convergentes tendem a concentrar o escoamento superficial, ao contrário de terrenos divergentes, que tendem a dispersar o escoamento. Terrenos planares possuem curvatura horizontal nula, ou seja, apresentam as direções de escoamento paralelas entre si (Figura 1c).

Considerando a associação de entre as curvaturas horizontal e vertical, as condições extremas são: a) forma côncavo-convergente, onde a concentração e acúmulo de escoamento é máxima; e, b) forma convexo-divergente, onde a concentração e acúmulo de escoamento é mínima.

Em um SIG (Sistema de Informações Geográficas), essas variáveis são obtidas a partir de operações de vizinhança por janelas móveis sobre o MDE, que compõe uma matriz de dados de elevação. São extraídas, então, as variáveis morfométricas básicas locais a partir do dado de entrada (i.e., o MDE da área de estudo). As avaliações combinadas dos diferentes planos de informação resultantes (i.e., em formato *raster*), podem gerar

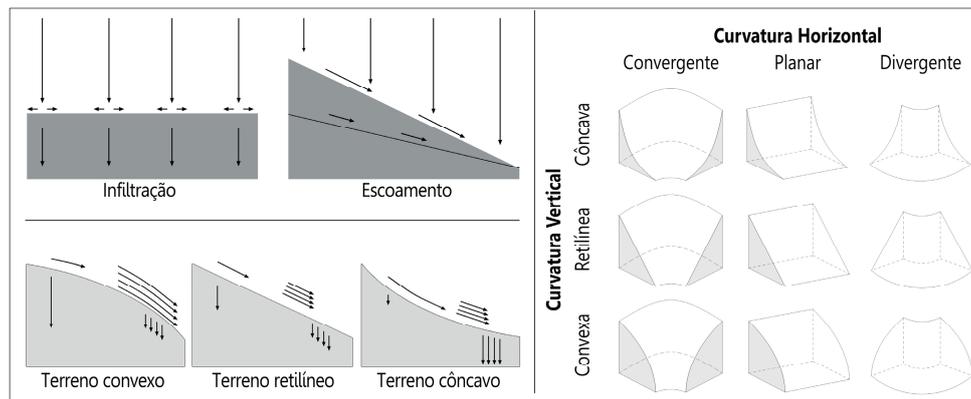


Figura 1. Influências sobre o escoamento superficial e sub-superficial: (a) da declividade; (b) da curvatura vertical. (c) representação esquemática combinada das curvaturas horizontal e vertical. [3 – adaptado]

índices morfométricos a partir da aplicação de álgebra de mapas (i.e., por meio de operações aritméticas de soma, subtração, multiplicação e divisão, ou também, operações de relação, como: menor que, maior que, menor ou igual, igual, diferente, etc.). A espacialização das variáveis permite identificar áreas propícias à acumulação de fluxos, servindo, neste caso, como áreas propensas à acumulação de resíduos sólidos que foram lançados de forma inadequada no ambiente.

A partir dos conceitos apresentados, propõe-se a identificação das áreas mais propícias à acumulação de fluxo por meio da classificação das variáveis morfométricas de curvaturas horizontal e vertical em quartis. O fatiamento dos dados em quartis divide o intervalo de valores da variável em quatro quartis de mesmo tamanho (i.e., no domínio da frequência – neste caso, mesmo número de *pixels*).

A declividade por sua vez, foi classificada em dois intervalos: até 6° (ou 10,51%) e acima de 6° [4]. Na literatura relativa a corridas de massa (i.e., *debris flow*), há estudos que estabelecem as declividades que desencadeiam a descida de massa [4, 5]. Entretanto, não foram encontradas referências de pesquisas que subsidiassem determinar limites em que resíduos sólidos entrassem em movimento, nem tampouco limites que indicassem o início da acumulação (i.e., fim do fluxo de resíduos sólidos). Por isso, foi adotado o limite de 6°, que corresponde ao gradiente de deposição do fluxo de detritos.

As quatro classes de cada variável têm os seguintes significados:

- a) No plano de informação de declividade, a classe de valores mais baixos corresponde às áreas do terreno com menor declividade, já aqueles pixels com valores mais altos representam as áreas de declividade mais acentuada;
- b) No plano de informação de curvatura horizontal, a primeira classe (i.e., valores mais baixos) representa as porções convergentes do terreno; a classe de valores mais altos representa as porções divergentes do terreno;
- c) No plano de informação de curvatura vertical, as classes mais inferiores correspondem a porções côncavas do terreno; as classes com valores mais altos, as porções convexas.

As áreas de acumulação são aquelas que combinam, ao mesmo tempo, baixa declividade e altas concavidade e

convergência do relevo, relativamente às demais porções da área de estudo. Na Figura 2, apresenta-se o fatiamento de um conjunto de dados hipotético conforme proposto: o ponto vermelho corresponde aos dados classificados nos primeiros quartis (Q1) das variáveis morfométricas curvaturas horizontal e vertical, e na primeira classe (C1) de declividade (i.e., de 0° a 6°); no outro extremo (ponto cinza), estariam as áreas com maior declividade, baixa concavidade (i.e., alta convexidade) e baixa convergência (i.e., alta divergência) do terreno [2].

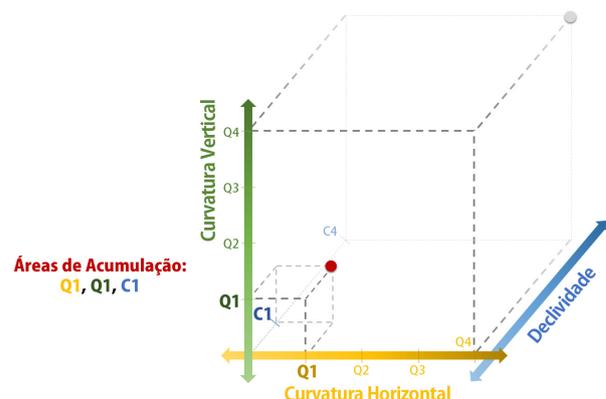


Figura 2. Representação esquemática da classificação quanto à acumulação de fluxos do universo de dados possíveis [2]

Desta forma, é proposto um **Índice Relativo de Propensão à Acumulação (IRPA)** produzido pela operação aritmética em álgebra de mapas apresentada na Equação 1.

$$IRPA = \frac{ClasseDecl + ClasseCurv.Horiz. + ClasseCurv.Vert.}{3} \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A combinação de variáveis morfométricas locais de declividade e curvaturas horizontal e vertical permitiu a identificação de áreas propícias à acumulação de resíduos sólidos e de fluxos hídricos superficiais. A resultante de cada uma das três variáveis foi classificada em quatro quartis de

Tabela 1. Limites inferiores da classificação por quartis das variáveis morfométricas calculadas para a bacia Mãe d'Água.

Variável Morfométrica	Quartis			
	Q1	Q2	Q3	Q4
Declividade	< 3,76°	< 8,14°	< 15,33°	< 79,8°
Curvatura horizontal	< -19,64% / 100m	< -7,16% / 100m	< 5,31% / 100m	< 1.902% / 100m
Curvatura vertical	< -10,01% / 100m	< -0,61% / 100m	< 18,18% / 100m	< 1.211% / 100m

Obs: o primeiro quartil de cada variável morfométrica (Q1), destacado em cinza, refere-se às condições favoráveis à acumulação de fluxos.

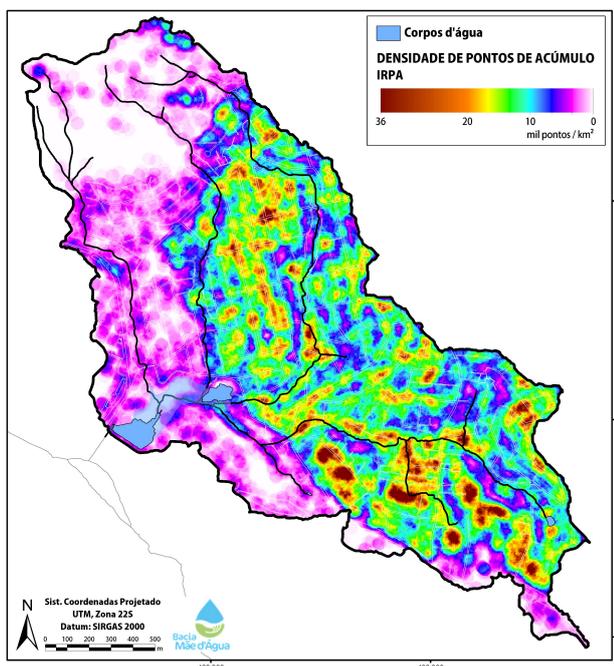


Figura 3. Mapa de densidade de pontos propensos à acumulação de resíduos sólidos e fluxo hídrico.

distribuição dos valores resultantes. A Tabela 1 apresenta os limites inferiores de cada quartil para as três variáveis.

Estes resultados foram integrados e reclassificados, para então se calcular o Índice Relativo de Propensão à Acumulação (IRPA). Ou seja, a partir dos resultados do IRPA, as áreas de acumulação foram classificadas por meio da ocorrência de *pixels* dos primeiros quartis (Q1) de todas as variáveis, que correspondem às áreas do terreno com menor declividade, maior convergência e maior concavidade do relevo, relativamente às demais porções da área de estudo. No outro extremo estão os *pixels* classificados no último quartil das variáveis (Q4): nesta classe estão as áreas de maior declividade, mais divergentes e mais convexas do terreno. O conjunto de dados contido no intervalo entre os dois extremos descritos correspondem a condições intermediárias de escoamento x acumulação.

Na Figura 3, apresenta-se o mapa de densidade de pontos propensos à acumulação de resíduos sólidos e fluxo hídrico na Bacia Mãe d'Água, obtido a partir do cálculo do Índice IRPA sobre as variáveis topográficas: declividade, curvaturas

horizontal e vertical. Para melhor visualização, o mapa de densidades foi produzido com células de 5 m e raio de 30 m.

O IRPA calculado revela que 0,86% do total da área de estudo têm propensão à acumulação de fluxo hídrico e, portanto, de resíduos sólidos, considerando as condicionantes topográficas. Estas áreas propensas à acumulação concentram-se de forma expressiva em algumas porções do terreno (manchas vermelhas escuras). A porção sul da área de estudo apresenta mais áreas propensas à acumulação em detrimento da porção norte. É possível afirmar que há áreas propensas à acumulação tanto em porções de alto curso da bacia, inclusive próximo ao interflúvio, como nas porções de médio e baixo curso.

4. CONCLUSÕES

Diversas são as experiências relatadas na literatura de maneiras de se investigar e propor medidas para o controle dos resíduos sólidos lançados no ambiente – acredita-se que a solução primal para este problema ambiental seja a educação.

A modelagem da acumulação de resíduos sólidos pode ser usada de modo prático no planejamento de ações de gerenciamento de resíduos sólidos. O mapeamento da superfície de escoamento a partir de dados LiDAR permitiu identificar locais onde se deve intensificar os serviços de coleta e limpeza urbana, bem como indicar locais onde esses serviços devam ser implantados com urgência. Também nesses locais, medidas de curto prazo devem ser tomadas com o objetivo de verificar a possível existência de focos de reprodução de organismos transmissores de doenças infecciosas.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Armitage, N., "The reduction of urban litter in the stormwater drains of South Africa", *Urban Water Journal*, v. 4, n. 3, 2007, pp. 151-172. DOI: 10.1080/15730620701464117.
- [2] Ribeiro, B.M.G., "Modelagem Socioambiental de Resíduos Sólidos em Áreas Urbanas Degradadas: Aplicação na Bacia Mãe d'Água, Viamão, RS", Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional), Universidade Federal Rio Grande do Sul (UFRGS), UFRGS, Porto Alegre, 2017. 392 p. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001052926&loc=2017&l=a71ecd9213478373>>.
- [3] Valeriano, M.M. "Dados topográficos", *Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais*. Oficina de Textos, São Paulo, 2008. pp. 72-104.
- [4] Alvarado, J. L. S., "Simulação bidimensional de corridas de detritos usando o Método de Elementos Discretos". Dissertação (Mestrado), Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), 2006.
- [5] Fannin, R. J. e Wise, M. P., "An empirical-statistical model for debris flow travel distance", *Canadian Geotechnical Journal*, v. 38, n. 5, 2001. pp. 982-994. DOI: 10.1139/t01-030.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro à execução deste trabalho sob forma de bolsa de doutorado; e à Esteio Engenharia e Levantamento pela cessão dos dados de perfilamento a *laser* (LiDAR).