

Classificação orientada por regiões em imagem IKONOS para a identificação e análise da cobertura do solo urbano de Ubatuba (SP)

Denise Rossini-Penteado ¹
Mara Lúcia Marques ²
Antonio Carlos Moretti Guedes ¹
Pedro Paulo Cadena Giberti ³

¹ Instituto Geológico/SMA
Caixa Postal 2972 - 01065-970 - São Paulo – SP, Brasil
denise.acguedes@igeologico.sp.gov.br

² Fundação Municipal de Ensino Superior de Bragança Paulista
Caixa Postal 183 - 12929-600 - Bragança Paulista – SP, Brasil
dmpf@terra.com.br

³ Universidade de São Paulo – USP/FFLCH-DG
pedrogiberti@hotmail.com

Abstract: The improvement of spatial and radiometric resolutions of orbital sensors has enlarged the use of remote sensed images for detection and discrimination of urban objects by automated classification process. This paper presents an application of region-oriented classification on IKONOS II imagery for urban land-cover mapping and estimation of impermeable surfaces in Ubatuba-SP. The qualitative and quantitative analysis has confirmed the excellent classification performance according to Kappa coefficients. The main output was a thematic map that made possible a reliable estimate of the percentage of impermeable and permeable areas. The greatest occurrence of impermeable surfaces was identified at densely built areas situated in the center of the study region where ceramic land cover prevails. Even though permeable land covers, such as woodland, herbaceous-shrub and bare soil are predominant in the whole region.

Palavras-chave: region-oriented classification, high resolution image, urban land-cover, classificação orientada por regiões, imagem de alta resolução, cobertura do solo urbano.

1. Introdução

O sensoriamento remoto pode ser destacado como um instrumento importante na interpretação da organização urbana relacionada a alguns indicadores físicos passíveis de quantificação, os quais auxiliam no planejamento de programas que visam o desenvolvimento urbano. A complexidade da superfície torna extremamente heterogênea a cobertura do solo urbano, apresentando variabilidade de curvas espectrais que são traduzidas nas variações inter e intra classes (Forster, 1985).

Devido a menor subjetividade dos resultados, rapidez e facilidade na obtenção de informações de interesse, a utilização de técnicas automáticas ou semi-automáticas de classificação de imagens orbitais despontam como uma tendência crescente. A disponibilidade de imagens de alta resolução espacial e radiométrica, amplia a aplicabilidade desses produtos em estudos urbanos, permitindo a detecção e mapeamento de pequenos elementos que compõem a paisagem intra-urbana. Uma das vantagens dessas imagens reside nas mudanças no comportamento do *pixel*, de forma que um objeto pode ser identificado por vários *pixels*, o que não acontece em imagens de baixa e média resolução, onde um pixel apresenta uma variedade de objetos (Moreira, 2003). Apesar disto, ainda apresentam uma baixa qualidade espectral que dificulta a detecção e distinção da variabilidade espectral interna dos diferentes tipos de cobertura do solo urbano nos processos de classificação. Para que esta distinção seja possível, a classificação deve incorporar, além da informação espectral, a informação espacial que envolve a relação entre os pixels e seus vizinhos. Para explorar a qualidade da resolução espacial e superar a limitação espectral das imagens de alta resolução no processo de extração de informações, torna-se necessária a implementação de métodos alternativos a abordagem *pixel-a-pixel*, onde destaca-se a classificação orientada por regiões. Esses algoritmos,

em essência, agrupam pixels vizinhos com características similares em regiões uniformes, as quais posteriormente são classificadas em função dos seus atributos espectrais e espaciais.

Nos processos automatizados de classificação é possível diferenciar os classificadores supervisionados, onde informações são fornecidas pelo usuário por meio de amostras de treinamento que representam a variação espectral de cada classe; e não-supervisionados, onde algoritmos são utilizados para identificar e classificar os objetos ou regiões distintas da imagem. Os classificadores supervisionados orientados por região (segmentos ou objetos), permitem a interação do analista e, quando necessário, é possível corrigir a imagem resultante sem o comprometimento da classificação, a partir da identificação de amostras de treinamento representativas de cada classe considerada.

A abordagem orientada por regiões requer, como etapa anterior, a segmentação que divide a imagem em regiões a partir da delimitação de conjuntos de *pixels* contíguos e que apresentam semelhança em relação a determinado atributo, considerando a textura, a média e a variância dos valores de reflectância espectral. Também é determinado neste processo o limiar de área que define o número mínimo de pixels para que as regiões sejam formadas. Como critérios de definição da segmentação podem ser considerados a descontinuidade ou a similaridade da informação espectral da imagem. A técnica de segmentação por “crescimento de regiões” baseia-se na análise da similaridade, onde as regiões são agrupadas a partir de *pixels* individuais. O processo é repetido até que nenhum outro agrupamento possa ser feito (Oliveira et al., 2005; Pinho et al., 2005; Moreira, 2003).

O mapeamento da cobertura do solo urbano, um dos produtos que pode ser obtido da classificação por regiões, permite o desenvolvimento de várias análises, dentre as quais destaca-se a estimativa da proporção de áreas impermeabilizadas. A impermeabilização crescente das superfícies, como resultado da intensa ocupação do solo, acarreta mudanças profundas nas condições de escoamento de água nas bacias urbanas, aumentando a infiltração e o incremento do escoamento superficial que, entre outras conseqüências, resultam no aumento do número e da frequência de inundações. Diferentes coberturas apresentam comportamentos variados quanto à permeabilidade, sendo este conhecimento amplamente utilizado em modelos hidrológicos urbanos (Tucci, 2004).

Este trabalho tem como objetivo aplicar o método de classificação orientada por regiões em imagem de alta resolução, visando a identificação de elementos urbanos para o mapeamento da cobertura do solo urbano e, com isso, estimar a proporção de áreas impermeáveis e permeáveis em Ubatuba (SP).

2. Área de Estudo

A área-teste escolhida para o desenvolvimento deste estudo, compreende um setor da área urbana de Ubatuba-SP de aproximadamente 13 km², situado entre as coordenadas 23°24'21''S, 45°06'10''W e 23°27'40''S, 45°03'24''W. Este setor urbano inclui a sede do município, que apresenta alta densidade de ocupação por área construída, abrangendo as praias de Itaguá, Iperoig e Perequê-Açu. A seleção desta área justifica-se pelo fato de reunir os diferentes tipos de cobertura do solo de interesse e, também, devido ao conhecimento prévio de campo adquirido em estudos anteriores e à disponibilidade de dados e produtos de sensoriamento remoto.

3. Material e Metodos

Neste trabalho foi utilizada imagem IKONOS II multiespectral (bandas 1, 2 e 3), adquirida em 11/02/03, com resolução espacial restaurada de 1 metro.

Os softwares utilizados foram:

- SPRING 4.2 e ENVI 4.1: para o processamento das imagens orbitais;
- IDRISI KILIMANJARO: para as operações de análise espacial.

3.1. Tratamento das Imagens

As imagens IKONOS inicialmente foram registradas no sistema de projeção UTM, Datum SAD 69, zona 23, utilizando como referência ortofotos digitais. Para a reamostragem dos dados foi utilizado o interpolador “Vizinho-mais-Próximo”, o qual não resulta em alteração dos valores originais dos *pixels* da imagem.

Embora a resolução espacial seja um importante fator para a extração de informações urbanas, a separabilidade espectral entre os objetos de interesse é fortemente influenciada pelo contraste espacial entre os objetos (Jensen e Cowen, 1999). Considerando que as imagens multiespectrais são altamente correlacionadas e que, muitas vezes, geram composições coloridas com baixo contraste, neste trabalho foi aplicada, sobre as imagens multiespectrais, a técnica de “Realce por Decorrelação” disponível no software ENVI. Trata-se de uma técnica de realce de cores através da eliminação da correlação entre bandas, que inclui todos os passos de uma Transformação por Principais Componentes, seguido de um aumento de contraste e de uma transformação inversa para o espaço RGB visando a restauração das cores originais.

3.2. Classificação Orientada a Regiões

A classificação orientada por regiões neste estudo foi realizada em 4 etapas: segmentação; extração de regiões; classificação e mapeamento.

Como premissa da classificação, foi efetuado o processo de segmentação sobre a composição colorida (R3G2B1) obtida da decorrelação. Nesta etapa, a imagem foi particionada em regiões ou unidades homogêneas definidas com base na informação espectral (tonalidade) e espacial (relação de vizinhança) de cada *pixel*.

Para viabilizar os testes, e assim determinar os valores de limiares mais adequados para a segmentação, foi utilizado um recorte da imagem abrangendo uma área de 1000 x 1000 *pixels* (**Figura 01**). A definição dos limiares de similaridade e de área tem influência direta na qualidade do produto final, sendo necessário definir critérios de aceitação para avaliar quais os melhores limiares a serem utilizados. De acordo com Gonzales e Woods (2000), isto pode ser feito através da análise da separação dos objetos, sobrepondo a imagem segmentada à imagem utilizada para sua geração (**Figura 01-b**). Neste trabalho foi aplicado o algoritmo “crescimento de regiões”, definindo-se um limiar de similaridade de 28 níveis de cinza e de área igual a 20 *pixels*. Tais valores, dentre os vários testados, apresentaram resultados mais satisfatórios, propiciando a melhor separabilidade dos objetos de interesse.

Na etapa de extração de regiões, para cada polígono foram extraídos os parâmetros espaciais e espectrais relacionados ao seu posicionamento, média de níveis de cinza e matriz de covariância (Moreira, 2003).

Em seguida, foram selecionadas amostras de treinamento representativas das classes de cobertura do solo consideradas (telhados com cobertura cerâmica; concreto/amianto; alumínio; asfalto; solo exposto; cobertura arbórea; herbáceo-arbustiva; piscina e rio). Estas amostras foram obtidas a partir das regiões formadas pela segmentação da imagem que contêm as características mais relevantes ao processo de classificação.

Foi então executada a etapa de classificação onde os polígonos com similaridade espectral foram identificados e rotulados em classes. O classificador supervisionado por regiões disponível no SPRING é o Bhattacharya (INPE, 2003). Este algoritmo utiliza as amostras de treinamento para estimar a separabilidade estatística entre pares de classes de respostas espectrais distintas, considerando a medida de distância média entre as distribuições de probabilidade das classes (Moreira, 2003). A classificação foi realizada com base nas amostras de treinamento, obtidas em etapa anterior, com um limiar de aceitação de 99,9%.

As classes identificadas pelo classificador foram mapeadas em um modelo temático, associando-se cada uma delas à uma determinada classe de cobertura do solo, conforme descrito na **Tabela 01**. Para refinar a classificação foram realizados ajustes manuais de pós-classificação, re-associando alguns polígonos à novas classes, de acordo com a pertinência temática.

Tabela 01: Tipologia e classes de Cobertura do Solo

Tipo de Cobertura	Classes de Cobertura do Solo	Descrição
Edificações	Cobertura de Cerâmica	Telhados com predomínio cerâmico
	Cobertura de Concreto/Amianto	Telhados com predomínio de concreto e/ou amianto
	Cobertura de Alumínio	Telhados com predomínio de alumínio.
Pavimentação	Asfalto	Pavimentação de rodovias e ruas com cobertura asfáltica.
Solo exposto	Solo exposto	Terrenos vazios, ruas de terra, terraplenagem para futura ocupação urbana e algumas áreas de mineração.
Vegetação	Arbórea	Árvores de porte médio a alto, presentes em maciços florestais (Floresta Ombrófila densa e formações florestais de planície costeira e baixa encosta); reflorestamentos e áreas verdes urbanas (parques, jardins e árvores isoladas em quintais e ruas).
	Herbáceo-arbustiva	Vegetação rasteira (gramíneas) e arbustos associados à ecossistemas e às áreas antropizadas).
Piscina	Água	Superfícies cobertas com piscinas e rios.
Rio		

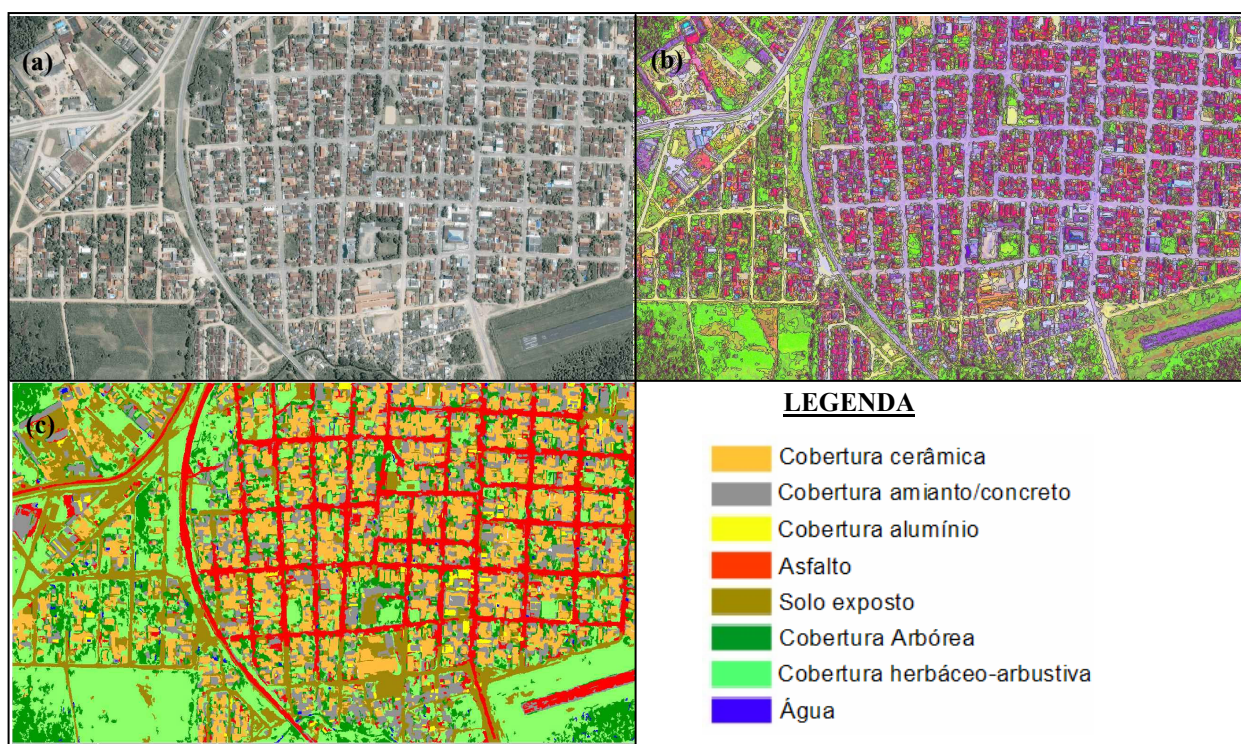


Figura 01: (a) Composição Colorida das bandas 321 originais; (b) Composição Colorida das bandas 321 decorrelacionadas e sua segmentação; (c) Imagem Classificada.

3.3. Validação da Classificação

Para avaliar a confiabilidade dos resultados, e assim determinar a acurácia e a qualidade da classificação, foi gerada a matriz de confusão e calculado o índice de concordância Kappa. Esses procedimentos estatísticos permitem quantificar as variações entre a imagem de referência e a imagem classificada. A confiabilidade da matriz de confusão depende da amostragem dos objetos que deve ser realizada de maneira aleatória (Congalton e Green, 1999). Desta forma, foram obtidas amostras de validação selecionando-se, aleatoriamente, 552 pontos na imagem classificada, os quais foram sobrepostos à imagem IKONOS (composição colorida 321) tomada como referência (**Figura 01-a**). Sobre esta imagem de referência foi realizada a interpretação visual, atribuindo-se à cada ponto amostral um identificador correspondente ao tipo de cobertura a que estava associado.

De posse das amostras de validação obtidas da imagem de referência e da imagem classificada, foi efetuada a tabulação cruzada que resultou na matriz de confusão. A qualidade da classificação foi determinada tomando-se como referência os intervalos de valores definidos na **Tabela 02**.

Tabela 02: Qualidade da classificação associada ao índice Kappa

Índice Kappa	Desempenho da Classificação
$0 < K \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K \leq 0,8$	Muito bom
$0,8 < K \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

3.4. Mapeamento das Áreas Impermeáveis e Permeáveis

O mapa das áreas impermeabilizadas foi obtido a partir da geração de um novo modelo temático onde as diferentes classes de cobertura foram associadas à novas classes de acordo com sua característica de permeabilidade. Para tanto, os diferentes tipos de cobertura foram re-agrupados pelo seguinte critério de classificação: Áreas Impermeáveis: composta por edificações com diferentes tipos de cobertura (cerâmica, concreto-amianto e alumínio), áreas com pavimentação asfáltica e piscinas; Áreas Permeáveis: incluem superfícies de solo exposto, de vegetação arbórea e herbáceo-arbustiva e rios.

A partir deste novo modelo temático foi possível estimar a área ocupada e a proporção de coberturas impermeáveis e permeáveis. Para que fosse possível estimar a proporção de áreas impermeabilizadas nos bairros contidos na área de estudo, foi realizada uma tabulação cruzada, combinando o mapa das áreas impermeáveis e permeáveis e o plano de informação com o limite dos bairros.

4. Resultados

4.1. Avaliação da Classificação Orientada por Regiões

A matriz de confusão (**Tabela 03**) permite a avaliação quantitativa dos resultados da classificação, sendo os percentuais de erros e acertos e o índice Kappa, obtidos da matriz de confusão, apresentados na **Tabela 04**. O produto final gerado no processo de classificação por regiões foi o mapa de cobertura do solo urbano de Ubatuba apresentado na **Figura 02**. A análise estatística revelou um índice geral de acertos da ordem de 82% e índice Kappa de 0,82. De acordo com os critérios estabelecidos na **Tabela 02**, a classificação obteve excelente desempenho, com valores de acurácia no intervalo de $0,8 < K \leq 1,0$. As classes de cobertura herbáceo-arbustiva e alumínio apresentaram os índices mais altos, com mais de 90% de acertos. Nenhuma classe apresentou índice abaixo do que é considerado um resultado muito bom; sendo o valor mais baixo de acurácia obtido para a classe asfalto, que obteve um total de acertos em torno de 68%.

Algumas confusões ocorreram entre as classes gerando erros de omissão e inclusão, a exemplo da cobertura asfalto que, devido à semelhança espectral, foi principalmente confundida com a classe concreto/amianto, justificando o valor mais alto quanto ao seu erro de omissão (19,29%) e de inclusão (12,86). Em alguns casos o asfalto foi também confundido com a classe solo exposto em grande parte associada à ocorrência de areia úmida da praia.

Outras classes que geraram confusão no processo de classificação devido a sobreposição no espaço de atributos foram concreto/amianto e solo exposto, resultando no segundo maior valor de erro de omissão (17,32%). A classe cerâmica também apresentou sobreposição com a classe solo exposto, onde as faces mais claras dos telhados foram confundidas com solo exposto argiloso. Isto explica a existência de áreas de mineração localizadas na periferia urbana e de alguns espaços vazios urbanos que foram classificados como sendo de cobertura cerâmica.

Um dos principais problemas da classificação esteve relacionado com a classe de cobertura arbórea que foi bastante confundida com a classe água pela existência de sombras que apresentaram similaridade tonal com a água dos rios (conforme pode ser verificado pela análise da **Figura 02**), gerando erros de omissão de 15,65% e de inclusão de 10,45%. As sombras produzidas pelas edificações também justificam algumas confusões entre as coberturas cerâmica e arbórea que, na análise geral, não alteraram o bom resultado da classificação.

De forma geral, destaca-se que os limiares adotados para a segmentação da imagem foram suficientes para garantir a discriminação das coberturas intra-urbanas relacionadas as edificações (cerâmica, concreto/amianto e alumínio), às ruas asfaltadas e às áreas de solo exposto, permitindo até a distinção e separação de áreas menores como, por exemplo, as áreas cobertas com piscinas. Os maiores problemas ocorreram na separação das coberturas vegetais e de rios. As regiões formadas no processo de segmentação da imagem podem ser observadas na **Figura 01-b**.

Tabela 03: Matriz de confusão

	Classes de Cobertura do Solo	Imagem de Referência (IKONOS)							TOTAL	
		Cerâmica	Concreto/Amianto	Alumínio	Asfalto	Solo Exposto	Arbórea	Herbáceo-Arbustiva		Água
Imagem Classificada	Cerâmica	120	1	0	0	2	0	0	0	123
	Concreto/Amianto	5	76	0	9	0	4	1	1	96
	Alumínio	0	6	24	0	1	0	0	0	31
	Asfalto	0	4	0	19	2	0	0	0	25
	Solo exposto	8	10	2	0	63	0	2	0	85
	Arbórea	6	3	0	0	2	68	2	3	84
	Herbáceo-Arbustiva	0	5	0	0	3	18	59	0	85
	Água	0	0	0	0	0	2	0	21	23
	TOTAL	139	105	26	28	73	92	64	25	552

Tabela 04: Avaliação dos erros de classificação e Índice Kappa

Classes de Cobertura do Solo	Acertos (%)	Erros de Omissão (%)	Erros de Inclusão (%)	Kappa
Cerâmica	86,33	11,81	1,86	0,86
Concreto/Amianto	72,38	17,32	11,27	0,72
Alumínio	92,31	1,71	5,98	0,92
Asfalto	67,86	19,29	12,86	0,68
Solo exposto	86,30	4,28	9,42	0,86
Arbórea	73,91	15,65	10,43	0,74
Herbáceo-arbustiva	92,19	1,26	6,55	0,92
Água	84,00	10,67	5,33	0,84
MÉDIA	81,91	10,15	7,94	0,82

Os resultados quantitativos referentes à proporção de área ocupada por cada classe do mapa de cobertura do solo são apresentados na **Tabela 05**. Constata-se que, dentre as classes analisadas, a cobertura vegetal (arbórea e herbáceo-arbustiva) predomina, abrangendo 50,20% da área total em estudo, seguida da classe solo exposto que representa 14,78% e que ocorre de maneira mais intensa na forma de ruas não pavimentadas e de terrenos vazios nas áreas de expansão localizadas à oeste da rodovia SP-55 e na porção norte da área de estudo. A menor proporção foi verificada na classe alumínio, que representa 1,12%. As áreas com pavimentação asfáltica correspondem a 7,93% da área total, sendo a maior ocorrência desta classe na porção central e sul do setor analisado, entre a rodovia SP-55 e a linha de costa.

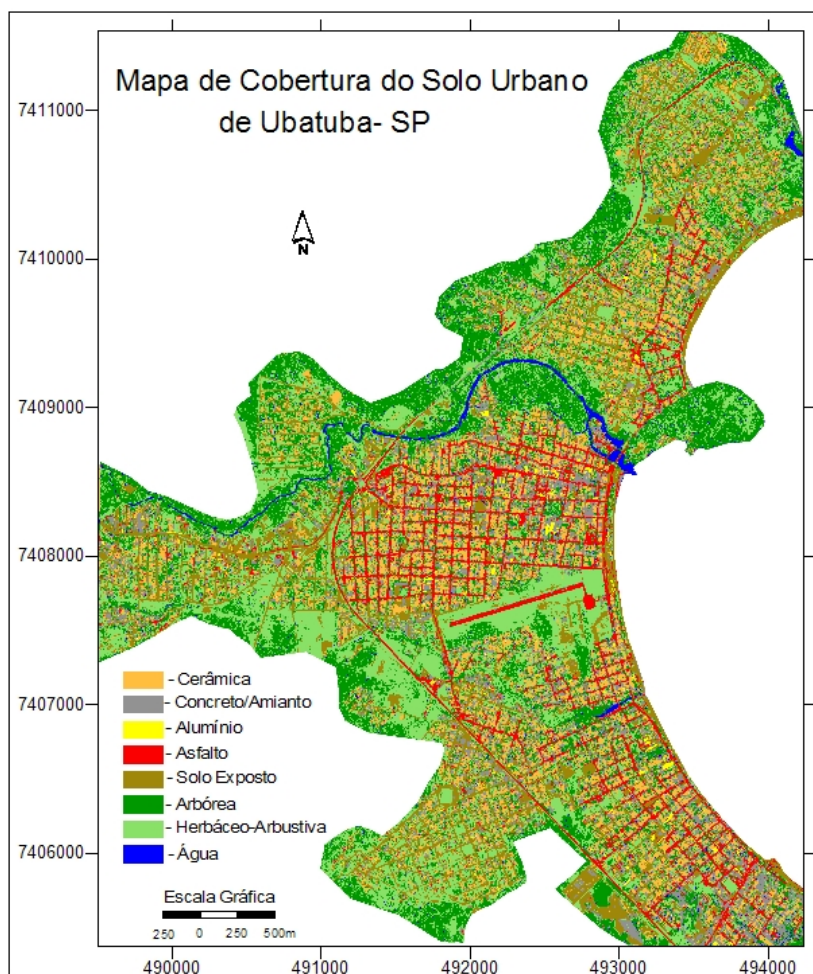


Figura 02: Mapa da Cobertura do Solo Urbano de Ubatuba-SP.

Tabela 05: Valores de Área e Proporção das Classes de Cobertura do Solo Urbano

Classes de Cobertura do Solo	Valor de Área (km ²)	Proporção de Área (%)
Cerâmica	1,65	12,51
Concreto/Amianto	1,57	11,91
Alumínio	0,15	1,14
Asfalto	1,04	7,89
Solo exposto	1,95	14,80
Arbóreo	3,13	23,75
Herbáceo-arbustivo	3,49	26,48
Água	piscina	0,01
	rio	0,19
TOTAL	13,18	100,00

4.2. Mapeamento das Áreas Impermeáveis e Permeáveis

A distribuição espacial das superfícies impermeabilizadas pode ser verificada através do mapa das áreas impermeáveis e permeáveis de Ubatuba (**Figura 03**). A análise quantitativa dos resultados revelou que 33,38% da área de estudo apresenta-se impermeabilizada devido à urbanização, havendo ainda um predomínio de mais de 66% de superfícies permeáveis, conforme mostra a **Tabela 06**. Os bairros que apresentaram as maiores proporções de áreas impermeabilizadas (50% ou mais) são aqueles localizados na porção central e em áreas adjacentes ao centro, próximas ao mar. As áreas mais densamente construídas na porção central correspondem aos bairros 8, 9, 10 e 11 (Sumaré (50%), Silop (60,71%), Umuarama 60,81%) e Centro (55,64%)), e que, juntos, perfazem 33,45% das áreas impermeáveis. A análise individual mostrou a maior proporção de área

impermeável (61,3%) na porção norte do bairro 17 (Acaraú). Nos bairros periféricos em consolidação, à oeste da rodovia SP-55, onde ocorrem as menores densidades de construções, as proporções de áreas permeáveis aumentam consideravelmente, com destaque para o bairro 4 (Ressaca) com 91,8% de sua superfície ainda permeável.

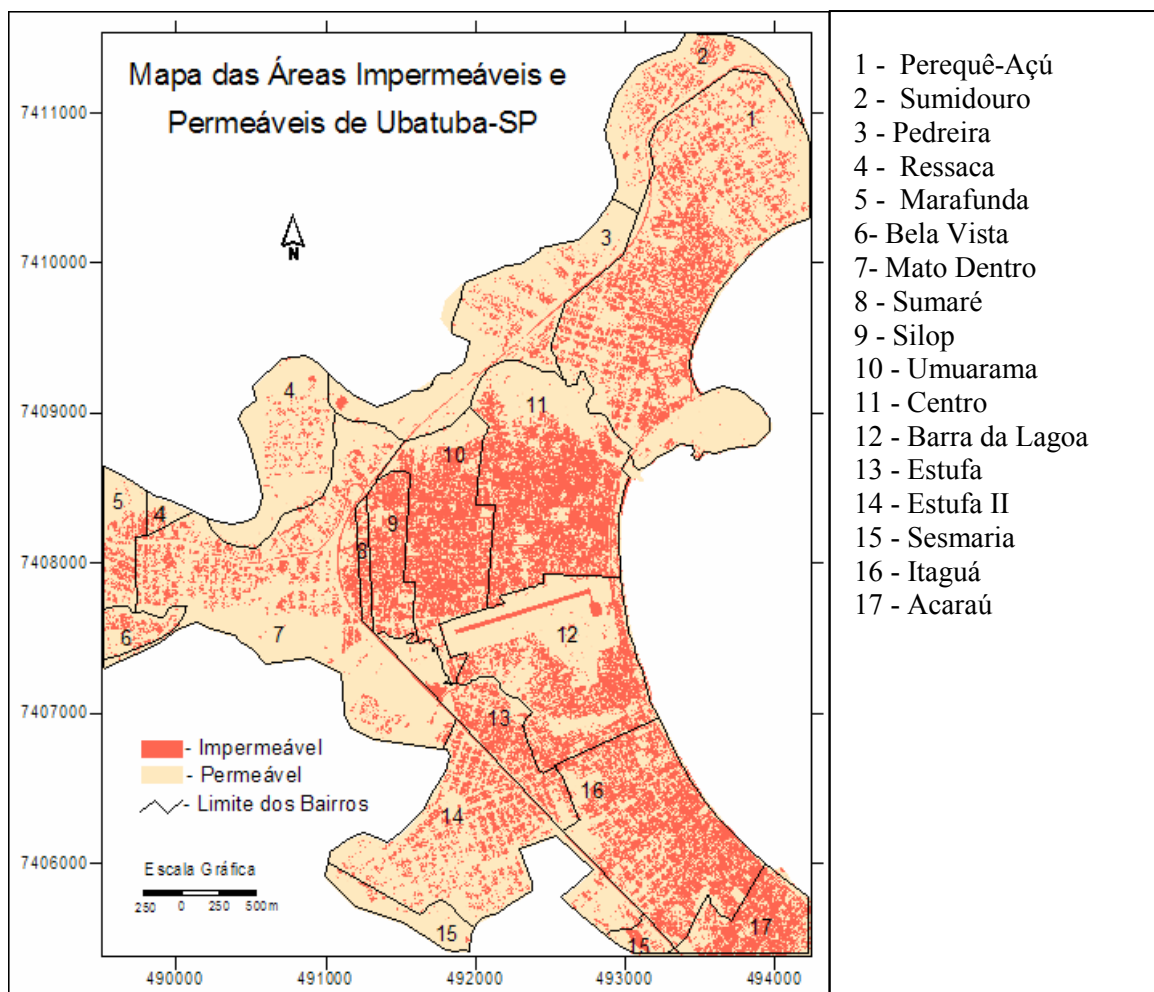


Figura 03: Mapa das Áreas Impermeáveis e Permeáveis de Ubatuba-SP.

Tabela 06: Valores de Área e Proporção de Superfícies Impermeáveis e Permeáveis por Bairro.

Bairro	Área total do Bairro	Área Impermeável	Proporção (%)	Área Permeável	Proporção (%)
1	2,36	0,73	30,93	1,63	69,07
2	0,51	0,09	17,65	0,42	82,35
3	0,87	0,10	11,49	0,77	88,51
4	0,61	0,05	8,20	0,56	91,80
5	0,22	0,06	27,27	0,16	72,73
6	0,12	0,03	25,00	0,09	75,00
7	1,77	0,33	18,64	1,44	81,36
8	0,06	0,03	50,00	0,03	50,00
9	0,28	0,17	60,71	0,11	39,29
10	0,74	0,45	60,81	0,29	29,19
11	1,24	0,69	55,64	0,55	44,36
12	1,12	0,38	33,93	0,73	66,07
13	0,41	0,16	39,02	0,25	60,98
14	1,12	0,28	25,00	0,84	75,00
15	0,24	0,03	12,50	0,21	87,50
16	1,12	0,62	55,36	0,50	44,64
17	0,31	0,19	61,29	0,12	38,71
TOTAL	13,18	4,4	33,38	8,7	66,62

Considerações Finais

A classificação supervisionada orientada por regiões utilizada neste estudo mostrou-se eficiente para o mapeamento da cobertura do solo urbano em Ubatuba-SP. A análise da acurácia da imagem temática demonstrou o excelente desempenho da classificação, confirmando o potencial da aplicação do método para a extração de elementos urbanos em imagens de alta resolução espacial que ainda são deficientes quanto à resolução espectral, como é o caso das imagens IKONOS. A composição colorida obtida do realce por decorrelação, bem como os limiares definidos na etapa de segmentação foram eficazes para a separação das diferentes classes de cobertura do setor urbano analisado.

A confiabilidade dos resultados viabilizou a utilização do produto temático para o mapeamento e estimativa das áreas impermeabilizadas. As confusões que ocorreram no domínio espectral não comprometeram a qualidade do mapeamento uma vez que a grande maioria delas esteve realcionada às classes de mesma característica quanto à permeabilidade.

A alteração em bacias urbanas, gerada pela progressiva substituição da cobertura vegetal por coberturas impermeáveis, tem como impacto negativo o aumento do escoamento superficial. Como a cobertura do solo é um dos fatores que diretamente influencia nas condições de escoamento, os produtos obtidos neste trabalho constituem instrumentos úteis ao planejamento e gerenciamento das áreas de risco à inundação, com vistas à redução dos prejuízos e, principalmente, da minimização dos perigos aos quais a população está sujeita. A diferenciação dos tipos de cobertura urbana pode ainda embasar outros estudos como aqueles relacionados ao conforto térmico.

Referências

- Congalton, R.G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Nova York: Lewis Publishers, 1999. 136p.
- Forster, B. Can examination of some problems and solutions in monitoring urban areas from satellite platforms. **International Journal Remote Sensing**, v. 6, n. 1, p.139-151, 1985.
- Gonzales, R.C.; Woods, R.E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Bkücher Ltda, 2000. 509p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE - SPRING – **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. <http://www.dpi.inpe.br/spring>. 2003.
- Jensen, J.R.; Cowen, D.C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure sócio-economic attributes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.65, n.5. p. 611-622, 1999.
- Landis, J.R.; Koch, G.G. The Measurement of observer agreement of categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p.159-174, 1977.
- Moreira, A.M. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV, 2003. 307p.
- Oliveira, J. A.; Dutra, L. V.; Rennó, C. D. Aplicação de métodos de extração e seleção de atributos para classificação de regiões. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, p. 4201-4208, 2005.
- Pinho, C. M. D; Feitosa, F. F; Kux, H. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: comparação entre a abordagem pixel-pixel e orientada a objetos. **Anais. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, p. 4217-4224, 2005.
- Tucci, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004. 943p.