

Avaliação da exatidão de mapeamentos do uso e da cobertura da terra obtidos a partir de classificadores baseados na concepção *Fuzzy*

Carlos Tadeu de Carvalho Gamba¹

Ailton Luchiar¹

¹Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto

Depto. de Geografia – FFLCH – Universidade de São Paulo – USP

Av. Prof. Lineu Prestes, 338 - Cidade Universitária – 05508-900 – São Paulo – SP, Brasil

xico@usp.br

aluchiar@usp.br

Abstract: This work aims to evaluate the results obtained through automatic procedures based on the Fuzzy conceptions, in the mapping of the land use and land cover of the region of the Cananéia city.

The classes of land use and cover were defined based on the levels 1 and 2 of the Anderson et alli (1979) proposal. For the development of the research, it has been used the images obtained by the LANDSAT 7's ETM+ sensor (bands 1, 2, 3, 4, 5 and 7) and the geographical information systems IDRISI 32.

As a result, it has been obtained maps with a good separation of classes in the level 1, while in the level 2, the maps presented a considerable confusion of classes. Even so, the results have proved to be motivating due to the index of agreement observed. Besides, it has been identified a great potential of use in the automatic procedures based on the Fuzzy conception for the individualization of the classes of land use and land cover.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, classification accuracy, sensoriamento remoto, processamento de imagens, exatidão de classificação.

1. Introdução

De acordo com Jensen (1996), a classificação multiespectral é um dos métodos mais frequentes usados para se extrair informações de dados de sensoriamento remoto. Há duas formas de realizar este processo: por meio da interpretação visual das formas e dos padrões que são observados nas imagens; ou através de técnicas automáticas de processamento digital.

Os procedimentos de classificação automática têm sido largamente utilizados pelos usuários de produtos gerados por sensoriamento remoto. Um dos métodos mais utilizados na aplicação destas técnicas é a classificação supervisionada. Este tipo de classificação é aquele em que o usuário define preliminarmente as categorias que serão representadas na imagem, identificando pixels pertencentes a uma determinada cobertura que já se conhece, por meio da coleta de amostras numa etapa que chamamos de treinamento. A vantagem deste método reside no fato de que o usuário pode aumentar a qualidade da representação ao interferir no processo de classificação (Campbell, 1987).

Entretanto, é importante destacar que os algoritmos frequentemente utilizados neste procedimento de classificação, caso do método da Mínima Distância ou da Máxima Verossimilhança, consideram as probabilidades absolutas de um pixel ser atribuído a uma classe. Ou seja, consideram que o pixel pertence ou não pertence a esta classe.

Em outros métodos de classificação supervisionada como o *Fuzzy*, essa relação se altera, pois o pixel é classificado de acordo com o grau de associação que ele estabelece com os seus vizinhos e, como resultado final, temos um mapa no qual o pixel apresenta diferentes probabilidades de pertencer a cada classe. Esta situação é interessante pois nos permite trabalhar com as imprecisões inerentes ao mundo real (Jensen, 1996).

Foody (1992) optou pelo uso de uma classificação baseada na concepção *Fuzzy* por considerar que os métodos rotineiros de classificação não são capazes de modelar satisfatoriamente ambientes contínuos. Por outro lado, Becerra e Bitencourt (2003)

consideram que este método pode ter grande utilidade na classificação de pixels misturados. Wang (1990), testou esta metodologia e acredita que ela possa promover acréscimos da ordem de 5% na qualidade da classificação.

A proposta deste trabalho foi avaliar o comportamento da classificação baseada na concepção *Fuzzy*, implementada no *software* IDRISI 32, no mapeamento do uso e da cobertura da terra da região de Cananéia.

Esta área, além de ser um complexo de grande valor ecológico, constitui um ambiente de transição entre o mar e o continente, e oferece um conjunto de usos e coberturas passíveis de serem separados e ordenados dentro de um sistema de classificação.

2. Os materiais utilizados

Segundo Koffler (1992), são condições ideais para o trabalho com dados orbitais: “uma área de estudo geograficamente grande; categorias de interesse espectralmente separáveis; características espectrais dos dados relativamente simples (razoavelmente homogêneas e em pequeno número); não fossem necessários elementos espaciais para a identificação. “

Nesse sentido escolhemos a região de Cananéia (Figura 1), não só por conta dos interesses ligados à gestão territorial e ao conhecimento geoecológico local, mas também, pela possibilidade de cartografá-la por meio de imagens produzidas pelos sensores TM dos satélites LANDSAT. Assim, foram utilizados os seguintes materiais:

- A carta topográfica do IBGE, “Ilha de Cananéia”, na escala 1:50.000;
- Imagem do satélite LANDSAT 7 ETM+ (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7);
- Aparelho GPS (Sistema de Posicionamento Global) “portátil”;
- Mosaico de Fotografias da área em escala 1:25.000;



Figura 1 – Localização da área de estudo

3. Procedimentos metodológicos

Quando falamos em classificação, ainda que estejamos trabalhando com processamento digital de imagens, temos de pensar preliminarmente numa legenda que atenda as características de nossa área de estudo. Por essa razão, a proposta metodológica do presente trabalho foi dividida em dois segmentos distintos: o primeiro, fundamentado na proposta de Anderson et alli (1979) para o uso e o revestimento da terra; e o segundo baseado na concepção *Fuzzy* (Zadeh, 1965; Wang, 1990 apud Jensen, 1996) para a classificação automática das imagens.

3.1. O sistema de classificação

Anderson *et ali* (1979) propuseram um sistema no qual a informação é hierarquizada em níveis, sendo que cada um destes representa um grau detalhamento da superfície terrestre, ou seja, um conjunto de padrões ou alvos passíveis de serem mapeados numa determinada escala. Este sistema é interessante pois oferece uma classificação que considera não só as características da área a ser mapeada, mas também, as características do sensor utilizado.

Utilizada pela *USGS (United States Geological Survey)*, esta legenda abrange 4 níveis de classificação, porém, em razão das características do material com o qual estamos trabalhando, optamos por utilizar os níveis I e II, adaptando-os a nossa área de estudo. Cabe a nós ressaltar que as categorias Tundra e Neve, propostas originalmente nesta legenda, foram descartadas pois sob hipótese alguma podem ser encontradas em nossa área de estudo.

3.2. A abordagem *Fuzzy*

A classificação *Fuzzy*, como já foi destacado anteriormente, é descrita pela probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe, a partir do grau de associação que ele tem com os seus vizinhos.

Neste método, uma amostra *A* no universo *X* é caracterizada por uma função de associação *fA* onde associa-se cada elemento (*x*) a um número real no conjunto $\{0, 1\}$. Essa função *fA*, representa uma grade de associação desse elemento (*x*) em *A*. O valor final de *fA* (*x*) é 1, mas *x* sempre pertence a *A*. Isso ocorre, pois não há um limite de decisão nitidamente definido e um elemento da cena, por exemplo, um pixel na imagem, terá uma associação parcial com todas as classes. Ou seja, nos métodos clássicos, se $x = 1$ ele é associado a uma dada classe; se $x = 0$, não é associado a esta.

Dentro do cenário *Fuzzy*, *x* representa o grau de associação e será mais representativo o quão mais próximo estiver do valor 1. Como *x* sempre pertence à classe, haverá um grau de participação de dentro das diversas classes. Podendo ser de 70% em relação a uma e 30% em relação à outra.

Esse grau de associação é determinado por meio da criação de uma matriz denominada “partição *Fuzzy*”. Nela são inseridos os índices de pertinência de cada classe, que na verdade, representam a probabilidade de um pixel ser associado a uma classe ou outra durante a classificação.

3.3 A classificação da imagens

Para realizar o processo de classificação, escolhemos o classificador BAYCLASS, implementado no *software* IDRISI 32. Como em toda classificação supervisionada, este procedimento foi dividido em uma etapa de treinamento e outra de classificação. No entanto, como no método *Fuzzy* é necessário a construção de uma matriz de partição, o processo ficou dividido em 3 etapas.

É importante ressaltar que diferentemente dos outros métodos, na classificação *Fuzzy* obtemos como resultado final uma imagem para cada classe de uso. Por esta razão, nos utilizamos de uma nova classificação, desta vez pelo método da Máxima Verossimilhança (classificador MAXLIKE), para que pudéssemos apresentar o mapa final de classificação numa única imagem (Anexo 01). Para finalizar o processo, foram construídas matrizes de confusão afim de avaliar os resultados da classificação. Estas matrizes, que consistem na comparação entre os dados obtidos com os classificadores (classes mapeadas) e as referências obtidas em campo (verdade terrestre), têm sido largamente utilizadas na avaliação da exatidão. Fisher (1994), as utilizou para estabelecer medidas de acuidade em imagens de sensoriamento remoto,

classificadas através dos métodos *Fuzzy* e da Máxima Verossimilhança. Mascaro (2004) fez uso delas para avaliar a exatidão das classificações obtidas através do uso de três classificadores: Máxima Verossimilhança; Mínima Distância; e Paralelepípedo.

4. Discussão dos resultados

Como resultado obtivemos um mapa com classes bem individualizadas e coerentes tanto com as imagens, como com as observações feitas em campo. Do ponto de vista estatístico, os índices de exatidão global ficaram acima dos 85%, número que é considerado o mínimo necessário para que o sistema de classificação possa ser utilizado (Anderson et alli, 1979). A variação da exatidão entre as classes também foi pequena. A exceção ficou por conta das classes Água e Terra Desnuda que apresentaram muita mistura com a classe Terra Urbana (Tabela 1).

Tabela 1 – Matriz de confusão das amostras de campo (nível 1 / legenda A)

Referências de campo (colunas: verdade terrestre) e imagem classificada (linhas: classes mapeadas)

Classes	1	2	3	4	5	6	Total	Exatidão do usuário
1. Água	3	0	0	0	0	0	2	100%
2. Terra úmida	1	13	1	0	0	1	16	81%
3. Terra florestada	0	1	17	0	0	1	19	89%
4. Terra desnuda	0	0	0	3	0	0	3	100%
5. Terra urbana	2	0	0	2	11	3	18	61%
6. Terra agropastoril	0	0	0	1	0	23	24	96%
Total	6	13	18	6	11	28	82	
Exatidão do produtor:	50%	93%	94%	50%	100%	82%		

ÍNDICE DE EXATIDÃO GLOBAL: 0,86 (86%)

Lotes preenchidos por vegetação de transição também produziram confusão com as terras de uso agropastoril, confusão que também é destacada por Bonetti Filho (1996).

A categoria Água também apresentou mistura similar. Como se trata de uma região sujeita aos regimes de maré, podemos observar com frequência o afloramento de bancos de areia nas áreas imersas. Quando muito, estes bancos se encontram timidamente cobertos por água. Além disso, também pudemos observar a presença de lagos artificiais destinados à captação de água e ao criadouro de espécies aquáticas. Como os materiais de natureza sedimentar e orgânica interferem diretamente na reflexão dos corpos d'água na região do visível (Campbell, 1987), estas áreas foram, na maioria dos casos, confundidas pelos classificadores com áreas de Terra Urbana e Terra Úmida. Tais acontecimentos comprometeram severamente os resultados da classificação destes alvos na Legenda A.

Afim de minimizar estas misturas, decidimos juntar as classes Terra Urbana e Terra Desnuda que particularmente, em nossa área de estudo, não apresentam grandes diferenças entre si. E criamos uma outra categoria para as áreas inundadas a qual denominamos de Água Rasa. Estas áreas, compreendidas por corpos d'água de baixa profundidade, foram separadas das Terras Úmidas por estarem permanentemente cobertas.

Os resultados destas mudanças repercutiram positivamente, tanto no quadro estatístico (Tabela 2) — a exatidão da categoria saltou de 50% para 100% —, como no aspecto visual. Isto pode ser observado quando comparamos a exatidão do produtor obtida por classe na Legenda A e na Legenda B. Os índices de exatidão global saltaram respectivamente de 86% na legenda A, para 90% na Legenda B.

Tabela 2 – Matriz de confusão das amostras de campo (nível 1 / legenda B)

Referências de campo (colunas: verdade terrestre) e imagem classificada (linhas: classes mapeadas)

Classes	1	2	3	4	5	6	Total	Exatidão do usuário
1. Água	2	0	0	0	0	0	2	100%
2. Terra úmida	0	11	0	1	0	0	12	92%
3. Terra florestada	0	1	18	2	0	0	21	86%
4. Terra agropastoril	0	0	0	24	2	0	25	96%
5. Terra desnuda	0	0	0	1	15	0	16	94%
6. Água rasa	0	1	0	0	0	4	5	80%
Total:	2	13	18	28	17	4	82	
Exatidão do produtor:	100%	85%	100%	86%	88%	100%		

ÍNDICE DE EXATIDÃO GLOBAL: 0,90 (90%)

No que tange aos aspectos visuais pudemos observar, principalmente nas partições *Fuzzy*, um resultado interessante nas classes Terra Urbana, onde as vias principais podem ser facilmente identificadas, e Terra Úmida, onde podemos notar uma distinção considerável das áreas continentais, mais altas, para àquelas influenciadas pelos domínios oceânicos e estuarinos (Figura 2).

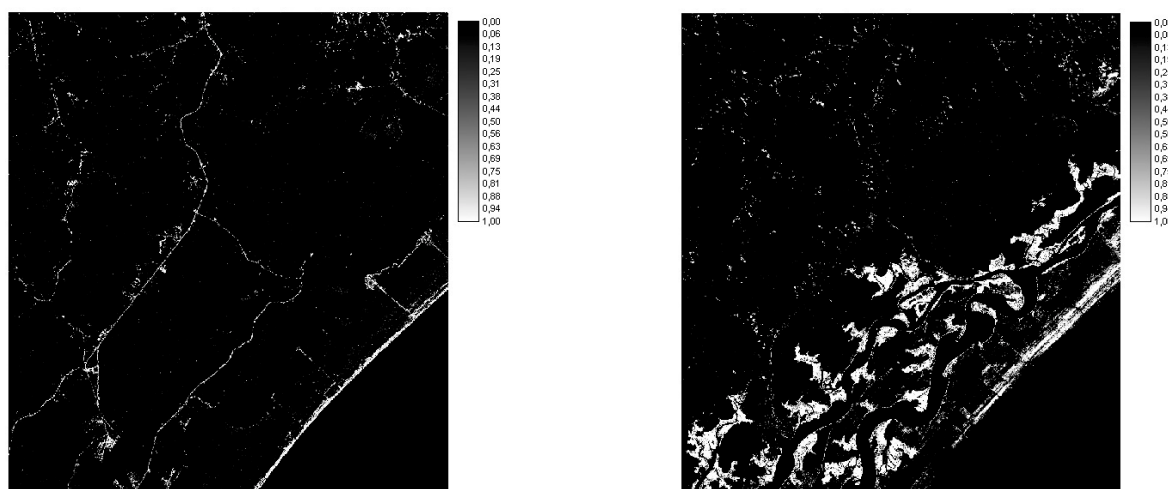


Figura 2 – Imagens da partição *Fuzzy* para as classes Terra Urbana e Terra Úmida.

No nível II os resultados foram bem distintos. O aumento expressivo das classes de potencializou a confusão entre classes. Fato que já era esperado. Por esta razão, os resultados ficaram bem abaixo dos obtidos no nível 1

Como destacam Cibula e Nyquist (1987), o relevo exerceu forte influência no comportamento dos alvos de nossa área de estudo. Os diferentes tipos de cobertura vegetal também se mostraram de difícil individualização. Podemos observarmos na matriz de confusão para a legenda A (Tabela 3).

Outra situação que pudemos observar refere-se as áreas de transição que, devido à grande participação dos solos no comportamento espectral do conjunto, foram frequentemente confundidas com outras áreas mistas, como campos destinados ao pastoreio e vias de circulação. A presença de culturas agrícolas dentro de outras classes de uso, também que acarretou um aumento nas misturas entre classes.

Tabela 3 – Matriz de confusão das amostras de campo (nível 2 / legenda A)

Referências de campo (colunas: verdade terrestre) e imagem classificada (linhas: classes mapeadas)

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Total	Exatidão do usuário
1. Áreas urbanas	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	6	67%
2. Vias de circulação	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6	33%
3. Mata de restinga	0	0	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	87%
4. Mata de restinga alterada	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	83%
5. Mata de encosta	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	100%
6. Mata de encosta alterada	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100%
7. Mata ciliar	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	33%
8. Culturas agrícolas	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	86%
9. Campos	1	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	1	0	8	75%
10. Águas fluviiais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	1	0	0	0	0	5	60%
11. Reservatórios e lagos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	100%
12. Águas estuarinas e oceânicas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	100%
13. Terra úmida	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	6	83%
14. Terra úmida florestada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	100%
15. Terra úmida florestada arbórea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	1	5	60%
16. Terra desnuda	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	1	6	50%
17. Áreas de transição	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	50%
Total:	6	3	9	7	6	2	1	9	8	3	1	2	6	4	3	6	6	82	
Exatidão do produtor:	67%	67%	78%	71%	67%	100%	100%	67%	75%	100%	100%	50%	83%	75%	100%	50%	50%		

ÍNDICE DE EXATIDÃO GLOBAL: 0,72 (72%)

A classe Água apresentou o mesmo comportamento do nível I, ou seja, totalmente influenciada pela presença de sedimentos depositados no fundo ou em suspensão. Esse tipo de mistura se repetiu nas classes abrangidas por terras úmidas e, por esta razão, optamos novamente por criar uma legenda alternativa (B) para contornar os problemas de mistura apresentados na legenda (A), proposta inicialmente. Obtivemos então, uma Segunda legenda com 14 classes (Tabela 4)

Tabela 4 – Matriz de confusão das amostras de campo (nível 2 / legenda B)

Referências de campo (colunas: verdade terrestre) e imagem classificada (linhas: classes mapeadas)

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total	Exatidão do usuário
1. Áreas urbanas	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	71%
2. Vias de circulação	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	40%
3. Mata de restinga	0	0	8	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	9	89%
4. Mata de restinga alterada	0	0	2	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10	60%
5. Mata de encosta	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	71%
6. Mata de encosta (sombra)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100%
7. Mata de encosta alterada	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	100%
8. Culturas agrícolas	0	0	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0	0	12	75%
9. Campos	1	0	0	1	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	9	56%
10. Água	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	100%
11. Água rasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	100%
12. Terra úmida	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8	0	0	9	89%
13. Terra úmida florestada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	100%
14. Terra desnuda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	100%
Total:	7	3	10	8	6	1	2	13	8	2	4	8	4	6	82	
Exatidão do produtor:	71%	67%	80%	75%	83%	100%	50%	69%	62%	100%	100%	100%	100%	67%		

ÍNDICE DE EXATIDÃO GLOBAL: 0,78 (78%)

As misturas mais acentuadas foram observadas nas classes preenchidas por usos mistos – como as terras urbanas, as terras desnudas e as vias de circulação – e as áreas cobertas por vegetação transitória – como campos e plantações.

Testamos, ainda, uma terceira legenda com 11 classes no intuito de melhorar a exatidão da classificação, no entanto, obtivemos um acréscimo de apenas 1%, ficando o Índice de Exatidão Global em 79%.

5. Considerações finais

Concluimos que para o nível I da proposta da USGS, o sistema de classificação é perfeitamente aplicável. Em nosso caso, os resultados obtidos foram amplamente satisfatórios, principalmente quando adaptamos nossa legenda às características de nossa área de estudo. Como afirmam de Anderson et alli (1979), “não existe classificação de uso da terra e revestimento do solo que seja única e ideal”. No nível II, a aplicabilidade das legendas propostas é questionável, uma vez que os índices de exatidão ficaram abaixo de 85%.

A classificação *Fuzzy* se mostrou muito interessante de ser utilizada por conta da possibilidade de obtermos uma imagem para cada categoria. Levando-se em conta que nesta classificação, o processo de treinamento não requer amostras tão homogêneas como nos outros métodos, julgamos que a individualização das classes ficou acima de nossas expectativas.

Assim, acreditamos que a classificação baseada na concepção *Fuzzy*, pode ser uma alternativa interessante nos mapeamentos produzidos a partir de imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+. Mesmo porque, são comuns as misturas observadas nos processos de classificação que utilizam imagens geradas por este sensor.

6. Referências

Artigos em revista:

- CIBULA, W. G. & NYQUIST, M. O. Use of topographic and climatological models in a geographical data base to improve Landsat MSS classification for Olympic National Park. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 53, n. 1, p. 67-95, 1987.
- FISHER, Peter F. Visualization of reliability in classified remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 60, n. 7, p. 905-910, 1994.
- FOODY, G. M. A Fuzzy sets approach to the representation of vegetation continua from remotely sensed data: an example from lowland heath. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 58, n. 2, 1992, p. 221-225.
- KOFFLER, Natalio F. Técnicas de sensoriamento remoto orbital aplicadas ao mapeamento de vegetação e uso da terra. **Geografia**, Rio Claro, v. 17, n. 2, p. 1-26, 1992.
- WANG, F. – *Fuzzy supervised classification of remote sensing images*. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 28, n. 2, p. 194-201, 1990.

Livros:

- ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER. *Sistemas de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979, p. 13-62.
- CAMPBELL, J. B. *Introduction to remote sensing*. New York: Guilford Press, 1987, 550 p.
- JENSEN, John R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1996, 318 p.

Teses:

- BONETTI FILHO, J. **Sensoriamento remoto aplicado à análise de ambientes costeiros impactados – avaliação metodológica: baixada santista**. 1996. Tese (doutorado em oceanografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- MASCARO, S. A. **Evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo nas estâncias turísticas de Avaré e Paranapanema, no reservatório de Jurumirim (SP)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

Eventos:

BECERRA, J. A. B. ; BITENCOURT, M. D. A classificação contínua (fuzzy) no mapeamento temático de áreas de cerrado. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.; 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003, p. 2663 - 2670.

Anexo

Ilha de Cananéia - Uso e cobertura da terra

