

MAPEAMENTO DO SOLO URBANO: DEMANDA EM HIDROLOGIA

Néstor Aldo Campana

Dpto. Engenharia Civil - Faculdade de Tecnologia

Universidade de Brasília- UnB

Cx. Postal 15-3041, CEP 70910-900, Brasília-DF

e_mail: mnestor@guarany.cpd.unb.br

Abstract In this work have been developed a methodology to esteem the impermeable rate of a watersheds, from remote sensing image supervised classification. The algorithm used is based on the fuzzy representation, which presents the major achievements including higher overall classification accuracy and identification of types and proportions of component cover class in mixed pixels. Results of classifying a Landsat TM image are presented and their accuracy is analysed.

Keywords: fuzzy representation, mixed pixel, supervised classification

Introdução

A urbanização de uma bacia se reflete, do ponto de vista hidrológico, principalmente em dois parâmetros: a fração de superfícies impermeáveis e a velocidade de propagação do escoamento na bacia. Para ambos os parâmetros são detectados aumentos expressivos. Os dois parâmetros citados formam parte da estrutura da maioria dos modelos de simulação empregados na modelagem do escoamento em ambientes urbanos.

Pela ausência de uma alternativa que permita a estimativa precisa, na prática, esses parâmetros são considerados com parâmetros de ajuste. Portanto, com o objetivo de aprimorar o desempenho dos modelos matemáticos de simulação, foi desenvolvida uma metodologia para a quantificação da fração de áreas impermeáveis e sua distribuição espacial, a partir da classificação supervisionada de imagens digitais Landsat-TM.

Estimativa de áreas impermeáveis por sensoriamento remoto

Por causa da composição extremamente complexa dos espaços urbanos, as técnicas convencionais de classificação de imagens digitais como o método da máxima verossimilhança, apresentam resultados inadequados, para esse tipo de cenas. Com o método citado, é possível fazer uma classificação a nível somente de pixel, isto é, cada pixel é atribuído inteiramente a uma das classes pré-definidas ou permanece como não classificado. Dessa forma não é possível levar em consideração pixels "mistura".

Pixel mistura é aquele no qual mais de uma classe está presente. O problema do pixel mistura está relacionado com: a) o tamanho do pixel, quanto maior for o pixel maior é a probabilidade de que mais de uma classe ocorra no mesmo pixel; b) o efeito de borda, isto é, o pixel cai sobre os limites entre duas ou mais classes presentes no terreno.

Pelas características das áreas urbanas, a presença de pixels mistura é muito significativa. Por essa razão recomenda-se o emprego de um modelo de classificação de imagens digitais baseado no conceito de pixel mistura, como o proposto por *Campana (1992)*

Esse algoritmo de classificação foi utilizado neste estudo, para estimar a fração de áreas impermeáveis e sua distribuição espacial com base em imagens Landsat TM. O algoritmo é baseado em conceitos da matemática fuzzy.

Modelo Mistura

A teoria de conjuntos fuzzy surgiu com o objetivo de proporcionar novos conceitos e técnicas que permitam lidar com fontes de incerteza e imprecisão de natureza não-estatística. É preciso reconhecer a diferença que existe entre conjuntos fuzzy e teoria de probabilidade. Seja a seguinte definição: X é um número pequeno, onde a categoria "número pequeno" está representando um conjunto de números reais positivos. Essa definição está indicando uma distribuição de possibilidades ao invés de uma distribuição de probabilidade de X . A definição anterior não contém qualquer informação sobre a distribuição de probabilidade de X , de modo que a incerteza nela contida é de natureza

não-estatística. Uma abordagem ampla da teoria de possibilidades pode ser encontrada em *Kandel (1986)*.

Obviamente, embora existam situações "puras" que podem ser resolvidas exclusivamente pela teoria de probabilidade ou pela teoria de possibilidade, a generalidade das situações práticas que envolve tomada de decisão sob incertezas, exige que ambas as teorias sejam utilizadas conjuntamente.

Na abordagem fuzzy, uma imagem pode ser considerada como uma matriz de números fuzzy, cuja função pertinência expressa o grau de associação de cada número fuzzy (pixel) em particular às classes de informação existentes. Essa função pertinência assume valores no intervalo [0,1]: quando a função assume o valor zero significa que o pixel não pertence à classe, e se for igual a um o pixel pertence totalmente à classe, ou seja, trata-se de um pixel "puro". Valores da função pertinência entre zero e um indicam que x é um pixel mistura, isto é, mais de uma classe está presente nele. Segundo *Wang (1990.b)*, o valor que assume a função pertinência indica a proporção conforme a qual a classe está presente no pixel.

No método da máxima verossimilhança, os limites entre as classes são bem definidos e recebem o nome de superfícies de decisão. Já na abordagem fuzzy, não existem limites precisos entre as classes permitindo assim a possibilidade de que um pixel pertença a mais de uma classe.

Uma parte essencial na abordagem fuzzy é a identificação da forma da função pertinência, pois com base nela é que será feita a classificação da imagem digital. Embora a natureza não-estatística desta abordagem, na definição da função pertinência podem ou não estar incluídos elementos de natureza estatística. *Wang (1990.a)* propõe para a função de pertinência a seguinte expressão:

$$f_i(x) = \frac{P_i(x)}{\sum_{i=1}^n P_i(x)}$$

onde $P_i(x)$ tem a forma da função de densidade de probabilidade normal ou

Gaussiana (multivariada) e x denota um pixel (vetor) genérico. O termo $[\sum_{i=1}^n P_i(x)]^{-1}$

serve como fator normalizador, isto é, limita os valores da função pertinência no intervalo [0,1]. A única diferença é que deve-se substituir na expressão de $P_i(x)$ a média e variância normal, pela média e variância fuzzy, calculadas assim:

média:

$$\mu = \frac{\sum_{j=1}^m x_j \cdot f_i(x)}{\sum_{i=1}^n f_i(x)}$$

variância:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (x_j - \mu_i) \cdot (x_j - \mu_i)^T \cdot f_i(x)}{\sum_{i=1}^n f_i(x)}$$

Uma discussão mais detalhada sobre a abordagem fuzzy pode ser encontrada em *Wang (1990.a e 1990.b)* e *Fisher & Pathirana (1990)*.

Verificação do modelo

Para verificar a metodologia desenvolvida foi escolhida como área teste a cidade de Porto Alegre, no estado de Rio Grande do Sul. A área é abrangida pela imagem Landsat-TM referente à órbita 221/81/B. Neste trabalho foram utilizados dados Landsat-TM bandas 3, 4 e 5 sob a forma CCT relativos à passagem de 16/09/90. A classificação das imagens foi realizada com o software Proima (*Campana, 1994*), que oferece entre seus recursos o algoritmo baseado na lógica fuzzy.

Dentro do perímetro urbano da cidade de Porto Alegre foi delimitada uma área de 390 x 400 pixels, com uma superfície de 140 Km² aproximadamente. Para a classificação da imagem digital foram definidas quatro classes primárias ou classes "puras": vegetação, água, área construída (ruas pavimentadas, edifícios, estacionamentos,

etc) e solo exposto (no topo dos morros e na forma de ruas não-pavimentadas). Estas quatro classes são as predominantes na cena em questão.

É importante salientar que a grande variedade de alvos (materiais) presentes em cenas urbanas é uma situação que se pode traduzir em erros no processo de classificação. Além desse fato, existem materiais que apresentam aproximadamente o mesmo comportamento espectral, o que dificulta, também, o processo de classificação.

Com relação ao grau de impermeabilidade das diferentes classes, somente a classe área construída foi considerada como totalmente impermeável. Isso significa que para a determinação da fração de áreas impermeáveis foram considerados os pixels ou fração deles classificados como "área construída".

Para avaliar o desempenho do modelo, comparou-se os valores da fração de áreas impermeáveis obtidos da classificação da imagem digital (16/09/90) com os valores da fração de áreas impermeáveis obtidos por medição direta em ortofotos (tomadas em 1990) em escala 1:5000, considerados como os valores verdadeiros. Para essa finalidade foram selecionadas vinte e cinco áreas localizadas em diferentes bairros da cidade, que correspondem a regiões com muito alto, alto, médio e baixo grau de urbanização.

Na figura 1 é apresentada a relação entre o erro envolvido e o tamanho da área classificada. Pode-se observar que existe tendência de reduzir o erro a medida que aumenta a área, no entanto não existe tendenciosidade de subestimar ou superestimar. A figura 2 mostra a relação entre o erro e área impermeável, pode-se observar uma distribuição sem tendenciosidade até cerca de 70% de área impermeável, quando todos os pontos encontram-se na parte superior da curva.

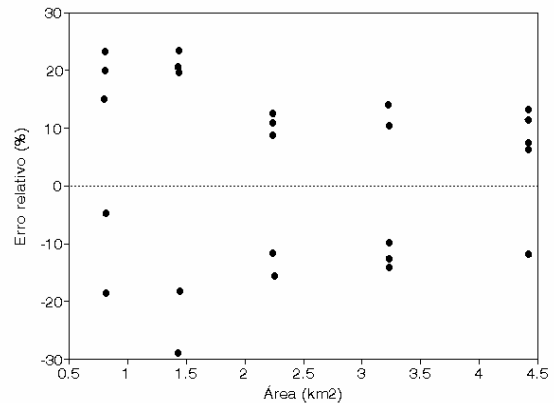


Figura 1 - Relação área-erro relativo.

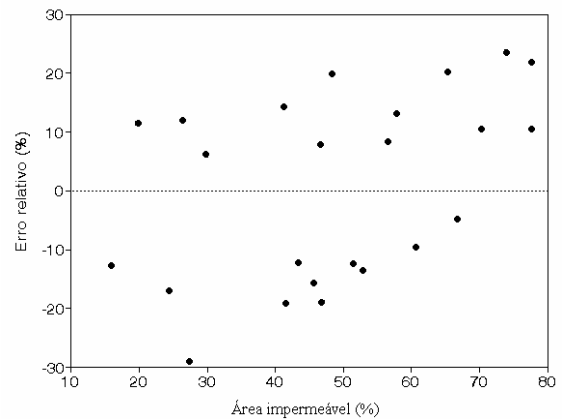


Figura 2 - Relação entre fração de área impermeável e erro relativo.

Na figura 3 são apresentados os valores de área impermeável estimado pelo modelo e o obtido pelas ortofotos, indicando a mesma tendência observada no gráfico anterior.

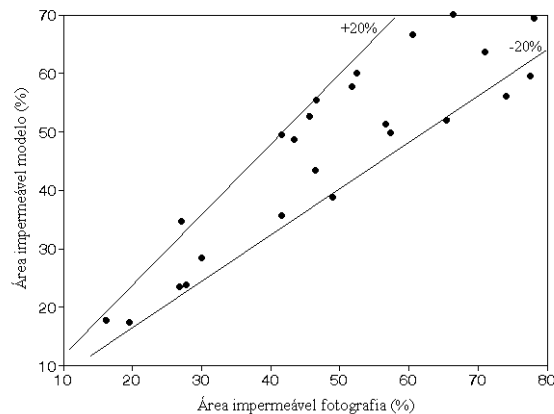


Figura 3 - Fração de área impermeável medida e calculada.

Uso do modelo

Após a verificação do desempenho do modelo proposto, foi estimada a taxa de área impermeável e a sua distribuição espacial para a bacia do arroio Dilúvio, localizada na região metropolitana de Porto Alegre. Os resultados obtidos são apresentados na figura 4.

Com relação ao desempenho do modelo proposto para a estimativa das áreas impermeáveis, os resultados obtidos revelam que para áreas abaixo de 2 km² os erros encontram-se distribuídos dentro da faixa de 25%, enquanto que para áreas maiores o erro tende a ficar dentro da faixa de 15% e convergindo para 10 % em bacias acima de 4 km². Estes valores no entanto dependem do taxa de áreas impermeáveis.

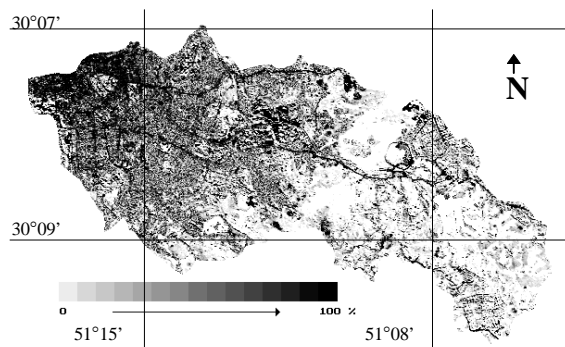


Figura 4 - Áreas impermeáveis na bacia do arroio Dilúvio, Porto Alegre-RS, em 1990.

A variação dos erros em função das áreas impermeáveis é uniforme até cerca de 70%. Acima de 70% os resultados podem ser tendenciosos. Para estudos de macrodrenagem urbana, que não requer de levantamentos muito detalhados das condições de ocupação e uso do solo, a utilização da metodologia proposta torna-se viável. Mas, recomenda-se a sua aplicação em áreas com tamanho não inferior a 2 km².

Conclusões

O sucesso deste algoritmo alternativo não se manifestou apenas na precisão, baixo custo e rapidez para se obterem os resultados, mas também pela possibilidade que a tecnologia de sensoriamento remoto oferece para acompanhar a dinâmica da paisagem urbana, pelo caráter repetitivo das imagens. Obviamente, essa capacidade da tecnologia espacial foi usufruída neste estudo.

Ainda que os resultados do processo de classificação das imagens digitais tenham

sido considerados compatíveis com a precisão requerida pelo modelo de simulação empregado, existe ainda possibilidade de aprimora-lo. Para tanto recomenda-se dar continuidade ao desenvolvimento deste tipo de algoritmo, incorporando, por exemplo, a informação de contexto, além da informação espectral já considerada pelo modelo em seu estágio atual.

Bibliografia

Campana, N. A. (1992). Estimación de parâmetros físicos de bacias usando técnicas de sensoriamento remoto e o sistema de informações geográficas. Dissertação de mestrado. IPH-UFRGS.

Campana, N. A. (1994). PROIMA - Sistema de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Manual do usuário. (não publicado).

Fisher, P. F., Pathirana, S. (1990). The Evaluation of Fuzzy Membership of Land Cover Classes in the Suburban Zone. *Remote Sensing of Environment*, vol. 34, p. 121-132.

Kandel, A. (1986). Fuzzy mathematical techniques with applications, p.72-73, Addison-Wesley Publishing Company.

Wang, F. (1990.a). Improving Remote Sensing Analysis through Fuzzy Information Representation. *Photogram. Engineering and Remote Sensing*, vol. 56, p. 1163-1168.

----- (1990.b). Fuzzy supervised classification of remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 28, n.2, p. 194-201.