

CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO UTILIZANDO FOTINTERPRETAÇÃO ORIENTADA AOS OBJETOS E MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA PARA APOIAR A REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA

Yuzi Anaí Zanardo Rosenfeldt¹, Gabriel Rosolem², Luís Henrique Tiegs³ e Carlos Loch⁴

¹Universidade Federal de Santa Catarina, R. João Pio Duarte Silva, 241 - Córrego Grande, Florianópolis - SC, 88037-000, yuzi.zanardo@ufsc.br; ² Universidade Federal de Santa Catarina, R. João Pio Duarte Silva, 241 - Córrego Grande, Florianópolis - SC, 88037-000, gabriel.rosolem@posgrad.ufsc.br; ³ Universidade Federal de Santa Catarina, R. João Pio Duarte Silva, 241 - Córrego Grande, Florianópolis - SC, 88037-000, lgtiegs@gmail.com e ⁴ Universidade Federal de Santa Catarina, R. João Pio Duarte Silva, 241 - Córrego Grande, Florianópolis - SC, 88037-000, carlos.loch@ufsc.br

RESUMO

Os sistemas de administração de terras têm sido impulsionados pelo desenvolvimento tecnológico e pela necessidade de gestão territorial eficiente. Métodos que se baseiam na *fotointerpretação orientada aos objetos* e na *classificação supervisionada* de imagens digitais fornecem dados com qualidade geométrica e temática, respondendo satisfatoriamente à *classificação do uso e cobertura do solo*. A área de estudos são três sub-bacias das Bacias Hidrográficas Independentes da Vertente Leste, localizadas no município de Joinville/SC (26°04'S e 26°26'S 48°44'O e 49°11'O): Rio Comprido, Rio Fortuna/Guaxanduva, Rio Iririú-Mirim, em que se localizam os bairros Jardim Iririú e Comasa. Os resultados caracterizaram adequadamente a dinâmica de ocupação territorial e uma antropização predominantemente urbana que avançou e se consolidou sobre áreas de manguezais. Conclui-se que ambos métodos combinados, permitem uma adequada classificação do uso e cobertura do solo - camadas de informação que auxilia na tomada de decisão das parcelas a serem regularizadas.

Palavras-chave — Fotointerpretação orientada a objeto, classificação supervisionada, MAXVER, uso e cobertura do solo, regularização fundiária.

ABSTRACT

Land management systems have been driven by technological development and the need for efficient territorial management. Methods based on object-oriented visual photointerpretation and supervised classification of digital images provide data with geometric and thematic quality, responding satisfactorily to the classification of use and soil cover. The study area consists of three sub-basins of the Eastern Slope Independent Hydrographic Basins located in the municipality of Joinville / SC (26°04'S and 26°26'S 48°44'O and 49°11'O): Rio Comprido, Rio Fortuna / Guaxanduva, Iririú-Mirim River, in which are located the neighborhoods Iririú Garden and Comasa. The results adequately characterized the dynamics of territorial

occupation and a predominantly urban anthropization that advanced and consolidated over mangrove areas. It is concluded that both combined methods allow an adequate classification of the land use and cover - layers of information that assists in the decision making of the parcels to be regularized.

Key words — Object-oriented photointerpretation, supervised classification, MAXVER, land use and coverage, land regularization.

1. INTRODUÇÃO

A Regularização fundiária é um procedimento de natureza legal, civil, técnica, urbana e social. Estudos de aptidão à urbanização com base em parâmetros técnicos, abordagem do meio físico e caracterização da paisagem são fatores que condicionam a dinâmica de ocupação territorial e são indispensáveis para subsidiar a viabilidade de áreas para regularização fundiária. Por vezes, são desconsideradas nos processos para o estabelecimento do uso e de ocupação do solo.

O monitoramento de uma determinada área consiste no seu mapeamento e na sua avaliação periódica, em intervalos de tempo regulares. A finalidade é estudar e controlar as dinâmicas espacial e temporal dos fenômenos, permitindo o desenvolvimento de modelos de previsão. O monitoramento precisa estar fundamentado em áreas técnicas, como fotogrametria e fotointerpretação, analisadas de forma integrada, desempenhando um papel de importância crescente na simulação e na modelagem provisionais (JENSEN et al., 2005) [1].

A necessidade de se fazer uso das técnicas confiáveis para o monitoramento de áreas de interesse faz com que o sensoriamento remoto se coloque em vantagem em relação a outros métodos. O sensoriamento remoto apoia o monitoramento da atividade do homem em espaço temporal permitindo realizar trabalhos com investigação temporal, documental e legal.

As principais características das fotografias aéreas utilizadas para estudos de monitoramento são, entre

outras, a possibilidade de imageamento complexo da paisagem, incluindo os componentes naturais e antropogênicos; a vasta extensão do espectro eletromagnético, e a possibilidade da variação das combinações de diferentes faixas espectrais para estudos específicos; a possibilidade de composição de mosaicos e realização de mapeamento sistemático; a variação de escalas e as resoluções espaciais adequadas aos trabalhos que vão desde monitoramento ambiental até atualização de cadastro técnico.

O recorte espacial analisado compõem o complexo de três sub-bacias do chamado Complexo Lagunar Estuarino da Baía da Babitonga, Rio Comprido, Rio Fortuna/Guaxanduva, Rio Iriú-Mirim, em que se localizam os bairros Jardim Iriú e Comasa, no município de Joinville/SC (26°04'S e 26°26'S 48°44'O e 49°11'O).

A escolha de sub-bacias como recorte para a pesquisa considera e integra todos os aspectos da paisagem, de modo a estabelecer as formas de ocupar o território. Esse recorte permite, de forma representativa e não aleatória, a definição das amostras para associar espaços com características rurais e urbanas, monitorar riscos ecológicos e sociais e, ainda, avaliar a adequação do uso e de ocupação do solo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No campo do sensoriamento remoto os estudos da cobertura da terra estão diretamente relacionados à captação da refletância espectral. O mesmo não acontece com o uso do solo. Considerado um conceito abstrato, o *uso do solo* possui um conjunto de fatores culturais e econômicos intrínsecos que não podem ser diretamente extraídos por meio do sensoriamento remoto, e sim fotointerpretados, estabelecendo uma correlação entre os objetos.

A interpretação visual de fotografias aéreas é o método de análise visual de imagens com a finalidade de identificar objetos e julgar o significado. O processo exige, além do conhecimento científico do sensoriamento remoto, uma sinergia deste com o conhecimento e a vivência do fotointerprete (experiências de campo e do mundo real).

A fotointerpretação está condicionada ao tamanho, à forma, à profundidade e ao volume de um objeto, tendo como referência alguns aspectos: (i) a visibilidade do objeto; (ii) chaves ou elementos de interpretação, identificáveis durante o processo de interpretação; e (iii) a escala da foto.

Os elementos para a interpretação de objetos em imagens são: localização do objeto (coordenadas x,y); tom e cor do objeto (variando de cinza claro a escuro e RGB); tamanho do objeto (comprimento, largura, perímetro, área ou pequeno, médio e grande); forma do objeto (características geométricas); textura do objeto (arranjo e disposição característicos de repetições de tom e cor e/ou liso, médio,

rugoso, mosqueado, salpicado etc.); padrão do objeto (arranjo espacial do objeto no terreno – sistemático ou não, randômico, linear, retangular etc.); sombra (silhueta causada por iluminação solar lateral); altura do objeto (elevação, volume, profundidade, declividade e aspecto); e, por fim, características do sítio ou entorno (situação – objetos dispostos e orientados e associação – fenômenos correlacionados) (JENSEN, 2009) [2].

A classificação da *cobertura do solo*, pelo método de classificação supervisionada pelo Método da Máxima Verossimilhança (MAXVER), entende que objetos pertencentes à mesma classe apresentarão resposta espectral próxima à média de valores para aquela classe, desde que haja um representativo número de *pixels* para cada amostra de classe e que esses tenham uma distribuição estatística próxima da distribuição normal (CRÓSTA, 1993) [3].

Para a eficácia desse método, o usuário deve conhecer previamente a área analisada, bem como a distribuição das classes para que, dessa forma, quando da aplicação da classificação, a seleção de amostras de treinamento possa ser o mais eficiente possível (CRÓSTA, 1993) [3].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção dos mapas temáticos de *uso e cobertura do solo*, recorre-se a dois métodos distintos, a saber: (i) fotointerpretação visual orientada aos objetos e (ii) classificação supervisionada pelo Método da Máxima Verossimilhança (MAXVER).

Para o monitoramento de uso e cobertura do solo pelo método da fotointerpretação orientada ao objeto, foram utilizadas em imagens de alta resolução espacial, ano de 1957, 1966, 1978, 1989, 1996 e 2007.

Hoffmann e Vegt (2001) [4], sugerem a classificação orientada ao objeto como uma solução para classificar imagens com alta resolução. O método também foi beneficiado pelo conhecimento prévio da área, obtido a partir das visitas a campo, descritas anteriormente.

Foram 06 unidades de mapeamento. Destas 03 classes para determinação de áreas antropizadas (altamente urbanizada, medianamente urbanizada e fracamente urbanizada. Os objetos que orientaram a interpretação das três classes de áreas urbanizadas foram edificação, parcelamento do solo e ruas, apresentando área em que é possível reconhecer o limite da propriedade ou a estrutura fundiária.

Para áreas não antropizadas teve-se ao porte, à textura e às cores homogêneas da vegetação, são elas: cobertura arbórea e manguezal. Os espelhos d'água—área linear com espelho d'água —e o sistema viário tratam-se de sistemas lineares que orientam o processo de fotointerpretação de imagens. (ROSENFELDT, 2016.) [5].

Para a aplicação do método Maxver, foram utilizadas imagem de satélite QuickBird (ano 2008), com resolução de 2,4 m x 2,4 m e suas respectivas bandas (bandas 1 - azul; 2 - verde; 3 - vermelho; e 4 - infravermelho próximo). As amostras foram delimitadas na imagem pancromática devido a sua resolução de 0,60 m x 0,60 m, com apoio da composição cor natural da imagem multiespectral, a saber: *solo exposto*, *água*, *vegetação (manguezal, arbórea e gramínea)*, *telhado* e *asfalto*.

Apoiadas pela identificação em campo e tomando-se como referência as fotografias aéreas do ano 2007, as amostras foram agrupadas em informações relativas a cinco classes. As áreas com antropização urbana que incluem as amostras *telhado*, *asfalto* e *solo exposto* foram classificadas como *fortemente urbanizadas*, *moderadamente urbanizadas* e *fracamente urbanizadas*. A avaliação da acurácia do resultado foi a partir da construção de uma **matriz de confusão** para calcular a acurácia global, a acurácia do produtor e do usuário e o cálculo de concordância (*kappa*).

4. RESULTADOS

O resultado da *fotointerpretação orientada ao objeto* é apresentado com o monitoramento da série histórica de fotografias aéreas. (Figura 1). Esses mapas permitem visualizar, ao longo dos anos, uma antropização predominantemente urbana que avançou e se consolidou sobre áreas de manguezais.

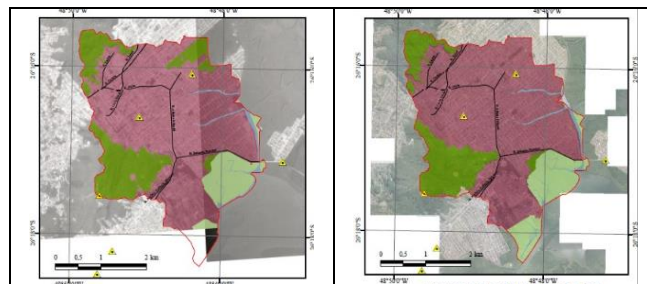
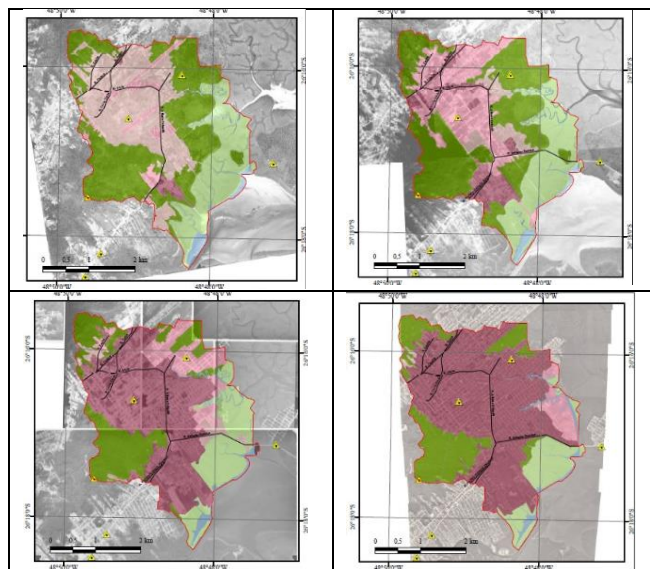


Figura 1: Classificação de cobertura e uso do solo fotointerpretada no mosaico das fotografias aéreas de Joinville, ano de 1957 (1), 1966 (2), 1978 (3), 1989 (4), 1996 (5) e 2007 (6), respectivamente. Fonte: Rosenfeldt, 2016 [5].

Pela classificação supervisionada da imagem de satélite QuickBird (ano 2008), não foi possível distinguir as amostras *vegetação* e *manguezal*, o que condicionou a generalização da amostra para a classe *vegetação*. Já para as amostras *telhado* e *asfalto*, o resultado foi bastante distinto da *vegetação*. As amostras com áreas mais representativas de gramíneas, localizadas nos jardins residenciais, foram predominantemente classificadas como *vegetação*. (Figura 2).

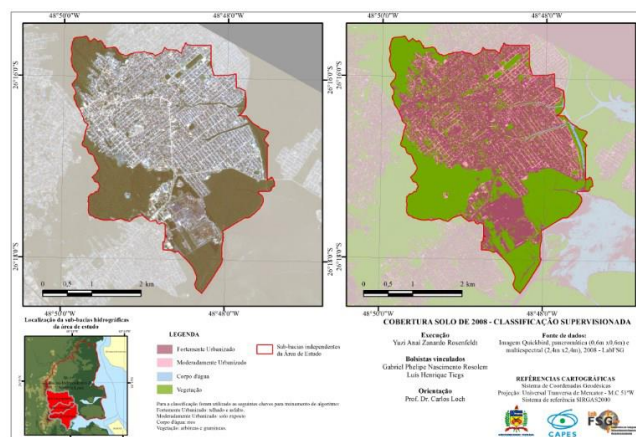


Figura 2: Cobertura do solo pelo método da Máxima Verossimilhança, aplicado na imagem de satélite QuickBird, ano 2008. Fonte: Rosenfeldt, 2016. [5]

5. DISCUSSÃO

Historicamente, o crescimento do município deu-se a partir de 1848. Joinville apresenta-se com uma rede urbana dispersa. O resultado pode ser visualizado na Figura 1, 1957 (1), demonstrando os núcleos urbanos dispersos, caracterizados como uma área *fracamente urbanizada*. A expansão das áreas urbanas a partir da instalação da fundição Tupy sobre a cobertura vegetal, a diminuição dos núcleos urbanos dispersos, caracterizados como *fracamente urbanizados*, a existência de áreas *moderadamente urbanizadas* e os primeiros núcleos

urbanos *fortemente urbanizados* ao longo das estradas gerais Figura 1, 1966 (2).

No final da década de 1970 profundas alterações já haviam sido consolidadas e novos eixos viários foram abertos para permitir a urbanização a leste do município. No conjunto habitacional Comasa/Boa Vista as ruas foram sendo abertas de forma gradativa pelos próprios moradores que vinham residir na localidade, atraídos pela oferta de trabalho do parque industrial instalado na década de 1950. Nas décadas de 1990 e 2000 houve significativo adensamento da área já urbanizada. Na série histórica é possível observar significativa diminuição das áreas de manguezais e que as áreas anteriormente atribuídas como *moderada* e *fracamente urbanizada* hoje apresentam características *fortemente urbanizadas*. Figura 1, 1966 (4), (5) e (6).

O resultado da Cobertura do solo pelo método da Máxima Verossimilhança partiu das definições: as áreas *fortemente urbanizadas* apresentam urbanização, sistema viário e parcelamento do solo consolidados, densos e estruturados com características de edificações verticais e/ou horizontais, dependendo do estágio de desenvolvimento.

As áreas *moderadamente urbanizadas* apresentam urbanização, sistema viário e parcelamento do solo em processo de consolidação, com características de edificações predominantemente horizontais.

As áreas *fracamente urbanizadas* constituem-se na transição urbana/rural. Nelas notam-se características de urbanização esparsa, predominantemente horizontal, com baixo grau de ocupação urbana, áreas agrícolas, áreas de desmatamentos, solos expostos, áreas de queimada e voçorocas. Possuem algum sistema viário consolidado e/ou em processo de consolidação. Uma das principais características é notada na estrutura fundiária, que, ainda não subparcelada, mantém características rurais.

Para as áreas com feições naturais representadas por matas, cerrados, campos e veredas, incluem-se as amostras de *vegetação (manguezal, arbórea e gramínea)*, a classe é *vegetação*. Por fim, as amostras *água* foram representadas com a classe *corpo d'água*.

Para a análise dos resultados da classificação, foi gerada uma malha com 280 pontos aleatórios, estratificados entre as classes, e 59 pontos com intervenção, apoiados por interpretação visual das imagens de alta resolução, com GSD 0,10 m (ano 2007), totalizando 339 pontos. A matriz de confusão está demonstrada na Tabela 1. Foi possível calcular a acurácia global (85,3% de acurácia), a acurácia do produtor e do usuário e o cálculo de concordância (*kappa*), que, variando de 0 a 1 para não concordante à perfeita concordância, ao ser classificado como 0,78, foi considerado um bom resultado, segundo Mather (2004) [6].

Classificação	Verdade no chão				Pixel classificado pelo algoritmo	Acurácia usuário
	Vegetação	Corpo d'água	Mod. Urbanizado	Fort. Urbanizado		
Vegetação	121	0	3	0	124	97,6%
Corpo d'água	0	11	0	0	11	100,0%
Mod. Urbanizado	2	0	46	12	60	76,7%
Fort. Urbanizado	6	18	9	111	144	77,1%
Total de pixel verdade	129	29	58	123	339	
Acurácia produtor	93,8%	37,9%	79,3%	90,2%		
					Acurácia global	85,3%
					<i>kappa</i> (0-1)	0,78

Tabela 01: Matriz de confusão para análise do resultado da classificação supervisionada pelo método Maxver. Fonte: Rosenfeldt, 2016. [5]

6. CONCLUSÕES

Os resultados satisfatórios pela Fotointerpretação orientada aos objetos é uma solução para classificar imagens com alta resolução. O método MAXVER, apresenta-se adequado para classificação de grandes áreas apresentando boa acurácia global em imagens de média resolução. Ambos métodos apresentam respostas melhoradas quando apoiados por trabalho de campo para coleta de referências e validação e quando combinados, permitem uma adequada classificação do uso e cobertura do solo - camadas de informação que auxilia na tomada de decisão das parcelas a serem regularizadas. A conclusão aponta que a ocupação territorial do bairro Jardim Iririú e Comasa são exemplos para a determinação da dinâmica de ocupação territorial que avançou e se consolidou sobre áreas de manguezais. Outras aplicações estão nas investigações e nas análises do grau de impermeabilização de áreas urbanizadas, ampliando as discussões referentes a estudos de gestão e planejamento territorial.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Jensen, J. R. et al. Spatial Data Acquisition and Integration. In: McMASTER, R. B.; USERY, E. L. A Research Agenda for Geographic Information Science. Boca Raton: CRC Press, 2005. p. 17-60.
- [2] Jensen, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de José Carlos Neves Epiphany et al. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.
- [3] Crósta, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, SP: Unicamp, 1993.
- [4] Hoffmann, A; Vegt, J. W. V. New sensor systems and new classification methods: laser-and digital camera-data meet object-oriented strategies. Journal for Spatial Information and Decision Making, v. 6, n. 1, p. 18-23, June 2001.
- [5] Rosenfeldt, Y. A. Z. Integração da Geodésia, da Fotogrametria e da Fotointerpretação na Construção de Sistema Cadastral para Viabilizar a Regularização Fundiária Plena. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- [6] Mather, P.; Koch, M. Computer Processing of Remotely-sensed Images: An Introduction. 4. ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2004.