

Análise temporal e quantitativa da impermeabilização dos solos através de imagens LANDSAT e CBERS na cidade de Curitiba/PR

Vaneza Andrea Lima de Freitas ¹
Marcelo Guimarães Ribeiro ²
Prof. Dr. Jorge A. Silva Centeno ¹

Universidade Federal de Paraná
81530200 Curitiba PR
Departamento de Geomática
¹ vanezalf@yahoo.com.br
¹ centeno@ufpr.br
Departamento de Hidráulica
² mgrcivil@hotmail.com

Resumo -- Nos estudos de hidrologia urbana a quantificação das áreas impermeabilizadas nas cidades é um importante parâmetro de entrada nos modelos matemáticos para tais fins, pois o crescimento destas áreas provoca o aumento no pico de escoamento e em consequência a frequência de inundações. O objetivo deste trabalho foi analisar a evolução temporal e espacial da taxa de urbanização da cidade de Curitiba, através determinação do coeficiente de permeabilidade do solo obtida através de imagens LANDSAT 5 para o ano de 1994 e LANDSAT 7-ETM+ para o ano de 2002. Além disso, foi estimada a taxa de ocupação para o ano de 2005 utilizando uma imagem CBERS. Esta análise é feita através da alteração dos valores do número de curva (CN) do *Soil Conservation Service (SCC)*, obtidas a partir de técnicas de sensoriamento remoto.

Palavras chaves: Impermeabilização do solo, Sensoriamento Remoto

Abstract. -- In urban hydrology, the quantification of urban impervious areas is an important input parameter for the mathematical models, because the growth of these areas causes an increase of the outflow peak and, therefore, the frequency of floods. In this paper we present the results of an study aimed at the estimate of temporal and spatial evolution of the urbanization rate of the city of Curitiba. For this purpose, the permeability coefficient of the ground was computed using satellite images. A LANDSAT 5 image was used for the year of 1994 and a LANDSAT 7-ETM+ image for 2002. A third estimate was obtained using a CBERS image of 2005. The analysis was based on the alteration of the values of the curve number (CN) of the Soil Conservation Service model (SCC), derived from the classified images.

Keywords: Soil imperviousness, Remote Sensor

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da permeabilidade do solo nas áreas das grandes cidades é um dos principais objetivos nos estudos hidrológicos de bacias urbanas, visto que o crescimento das áreas impermeabilizadas provoca um aumento no pico de escoamento e consequentemente aumenta também a frequência de inundações. Sabendo que o crescimento das áreas urbanizadas ocorre de forma acelerada e desorganizadas e, o grau de impermeabilização destas regiões está constantemente sendo alterado, há então uma necessidade de constantes atualizações, através do acompanhamento da evolução das temporal e espacial dessas alterações através de técnicas de sensoriamento remoto.

A aplicação do sensoriamento remoto deve-se a facilidade de obtenção destas informações num intervalo de tempo menor e custos mais baixos do que o levantamento feito in loco. Além disso, os avanços tecnológicos e o aumento da resolução espacial das imagens de satélite ocasionaram também um aumento precisão desses dados, conseqüentemente maior acuracidade dos modelos gerado através dessa ferramenta. Entretanto, a aquisição destas imagens de alta resolução ainda possui um custo elevado, e que muitas vezes inviabiliza a sua utilização.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a evolução temporal e espacial da taxa de urbanização da cidade de Curitiba, através determinação do coeficiente de permeabilidade do solo obtida através de imagens LANDSAT 5 para o ano de 1994 e LANDSAT 7-ETM+ para o ano de 2002, ambas imagens possuem uma resolução espacial de 30m e possuem 5 bandas espectrais. Além disso, foi realizada uma análise da taxa de ocupação para o ano de 2005 utilizando uma imagem CBERS, disponibilizada gratuitamente no site do INPE e que, possui uma resolução espacial de 20m porém, possui apenas 4 bandas espectrais (3 na região do visível e 1 na do infravermelho próximo) com a finalidade que verificar a qualidade da quantificação de áreas de solos exposto tendo em vista que por não operar no infravermelho médio os resultados podem ser alterados mesmo possuindo uma melhor resolução que o LANDSAT.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estimativa do CN pelo Soil Conservation Service

Um dos parâmetros de entrada mais importantes para os modelos matemáticos utilizados em estudos hidrológicos e aplicados às bacias urbanas é o coeficiente de permeabilidade. Isto decorre pelo fato deste coeficiente expressar a capacidade que o solo tem de absorver a água por infiltração ou seja, quanto maior a capacidade infiltração menor potencial para gerar escoamento superficial e consequentemente menor frequência de enchentes. Em geral este coeficiente não é estático, variando de acordo com o tipo de solo, o teor de umidade inicial e a intensidade das chuvas.

Para estudos de drenagem urbana deve-se considerar a parcela da precipitação responsável pela formação do escoamento superficial, denominada precipitação efetiva. Pela metodologia do *Soil Conservation Service (SCS)* a determinação desta precipitação é feita através da Equação 1, onde P representa a precipitação (mm) e S é a retenção potencial do solo (mm). O valor de S (Equação 2) é apresentado em função do valor CN (*Curve Number*)

$$P_e = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{(P + 0.8 \cdot S)} \quad (\text{Equação 1}) \quad \text{onde} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Equação 2})$$

O valor CN pode variar de acordo com o tipo de solo e o tipo de ocupação. Segundo a classificação do SCS os solos podem ser classificados em 4 classes de acordo com o comportamento hidrológico e o tipo de ocupação e estão apresentados na Tabela 1. A seguir são apresentados na Tabela 2 os valores do CN para cada tipo de solo e de ocupação (Fonte:NRCS)

Tabela 1: Classificação dos Solos segundo comportamento hidrológico

Tipo de solo hidrológico	Descrição
Solo A	solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte
Solo B	solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o 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 profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial

Tabela 2: Valores do Número da Curva (CN) (RAGAN, 1980)

Descrição do Uso do Solo	Tipo de Curva para os Grupos Hidrológicos de Solo			
	A	B	C	D
Árvores	25	55	70	77
Gramado	36	60	73	78
Residencial	60	74	83	87
Solo exposto	72	82	88	90
Altamente Impermeável	90	93	94	95

Entre os primeiros trabalhos publicados nessa direção, Ragan et al (1975) aplicou as técnicas de sensoriamento remoto para a obtenção de parâmetros hidrológicos utilizados nos modelos matemáticos e computacionais que simulam o comportamento hidrológico nas bacias situadas em áreas urbanas. O autor fez a identificação de uma imagem LANDSAT-MSS em 5 classes identificáveis por este sensor e comparou com os resultados de análise de imagens aerofotogramétricas na escala de 1:4800. Posteriormente, Ragan et al (1980) utilizaram as imagens do LANDSAT para a identificação dos diversos tipos de cobertura do solo e obtenção do valor CN para cada classe identificada e assim, avaliaram o impacto da evolução da ocupação urbana. Mais recente, Campana & Tucci (1994) realizaram um estudo sobre a estimativa de áreas impermeáveis através da classificação por *Pixel Mistura* através de conceitos matemáticos fuzzy. O estudo foi aplicado em áreas de macro bacias urbanas e o resultado deste trabalho foi o desenvolvimento de uma curva média de relacionamento entre a densidade habitacional e área impermeável.

2.2 Classificação das Imagens

O processo de classificação de imagens pode ser entendido como um procedimento para a extração de informações para reconhecimento de padrões e objetos com características espectrais semelhantes. Este procedimento tem por finalidade a simplificação na quantidade de informações extraídas da imagem, através de associações de grupos de pixels em determinadas classes pré-estabelecidas.

Os métodos de classificação fazem uma transformação de um grande número de níveis de cinza em cada banda espectral em um pequeno número de classes em uma única imagem e podem ser do tipo **pixel a pixel** ou **por região**. No primeiro método a definição das regiões homogêneas é feita utilizando-se apenas a informação espectral do pixel, aplicando técnicas estatísticas ou por métodos determinísticos. Na metodologia de classificação *por região* são utilizados tanto a coordenada espectral quanto a espacial através da análise de relação entre pixels vizinhos. Uma outra classificação dos métodos refere-se à intervenção humana no processo sendo denominada *Supervisionada* ou *Não Supervisionada*. Na

4 METODOLOGIA

As imagens estudadas foram originadas de três sensores diferentes. o sino-brasileiro CBERS forneceu as imagens do ano de 2005, com resolução espacial de 20 metros e bandas espectrais nas faixas 1, 2 e 3 do espectro visível e 4 do infravermelho próximo. O Satélite americano Landsat 7 forneceu as imagens do ano de 2002 provenientes do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), com resolução espacial de 30 metros e bandas espectrais nas faixas 1, 2 e 3 do espectro visível e 4, 5 do infravermelho próximo. O também Satélite americano Landsat 5 forneceu as imagens de 1994, provenientes do sensor TM (Thematic Mapper), com as mesmas resoluções espaciais e espectrais do Landsat 7.

Todas as imagens foram recortadas na região da área de estudo (Curitiba e região metropolitana). As imagens foram corrigidas geometricamente através da localização de pontos de controle e a adequação da imagem ao sistema de projeção UTM SAD-69. As três imagens utilizaram os mesmos pontos de controle, o que diminui a possibilidade de distorções diferenciais entre elas. As coordenadas do sistema de projeção destes pontos foram definidas com o auxílio de um equipamento GPS em campo. Como posteriormente seriam executadas análises espectrais dos dados das imagens, a correção foi executada usando a técnica de reamostragem pelo método Nearest Neighbor (vizinho mais próximo). Este método preserva os valores originais dos níveis de cinza da imagem.

A partir da imagem corrigida executou-se a classificação das imagens, o método da classificação supervisionada apresentou-se como a melhor solução, uma vez que a área de estudo era de conhecimento prévio dos operadores. Para a classificação, foi adotado um número restrito de classes, em função da experiência de Ragan, et al (1980), que dividiram os objetos em estudo pela suas características em: água, vegetação rasteira, vegetação densa, solo, áreas altamente impermeáveis e áreas residências. Estas seis classes foram utilizadas para a classificação das imagens.

Sobre as imagens recortadas foram definidas as amostras de treinamento referente a cada uma das seis classes de separação da imagem. Cada classe será diferenciada pela associação de uma cor característica que substitui na imagem classificada o valor digital original do pixel. Com relação à imagem do ano de 2005, como não se tinha a banda 5 do espectro infravermelho, a definição das amostras para a classe solo foi prejudicada, o que se reflete no tamanho desta amostra.

Para comparar as imagens e eliminar problemas com os dados localizados nos extremos dos recortes, foi delimitada uma área comum nas três imagens. Este procedimento foi feito através de um novo recorte na imagem classificada do sensor Landsat 5 de 1994, A área foi determinada com um retângulo de 500 x 500 pixels que se estendia entre as latitudes 25° 21'S e 25° 29'S e longitudes 49° 14'S e 49° 23'S. A imagem Landsat 7 de 2002 foi recortada com o mesmo retângulo da imagem anterior. A imagem do satélite CBERS tem uma melhor resolução espacial em relação ao satélite Landsat, apresentando pixel com 20 metros de largura. Para manter a área de estudo do mesmo tamanho o recorte foi executado nas mesmas coordenadas do sistema de projeção o que acarretou em um maior número de pixels, o recorte classificado tem 750 x 751 pixels.

5 RESULTADOS

O número de pixels por classe é determinado através da análise do histograma de cada imagem, com base nestes dados pode ser verificar a evolução da ocupação urbana na região, a variação da cobertura vegetal, assim como o CN (número da curva utilizado nos cálculos do modelo SCS - Soil Conservation Service), ao longo do tempo. A frequência com que o valor da classe aparece no histograma define também a área que a classe ocupa na imagem, bastando para isso multiplicar pela área do pixel. 400 metros para a imagem Landsat e 900 metros para a imagem Cbers.

As Figuras 2, 3 e 4, apresentam os resultados da classificação realizada para as seguintes imagens, respectivamente, LANDSAT 5 (1994), LANDSAT 7 (2002) e CBERS (2005)

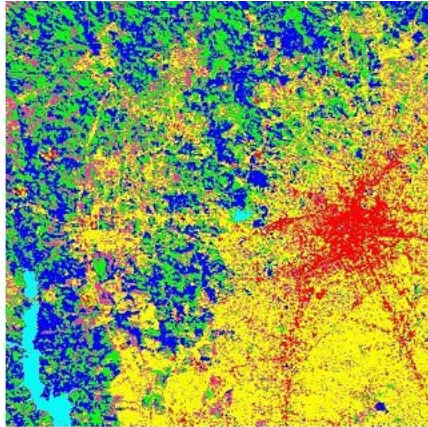


Figura 1: Classificação da imagem LANDSAT 5/1994

Figura 2 : Classificação da imagem LANDSAT 5/1994

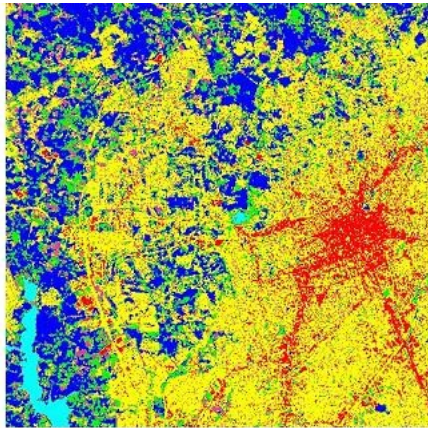


Figura 1: Classificação da imagem LANDSAT 7 ETM+/2002

Figura 3 : Classificação da imagem LANDSAT 7 ETM+/2002

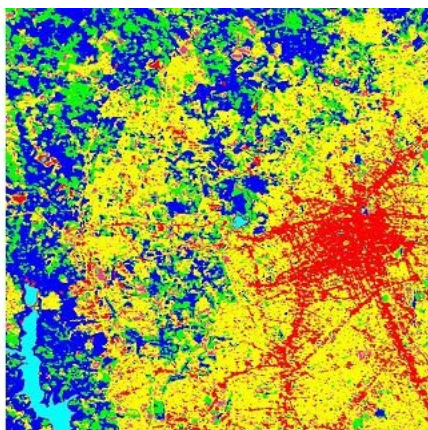


Figura 1: Classificação da imagem CBERS/2005

Figura 4 : Classificação da imagem CBERS/2005

Analisando a Tabela 3 verifica-se a evolução da ocupação urbana de 1994 para o ano de 2002 e, em conseqüência, a redução da área de cobertura vegetal, atestando que a região sofreu um processo de urbanização neste período. A sensível variação das classes solo e vegetação rasteira que perderam seus níveis percentuais, reflete-se no aumento da faixa pertencente à classe residencial, o que é confirma a tendência de crescimento da região na direção oeste;

A comparação das informações dos anos de 2002 e 2005 tem como função a validação do uso das imagens CBERS para estudos de taxa de impermeabilização com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto. Nota-se que a classe solo teve uma variação acentuada (Gráfico 1), isso reflete a ausência da banda 5 do espectro infravermelho no satélite CBERS, em comparação ao LANDSAT, esta banda facilita a detecção de áreas que apresentam solo exposto

Tabela 3: Análise da classificação.

Classe	nº	1994	2002	2005
		%	%	%
Água	1	2	1	1
Vegetação rasteira	2	23	15	16
Vegetação densa	3	20	21	22
Residencial	4	33	44	43
Solo exposto	5	16	9	5
Altamente impermeável	6	7	10	12

Figura 5 : Análise temporal de classes

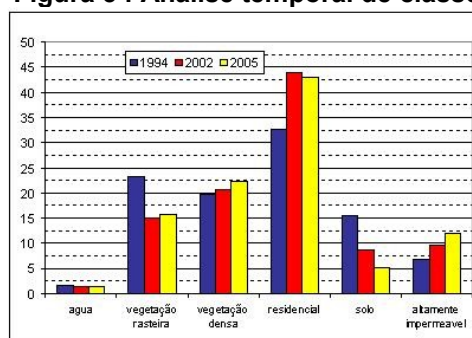


Gráfico 1: Análise temporal das classes

Para analisar o impacto destas alterações antrópicas no valor do coeficiente *CN* agrupou-se as classes em apenas dois grupos. No grupo *Permeáveis* incluiu-se as classes de vegetações densas e rasteiras juntamente com solo exposto, enquanto no grupo *Impermeáveis* entraram as classes residencial e altamente impermeável. A Tabela 4 apresenta as alterações temporais dos referidos grupos.

Comparando as classificações feitas pelo sensor LANDSAT nos anos de 1994 e 2002 verificou-se significativas alterações nestes valores. A área permeável que representava quase 60% da região em estudo sofreu uma redução de 14%, implicando numa maior probabilidade de cheias em caso de eventos extremos de precipitação.

Fazendo uma análise comparativa entre as imagens LANDST 7 ETM+ (2002) e o CBERS (2005) os resultando apresentam boa relação, onde as pequenas diferenças podem ser justificadas pela diferença temporal entre elas. Isto aponta a viabilidade de utilização do CBERS para estudos hidrológicos quando se necessita apenas a determinação da permeabilidade do solo. Para uma análise mais profunda de áreas de solo exposto não se recomenda a utilização do CBERS por não possui a banda do infravermelho termal.

Tabela 4: Análise da evolução dos grupos

Classe	1994	2002	2005
	%	%	%
Permeável	59	45	43
Impermeável	40	54	55

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo comprova que é possível analisar a variação temporal e espacial da cobertura do solo e, assim, estimar a variação das taxas de permeabilidade em áreas urbanas, como forma de fornecer subsídios a estudos hidrológicos em áreas urbanas. Analisando os resultados da classificação feita pelo CBERS (2005) com 4 bandas espectrais verificou-se uma redução do percentual da classe solo quando comparada com a classificação feita pelo LANDSAT 7 ETM+ (2003) com 7 bandas. Entretanto, quando se buscou quantificar apenas as áreas permeáveis e impermeáveis da região em estudo, as duas classificações apresentaram resultados semelhantes e, onde a pequena diferença se justifica pelo espaço temporal entre as duas imagens. Assim, imagem CBERS pode ser aplicada em estudos hidrológicos para a drenagem urbana quando os modelos matemáticos não requisitarem como parâmetros informações mais detalhadas do solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPANA, N.A. & TUCCI, C.E.M.: **Estimativa de Área Impermeável de Macro-Bacias Urbanas**, Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos, ABRH, Vol. 2, Nº. 2, pág. 79-93, 1994.
- RAGAN, R. M.&THOMAS, J. J.: **Runoff Synthesis using Landsat and SCS Model**, Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Nº. HY12, Pág. 1469-1475 Dezembro,1975.
- RAGAN, R. M., ASCE, M. &THOMAS, J. J.: **Use of Satellite Data in Urban Hydrologic Models**, Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol.106, Nº. HY5, Pág. 667-678, Maio,1980
- CAMPANA, N.A. ; HAERTEL, V.& TUCCI, C.E.M.: **Estimativa de Áreas Impermeáveis através de Sensoriamento Remoto**, Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos, ABRH, Vol. 10, Nº. 2, Pág. 51-59, Porto Alegre, 1992.
- CENTENO, J. A.S.- **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**, Ed.Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR, Curitiba, 2004.
- CENTENO, J. A. S., ANTUNES, A. F. B., TREVISAN, S & CORREAS, F. **Mapeamento de Áreas Permeáveis Usando uma Metodologia Orientada a Regiões e Imagens de Alta Resolução**. Revista Brasileira de Cartografia, 55/01
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas,Ed. Ver, Universidade de Campinas, 1993.
- NRCS -: **Field indicators of Hydric Soils in the United States**, <http://soils.usda.gov/use/hydric> , acessado em junho/2006