



ARTIGO

## Dinâmica espacial de lagoas marginais presentes no rio Aiuruoca, MG, em períodos de cheia e seca

Ludimilla Portela Zambaldi Lima<sup>1\*</sup>, Paulo dos Santos Pompeu<sup>1</sup>,  
Fábio Mineo Suzuki<sup>1</sup> e Luis Marcelo Tavares Carvalho<sup>2</sup>

Recebido: 08 de setembro de 2009

Recebido após revisão: 08 de março de 2010

Aceito: 04 de junho de 2010

Disponível on-line em <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1373>

**RESUMO:** (Dinâmica espacial de lagoas marginais presentes no rio Aiuruoca, MG, em períodos de cheia e seca). Lagoas marginais são utilizadas por comunidades de peixes como habitat, alimentação, reprodução e refúgio. Por estas razões estes ambientes são considerados prioritários à conservação e manejo adequado. O presente estudo objetivou realizar a classificação orientada a objeto no intuito de localizar as lagoas marginais presentes no entorno do rio Aiuruoca, identificando a conexão destas ao rio em períodos de cheia e seca. Utilizou-se duas imagens Landsat 5TM, com 30 metros de resolução espacial do ano 2001, representativas do período de cheia e seca, com uma área de estudo de 3.342 km<sup>2</sup>. A classificação resultou em valores de precisão global variando de 98,9% para a época de cheia e em 98,8% para a época de seca, e de 63% e 52% de precisão pelo índice de Kappa para épocas de cheia e seca, respectivamente. Os resultados indicaram alterações no número, área e na conectividade de lagoas marginais para os períodos de chuva e seca. Este método se mostrou bastante adequado na identificação de lagoas marginais e possui grande importância no monitoramento das alterações dos ciclos a que estes ambientes estão submetidos, possibilitando o estudo da dinâmica e a possibilidade de utilização no monitoramento e gestão destes ambientes.

**Palavras-chave:** rio Aiuruoca, sensoriamento remoto, Landsat, classificação orientada a objeto.

**ABSTRACT:** (Spatial dynamics of lagoons present in Aiuruoca river during periods of flood and drought). Floodplains are lands periodically covered with water when rivers overflow their banks. In the tropics, a large portion of fish communities uses the floodplains as habitats for feeding, reproduction, and refuge. For this reason, these habitats are priority for fish conservation and management. The present work aims to analyze the classification resulting from object-based method of floodplains, estimating the connectivity with Aiuruoca river. The study required 2 images of Landsat TM sensor, with 30 meters of spatial resolution all obtained in 2001. Given its efficiency to detect floodplain changes and its automated character, this method seems to constitute an operational tool adequate for floodplain monitoring.

**Key words:** Aiuruoca river, remote sensing, Landsat, object-oriented mapping.

### INTRODUÇÃO

Lagoas marginais são áreas presentes em planícies de inundação, de formação periódica ou permanente, resultantes do transbordamento lateral dos rios (Goulding 1980, Junk *et al.* 1989, Junk & Welcomme 1990). Estes ambientes possuem alta ciclagem de nutrientes e alta produtividade primária, e são colonizados, a partir do contato com os rios, por ovos e larvas de peixes (Pompeu, 1997). Portanto, o recrutamento das populações de peixes está intimamente associado a esse ciclo. As espécies migradoras ou de piracema dependem fortemente das lagoas marginais para completar seu ciclo reprodutivo (Godinho & Godinho 2003).

No intuito de auxiliar e ampliar a compreensão das estruturas ecossistêmicas e de suas interações, o sensoriamento tem sido aplicado ao estudo dos mais diversos ambientes (Jensen 2000). Sistemas de imageamento orbital oferecem maiores oportunidades para monitoramento em larga escala, monitoramento da superfície terrestre e oferecem uma base de dados para estudos de detecção de mudanças (Ahmed 2009)

Sensoriamento remoto possui técnicas que objetivam detectar áreas inundadas (Sakamoto 2007). Portanto,

aplicações práticas de sensoriamento remoto orbital podem ser realizadas em corpos hídricos, pois estes apresentam componentes que justificam sua utilização, tanto pelas suas facilidades em interagir com a energia eletromagnética como pela sua importância estratégica (Martini 2006).

As técnicas utilizadas em mapeamento e detecção de mudanças podem ser classificadas em três categorias: (1) interpretação visual, (2) métodos baseados em pixels e (3) classificações por análise orientada a objeto (Mausel *et al.* 2004). Combinando análises contextuais de interpretações visuais a aspectos quantitativos de análises por pixels individuais, surgiram recentemente métodos de análises orientadas a objetos para detecção de mudanças e mapeamento florestais. A maior vantagem do método de análise orientada a objeto é a incorporação de informações contextuais às análises (Desclée *et al.* 2006). A classificação orientada a objetos busca simular técnicas de interpretação visual através da modelagem do conhecimento para a identificação de feições, baseada na descrição de padrões identificadores, tais como, cor, textura, métrica, contexto.

Devido à importância das lagoas marginais na manu-

1. Departamento de Biologia, Setor de Ecologia, Universidade Federal de Lavras. Caixa postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG, Brasil.

2. Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras. Caixa postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG, Brasil.

\* Autor para contato. E-mail: ludzambaldi@hotmail.com

tenção do ciclo reprodutivo de peixes, este estudo teve como objetivo utilizar técnicas de sensoriamento remoto e análise orientada a objetos para mapear as lagoas marginais ao longo do rio Aiuruoca, MG, identificando alterações de área e conexões entre os períodos de cheia e seca.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no entorno do rio Aiuruoca, entre as coordenadas 23k 534346,50E/7546577,50S e 23k 541243,50E/7553987,50S e está inserida na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande (8.804 km<sup>2</sup>; 21 municípios). O clima da bacia é classificado como semi-úmido, apresentando de quatro a cinco meses secos por ano, e a disponibilidade hídrica se situa entre 10 e 20 l/s/km<sup>2</sup> (IGAM 2009).

As cenas objetos de estudo correspondem a duas imagens dos dias 18 de abril (correspondente ao período de cheia) e 09 de setembro (correspondente ao período de seca), ambas do ano de 2001. Estas imagens são cenas Landsat 5TM, órbita 218 ponto 75. As cenas continham as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e resolução espacial de 30 m. Imagens Landsat são consideradas imagens de média resolução em que cada pixel abrange uma área de 900m<sup>2</sup>, caracterizando a menor unidade de estudo. Estas imagens foram processadas, georreferenciadas e visualizadas nos softwares ENVI® (versão 4.5) e ArcGis® (versão 9.3).

Inicialmente, todas as imagens foram registradas através da imagem georreferenciada *Geocover*, de 26 de junho de 2000, de órbita 218 ponto 75 (imagem para imagem), utilizando 20 pontos de controle, com erro menor que um pixel. Todas as imagens ficaram georreferenciadas tendo como projeção o sistema de coordenadas UTM e o modelo elipsóide WGS84. Após georreferenciadas, foi selecionada a área de estudo a partir de um corte da imagem abrangendo o rio Aiuruoca e os primeiros 1000 metros a partir das margens do rio.

A seleção de bandas espectrais para o estudo dos corpos d'água foi baseada na resposta espectral dos corpos d'água, cuja melhores regiões de comprimento de onda para discriminar terra de água pura são o infravermelho próximo e infravermelho médio (comprimentos de onda entre 740 e 2500 nm). Nas regiões do infravermelho próximo e médio, os corpos d'água aparecem muito escuros, mesmo pretos, porque absorvem praticamente todo o fluxo radiante incidente. De forma oposta, as coberturas de terra, tipicamente compostas por vegetação e solo exposto, refletem quantidades significativas de energia no infravermelho próximo e médio (Jensen 2000). Portanto, selecionou-se as bandas 4 e 5 da série Landsat 5TM que são as correspondentes à banda do infravermelho próximo e médio antes da realização da classificação.

Foram selecionados atributos físicos e espectrais que auxiliavam na identificação das lagoas marginais. Em cada atributo foi selecionado um valor dentro do intervalo apresentado pela análise. A identificação das lagoas marginais foi feita através da identificação em conjunto de todos os atributos selecionados, ou seja, esta análise

identifica todas as áreas presentes nas cenas que possuem todos os atributos escolhidos. A análise foi realizada no software ENVI ZOOM® versão 4.5. Utilizou-se a operação de *feature extraction* na identificação de lagoas marginais. A seleção de atributos foi feita através da aplicação da classificação do *feature extraction* em áreas teste.

No intuito de identificar a ocorrência de conexão entre as lagoas marginais e o rio Aiuruoca, através da identificação de áreas úmidas entre as lagoas e o rio, foi utilizada a classificação multiespectral, pixel a pixel e supervisionada. A classificação é multiespectral, quando o critério de decisão depende da distribuição de níveis de cinza em vários canais espectrais; e pixel a pixel, quando utiliza a informação espacial isoladamente de cada pixel para definir regiões homogêneas (SPRING 2002), e é dita supervisionada, quando o analista, a partir do conhecimento da área ou por inferência, relaciona áreas da imagem com as classes de cobertura da terra que deseja separar (IBGE 2001). O enquadramento de um pixel a uma determinada classe é feito por vários métodos, levando-se em consideração os valores de nível de cinza nas várias bandas utilizadas (neste estudo, utilizaram-se as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) e os padrões de cada classe. O método utilizado para enquadramento dos pixels foi o da Distância Mínima Euclidiana. Este método utiliza os pixels desconhecidos e calcula a distância até a média do pixel já classificado. O pixel que possuir menor distância à feição classificada, é identificado como pertencente àquela feição. Ao resultado da classificação foi criada uma máscara eliminando as áreas que não pertenciam às áreas inundadas. A imagem resultante foi sobreposta, em ambiente de informações geográficas, ao resultado das classificações de lagoas marginais. As lagoas consideradas conectadas ao rio para aquela data foram aquelas ligadas ao rio através das áreas inundadas.

Para a verificação da significância dos índices de exatidão das imagens classificadas, utilizou-se a comparação do resultado da classificação com as coordenadas de lagoas encontradas nas áreas de interesse, coletadas em setembro de 2008. Foi utilizado o índice Kappa, o qual representa inteiramente a matriz de confusão, medindo o relacionamento entre a concordância, além da casualidade, e a discordância esperada (Brites 1996) e acurácia global de classificação.

## RESULTADOS

Treze atributos foram identificados como importantes na identificação das lagoas marginais através da ferramenta extração de características. Para cada atributo foi selecionado, através da área teste, um intervalo ideal de resposta das lagoas presentes no entorno do rio Aiuruoca. Os atributos selecionados foram de intervalos de valores de reflectância (níveis de cinza) e físicos (unidades de pixels): reflectância mínima (de 0 a 30.400), médias (de 0 a 83.0078) e máximas (de 0 a 55.4431) de resposta espectral na banda 5, área (de 812,25 a 2920642,75), tamanho

(de 114,00 a 8387,01), compactação (de 0,18 a 0,30), convexidade (1,00/1,35), solidez (0,54/1,00), forma (0,20/0,79), alongamento (1,00/5,56), comprimento do maior eixo do polígono (38,09/1119,21), comprimento do menor eixo (28,50/730,21) razão da área em relação ao contorno da área (0,99/1,00). Após a seleção de atributos e dos valores de seus intervalos, foi gerada a classificação contendo os polígonos que correspondem às lagoas marginais nos períodos de cheia e seca analisados (Fig. 1).

#### *Precisão de classificação*

Precisão e exatidão global e de KAPPA foram computados e comparados para todos os dois tipos de classe. Foi observado que a exatidão global obtida para a imagem do mês de abril foi de 98,82% e de 98,86% para o mês de setembro e a precisão Kappa de 63% para abril e 52% para setembro de 2001. Embora a precisão global esteja alta para as duas classificações, os menores valores do índice de Kappa se devem, provavelmente, aos pixels erroneamente classificados, isto talvez esteja relacionado à alta mistura espectral presentes nas áreas de lagoas marginais.

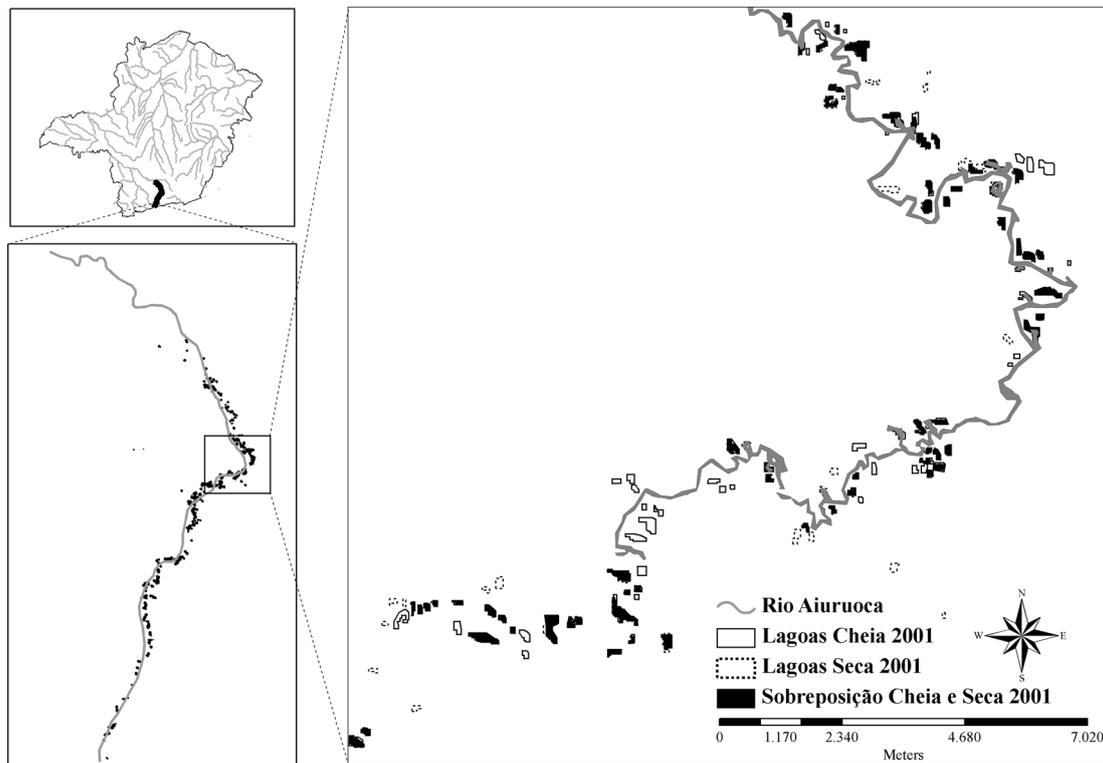
O resultado da classificação orientada a objeto realizado na imagem de 18/04/2001 inferiu a ocorrência de 233 lagoas marginais no rio Aiuruoca, e na imagem de 09/11/2001, 212 lagoas marginais. Através de dados de vazão fornecidos pela Companhia Energética de Minas Gerais, a data de aquisição da imagem de abril foi considerada pertencente ao período de cheia baseada na vazão média mensal deste mês que foi de 9,54 m<sup>3</sup>/s, valor próximo às médias de meses chuvosos (13,50 m<sup>3</sup>/s). A

imagem de setembro foi considerada do período de seca por apresentar média de vazão de 5,72 m<sup>3</sup>/s, próxima aos valores médios de vazão dos meses não chuvosos (6,82 m<sup>3</sup>/s). Através da sobreposição das lagoas encontradas nos dois períodos em ambiente de sistema de informações geográficas, observou-se que 149 lagoas marginais presentes na imagem representativa do período de cheia coincidiam com a localização de lagoas marginais presentes na imagem representativa do período de seca

Em relação à área ocupada pelas lagoas, no período de cheia de 2001, o rio Aiuruoca apresentou um total de 5.943,25 km<sup>2</sup> de área coberta por lagoas marginais, enquanto na imagem representativa da época de seca, totalizou-se 3.713,6 km<sup>2</sup>. Lagoas que não tiveram sobreposição nas duas imagens correspondem a um total de 13,01 km<sup>2</sup> na imagem do período de cheia e 6.371,31 km<sup>2</sup> na imagem do período de seca.

Por meio da sobreposição das lagoas marginais conforme os períodos de cheia e seca, foi possível identificar lagoas que sofreram junção, ou seja, lagoas presentes no período de cheia que no período de seca formaram duas ou três lagoas. Cinco lagoas presentes na imagem representativa do período de cheia formaram, cada uma, duas lagoas sem possuir conexão entre si. Uma lagoa encontrada na imagem de abril formou três lagoas após o término do período de chuvas.

Através do resultado da classificação supervisionada e a sobreposição deste com a distribuição das lagoas marginais identificadas nos dois períodos, foram observadas as lagoas marginais que possuíam ligação com o curso



**Figura 1.** Distribuição dos polígonos resultantes da classificação orientada a objeto indicando a inferência de lagoas marginais nas épocas de cheia e vazante e a sobreposição das lagoas presentes nos dois períodos estudados.

principal do rio Aiuruoca. Na imagem de abril de 2001, foram observadas 62 lagoas que possuíam conexão com o rio Aiuruoca. Na imagem de setembro de 2001, foram observadas 36 lagoas marginais ligadas ao rio Aiuruoca.

## DISCUSSÃO

A maioria dos estudos utilizando a análise orientada a objetos tem sido realizada com imagens de alta resolução e em áreas urbanas (Antunes & Lingnau 2005), alguns outros em inventários florestais. Este estudo supre a necessidade observada por Desclée *et al.* (2001), sobre a utilização da classificação orientada a objeto para dados provenientes de imagens de média e baixa resolução e para outras regiões diferentemente de áreas urbanas e florestais

O estudo comparativo das lagoas marginais entre períodos de cheia e seca se justifica pela importância destes dois períodos na regulação de comunidades de peixes, como salientado por Rodriguez & Lewis Jr (1994), que afirmam que a alteração dos períodos de inundação na época de chuvas provoca alterações estruturais nas assembleias de peixes, pois ovos, larvas e peixes juvenis podem sofrer reorganização entre as massas de água. A indicação de conexão aos rios, de duração das lagoas e sua localização são parâmetros importantes no estudo das comunidades de peixes, pois, segundo Rodriguez & Lewis Jr (1994), fatores como densidade numérica total, biomassa, distribuição de classes de tamanhos e abundância relativa de espécies se alteram consideravelmente em algumas lagoas durante a falta de conexão das lagoas aos rios, e esta mudança pode ter magnitude e direção similares de ano a ano.

A variação sazonal em ambientes de planícies de inundação onde estão inseridas as lagoas marginais (Novo e Shimabukuro 1997), evento apontado como um dos fatores mais importantes na manutenção da biodiversidade de peixes (Cordiviola de Yuan 1992), provavelmente explica as alterações no maior número, área e número de conexões aos rios das lagoas marginais para o período de cheia.

Os resultados deste estudo indicam que as lagoas marginais do rio Aiuruoca são ambientes dinâmicos cuja área, conectividade e permanência no espelho d'água dependem do regime de seca e chuva.

A aplicação da análise orientada a objeto, em imagens Landsat nos estudos de escala regional, permitiu mapear e caracterizar estes ambientes, diferenciando as lagoas marginais subjacentes ao rio Aiuruoca, em dois períodos do ano.

## REFERÊNCIAS

AHMED, M. H., EL LEITHY, B. M., THOMPSON, J. R., FLOWER, R. J., RAMDANI, M., AYACHE, F. & HASSAN, S. M. 2009. Application of remote sensing to site characterization and environmental change analysis of North African coastal lagoons. *Hydrobiologia*, 622: 147-171.

ANTUNES, F. & C. LINGNAU (2005): Determinação da acurácia temática de dados oriundos da classificação digital de objetos por meio de lógica fuzzy. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Goiânia, Brasil.

BRITES, R. S. 1996. Verificação de exatidão em classificação de imagens orbitais: efeitos de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão. 101f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

CORDIVIOLA DE YUAN, E. 1992. Fish populations of lentic environments of the Paraná river. *Hydrobiologia*, 234 (1): 159-173.

DESCLÉE, B., BOGAERT, P. & DEFOURNY, P. Forest change detection by statistical object-based method. *Remote Sensing of Environment*, 102 (2006): 1-11.

GODINHO, H. P. & GODINHO, A. L. (Orgs). 2003. *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte: PUC Minas. 302 p.

GOULDING M. 1980. *The Fishes and the Forest: Explorations in the Amazonian Natural History*. 1nd ed. California: University of California. 280 p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2001. Introdução ao processamento digital de imagens. Manual técnico em geociências. Rio de Janeiro. n.9.

IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas). 2009. Disponível em <<http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/150>>. Acesso em: 8 de agosto de 2009.

JENSEN, J.R. 2000. Remote sensing of water. In: JENSEN, J.R. (Ed). *Remote Sensing of the Environment: an Earth Resource Perspective*. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc. 575 p.

JUNK, W. J., P. B. BAYLEY & R. E. SPARKS. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106: 110-127.

JUNK, W.J. & WELCOMME, R.L. 1990. Floodplains. In: PATTEN, B. C. *Wetlands and shallow continental waters bodies*. 1nd. ed. Academic Publishing: The Netherlands. 524 p.

MARTINI, L.C.O., MATTOS, D.S., BARBOSA, D.F.P. & RECH, A.I.B. 2006. Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila<sub>a</sub> na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 11 (4): 1413-1452.

NOVO, E.M., SHIMABUKURO, Y.E. 1997. Identification and mapping of the Amazon habitats using a mixing model. *Int. J. Remote Sensing*, 18 (3). 663-670.

MAUSEL, L.D., BRONDIZIO, P.E. & Moran, E. 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 2365-2407.

POMPEU, P.S. 1997. *Efeitos das estações seca e chuvosa e da ausência de inundações nas comunidades de peixes de três lagoas marginais do médio São Francisco*. 72f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

RODRIGUEZ, M.A. & LEWIS JR., W. M. 1994. Regulation and stability in fish assemblages of neotropical floodplain lakes. *Oecologia*, 99: 166-180

SAKAMOTO, T., NGUYEN, N.V, KOTERA, H.O., ISHITSUKA, N. & YOKOZAWA, M. 2007. Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery. *Remote Sensing of Environment*, 109: 295-313

SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas). Insitutu Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/DPI. Spring 3.6: Geoprocessamento ao alcance de todos. São José dos Campos, SP, 2002. CD-ROM.