

ANÁLISE COMPARATIVA DE QUATRO MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA PARA A DISCRIMINAÇÃO DE FITOFISIONOMIAS DE CERRADO.

Gustavo Bayma S. da Silva ¹

Giovana M. Betiol ²

Edson E. Sano ³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR
Cx. Postal 515 – CEP: 12245-970 - São José dos Campos - SP
bayma@dsr.inpe.br

² Engevix - Brasília
Divisão de Meio Ambiente
giovana.betiol@engevix.com.br

³ Embrapa Cerrados
BR 020 Km 18 Cx. Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina, DF
sano@cpac.embrapa.br

Resumo: No contexto da temática de valoração ambiental e da crescente necessidade de preservação do ambiente com vistas ao desenvolvimento sustentável, torna-se primordial o desenvolvimento de ferramentas que subsidiem o conhecimento e monitoramento de grandes áreas de cobertura vegetal, a exemplo do Cerrado. O bioma em questão apresenta deficiência em mapeamentos sistemáticos de seus recursos naturais. Diversos autores vêm empregando técnicas de sensoriamento remoto para o mapeamento da cobertura terrestre e monitoramento dos recursos naturais. Dentre tais técnicas, destaca-se a classificação de imagens orbitais. Assim, o presente trabalho propõe avaliar o desempenho dos seguintes métodos de classificação supervisionada para discriminação das principais fitofisionomias do bioma Cerrado: Mínima Distância, Distância Mahalanobis, Máxima Verossimilhança e *Spectral Angle Mapping*. Para isso, foi selecionado o Parque Nacional de Brasília como área-teste. Este se localiza na porção noroeste do Distrito Federal (DF), entre os meridianos 47° 53' e 48° 05' (longitude oeste) e paralelos 15° 35' e 15° 45' (latitude sul) e situa-se a 10 km do centro de Brasília. O desempenho e a qualidade dos resultados obtidos foram avaliados por meio de testes estatísticos de omissão/comissão, matrizes de erro e índice Kappa. De uma maneira geral, todos os classificadores apresentaram um desempenho inferior a 60%, indicando que o uso de classificadores supervisionados aplicados a imagens de resolução espacial moderada (Landsat e SPOT) para discriminar fitofisionomias do Cerrado não é uma tarefa simples, principalmente quando esta é baseada em imagens ópticas de resolução espacial decimétrica.

Palavras-chave: Savana, Fitofisionomias, Classificadores.

Abstract: In the context of environmental appraisal and the increasing need of environmental preservation to reach sustainable development, we need to develop tools to help the knowledge and monitoring of large, natural areas, such as the Cerrado. This biome presents limited systematic mappings of its natural resources. Different authors have been used remote sensing techniques for land cover mapping and monitoring of natural resources. Among such techniques, we can highlight the image classification. The goal of this study is to address the performance of the following supervised classification methods to discriminate the major Cerrado physiognomies: Minimum Distance, Mahalanobis Distance, Maximum Likelihood, and

Spectral Angle Mapping. The Brasilia National Park was selected as test site. It is located in the northwest portion of the Federal District, among the meridians 47° 53' and 48° 05' (west longitude) and parallel 15° 35' and 15° 45' (south latitude) and is located just 10 km away from the center of Brasilia. The performance and the quality of results were evaluated through the omission/commission errors, matrix of errors and Kappa index. Overall, the classifiers presented a performance lower than 60%, indicating that the use of supervised classification applied to moderate spatial resolution images (e.g., Landsat and Spot) to discriminate Cerrado vegetation classes is a difficulty task, especially when this is based on optical images of decimetric spatial resolution

Keywords: Savannah, physiognomies, classifiers.

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a temática de valoração ambiental e a crescente necessidade de se preservar o ambiente, torna-se primordial o desenvolvimento de novas ferramentas que auxiliem no conhecimento e monitoramento de grandes áreas de cobertura vegetal, a exemplo do Cerrado (NEPOMUCENO et al., 2003). O bioma Cerrado está presente em 25% do território nacional (dois milhões de km²) e desempenha um importante papel no fluxo de energia, água e carbono da região.

Entretanto, o bioma em questão possui deficiência em mapeamentos sistemáticos atualizados dos seus recursos naturais, os quais poderiam subsidiar políticas públicas e diretrizes de desenvolvimento auto-sustentado para a região (Aguiar et al., 2005). Segundo esse mesmo autor, é imprescindível o monitoramento e a gestão ambiental e territorial da região, destacando três grandes levantamentos acerca deste assunto.

Muitos autores (AGUIAR et al., 2005; GOMES-LOEBMANN et al., 2005) vêm empregando técnicas de sensoriamento remoto para o mapeamento da cobertura terrestre e monitoramento dos recursos naturais. No entanto, os dados de sensoriamento remoto necessitam ser processados e, posteriormente, analisados para que sejam extraídas informações de interesse.

A classificação é uma técnica que permite a extração de informações de imagens orbitais na medida em que categoriza os valores dos níveis de cinza da imagem, utilizando algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais, o que facilita a análise do intérprete. Paralelamente, a interpretação visual de imagens é uma prática comumente realizada para a discriminação dos diferentes tipos de vegetação e monitoramento do meio ambiente. Geralmente é utilizada com a finalidade de refinar dados resultantes de uma classificação automática, supervisionada ou não.

Os métodos de classificação de imagens podem apresentar diferentes níveis de precisão, dependendo, dentre outros fatores, da abordagem utilizada pelo método e da especificação dos seus parâmetros (QUEIROZ et al., 2004). A resolução espacial da imagem orbital é também um fator que influencia a acurácia da classificação, pois interfere tanto na definição da área mínima a ser mapeada de um determinado tema, quanto na sua identificação (PONZONI et al., 2001).

O presente trabalho tem como objetivo geral, avaliar o desempenho de quatro métodos de classificação supervisionada para discriminação das principais fitofisionomias presentes no bioma Cerrado (Campo Limpo, Campo Sujo, Campo Cerrado, Cerrado sensu-stricto, e Mata de Galeria) em imagens de média resolução espacial.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área-teste selecionada corresponde ao Parque Nacional de Brasília (PNB). Este parque localiza-se na porção noroeste do Distrito Federal (DF), entre os meridianos 47° 53' e 48° 05' (longitude oeste) e paralelos 15° 35' e 15° 45' (latitude sul) e situa-se a 10 km do centro de Brasília. Possui uma área de aproximadamente 30.000 ha (Figura 1).

A área de estudo foi escolhida por ser uma área de preservação com grande representatividade de fitofisionomias do bioma Cerrado, devido à proximidade com Brasília e disponibilidade em termos de imagens e mapa de vegetação.

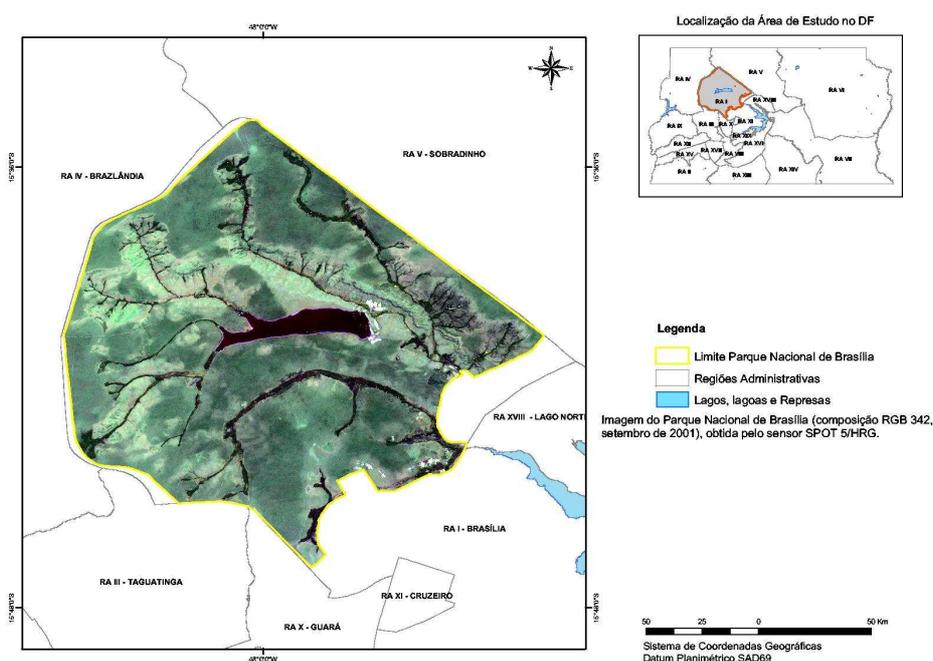


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

É possível observar no Parque Nacional de Brasília as principais fitofisionomias do bioma Cerrado, de acordo com a classificação definida por Ribeiro e Walter (1998) e Eiten (1990), subdivididas em três formações vegetacionais: Campo Limpo e Campo Sujo (formação campestre); Campo Cerrado e Cerrado *sensu-stricto* (formação savânica); e Mata de Galeria (formação florestal). O Cerradão, classe pertencente à formação florestal de Cerrado, não é encontrado no Parque (FERREIRA et al, 2002). A Figura 2 ilustra a disposição da vegetação segundo Ferreira (2003).

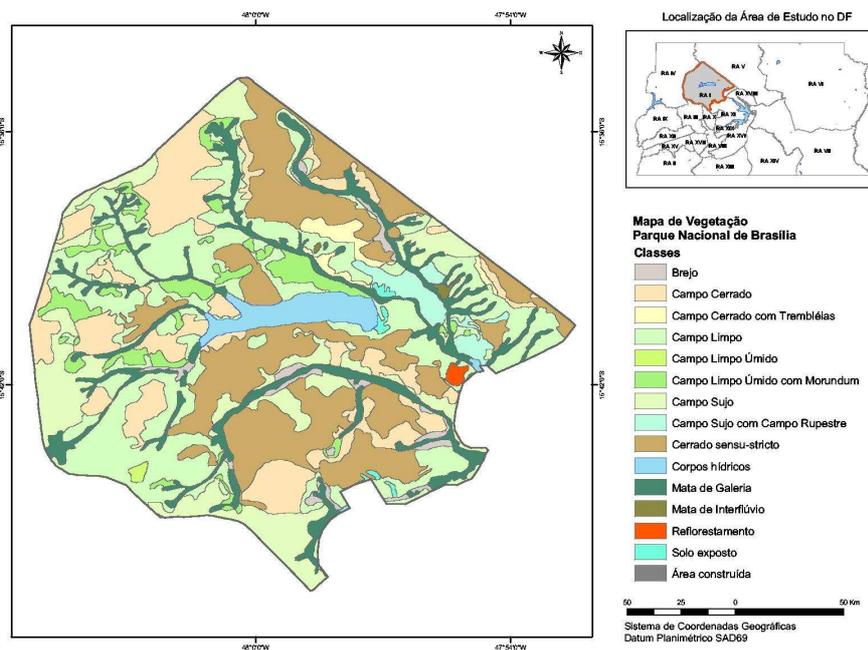


Figura 02 – Mapa de vegetação da área de estudo. Fonte: Ferreira, 2003.

O Campo Limpo de Cerrado tem, como característica principal, a predominância absoluta de extrato herbáceo, com raros arbustos, ou seja, completa ausência de árvores (RIBEIRO e WALTER, 1998). A sua composição florística é quase idêntica à camada rasteira dos campos sujos de Cerrado e campos Cerrados da mesma região. Assim como os campos sujos de Cerrado, este tipo fisionômico ocorre comumente nas escarpas íngremes das chapadas e nas suas colinas de encostas íngremes erodidas (CONDÉ, 1998) (Figura 3a). O Campo Sujo é formado por uma camada lenhosa descontínua de arbustos permanentes e outra rasteira, formada por ervas, semi-arbustos e arbustos recorrentes de caule fino. Em comparação com o Campo Cerrado, é evidente o aumento na densidade das camadas rasteira e lenhosa de arbustos permanentes (CONDÉ, 1998) (Figura 3b).

No Campo Cerrado, a vegetação é arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea de 5% a 20% e altura média variando entre dois e três metros. O Campo Cerrado corresponde a uma classe intermediária entre Cerrado *sensu-stricto* e Campo Sujo, diferindo fisionomicamente desta última por ser mais aberto e por conter árvores menores e em menor número. A redução do índice de cobertura do terreno pelas árvores propiciou o surgimento, em maior quantidade, de espécies gramíneas e de semi-arbustos e arbustos recorrentes (CONDÉ, 1998) (Figura 3c)

O Cerrado *sensu-stricto* caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, sendo que os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados. Ribeiro e Walter (1998) colocaram o Cerrado Típico como uma subdivisão fisionômica do Cerrado sentido restrito, sendo um subtipo de vegetação predominantemente arbóreo-arbustivo, com cobertura arbórea variando de 20 a 50% e altura média variando entre três e seis metros (Figura 3d). A Mata de Galeria, segundo Eiten (1990) e Ribeiro e Walter (1998), pode ser definida como vegetação florestal que depende da aproximação do lençol freático à superfície ao longo dos fundos dos vales, de maneira que uma quantidade abundante de água esteja disponível para as raízes das árvores no ano todo (Figura 3e).

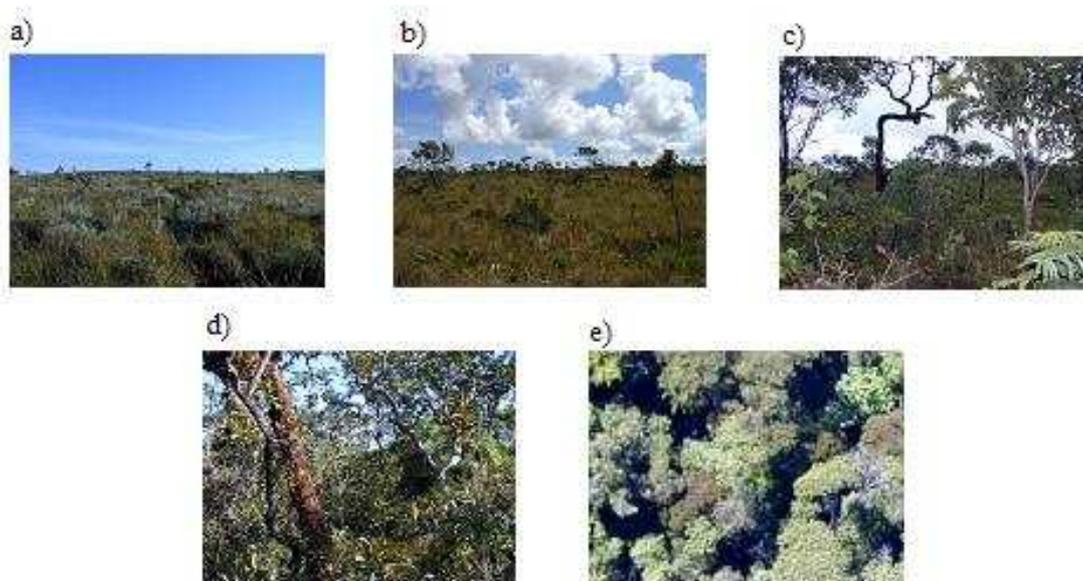


Figura 3 – Principais fitofisionomias do bioma Cerrado. a) Campo Limpo de Cerrado b) Campo Sujo de Cerrado c) Campo Cerrado d) Cerrado sensu-stricto e) Mata de Galeria

3. METODOLOGIA

Foi utilizada uma imagem ortorretificada do Landsat/ETM+, do dia 6 de setembro do ano de 2001, referente à órbita ponto 221-71 e obtida no acervo do *Global Land Cover Facility* (GLCF) e uma imagem SPOT/HRG, do dia 28 de abril de 2003. As imagens foram convertidas para o sistema de coordenadas geográficas e *datum* horizontal SAD69. Foi realizada a composição colorida RGB das imagens utilizando as bandas 4, 5, 3 para a imagem Landsat e as bandas 3, 4, 2 para a imagem SPOT. Esta composição de bandas foi escolhida por melhor discriminar a vegetação. Por meio da construção e aplicação de máscaras, a área de estudo foi delimitada de acordo com o limite do parque utilizado por Ferreira (2003) e, também, foram retiradas as áreas correspondentes à água na imagem.

Quatro métodos de classificação supervisionada foram selecionados para avaliar a capacidade de discriminação de fitofisionomias do bioma Cerrado: Mínima Distância; Mahalanobis; Máxima Verossimilhança – MAXVER; e *Spectral Angle Mapping* - SAM. Um método alternativo de classificação utilizada no presente estudo foi a interpretação visual, ou manual, da imagem Landsat. Somente esta foi interpretada pelo fato de, visualmente, a imagem Landsat e SPOT serem semelhantes, não apresentando diferenças significativas para as fitofisionomias analisadas. Para subsidiar tal classificação foi realizada a segmentação no *software* Spring. Os valores de similaridade e de área foram 4 e 3, respectivamente, e classificador utilizado foi o Isoseg. Após esta etapa realizou-se a interpretação visual dos fragmentos de acordo com as fitofisionomias propostas para a análise.

Para subsidiar o processo de classificação, escolheram-se, no mapa elaborado por Ferreira (2003) 50 pontos distribuídos aleatoriamente em cada fitofisionomia estudada no presente trabalho: Campo Limpo, Campo Sujo, Campo Cerrado, Cerrado *sensu-stricto* e Mata de Galeria, totalizando 250 pontos (Figura 4). Destes, foram escolhidos 10 pontos em cada fitofisionomia, totalizando 50 pontos. Estes foram chamados de “Áreas de Treinamento” e foram utilizados para nortear a escolha das “Regiões de Interesse” (ROIs) utilizadas nas classificações.

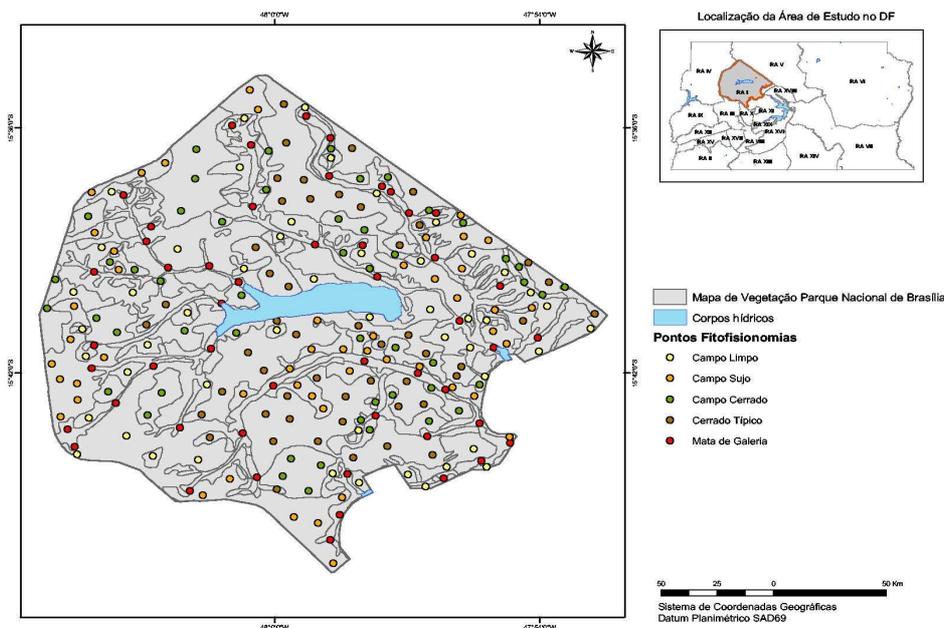


Figura 04 – Mapa de vegetação da área de estudo (FERREIRA, 2003) com 250 pontos escolhidos aleatoriamente para avaliar a qualidade da classificação.

Baseando-se na metodologia de South *et al* (2004), o qual usou os mesmos métodos de classificação para diferenciação de pastagens com plantio direto e indireto nos EUA, as regiões de interesse (ROIs) utilizadas nas classificações foram coletadas de modo que cada fitofisionomia analisada possuísse, no mínimo, 900 *pixels*, afim de se obter uma assinatura espectral representativa da classe. Cabe ressaltar de que a determinação das regiões de interesse foi bastante minuciosa, tomando-se o cuidado de que as mesmas se enquadrassem dentro da delimitação proposta por Ferreira (2003). Os mapas resultantes das classificações foram comparados ao mapa de vegetação do Parque Nacional de Brasília elaborado por Ferreira (2003), tido como verdade de campo neste estudo, por meio dos 250 pontos inicialmente coletados.

A análise geral do desempenho dos classificadores e da qualidade (exatidão) dos dados gerados foi avaliada através de testes estatísticos de omissão/comissão, matrizes de erro e índice Kappa, gerados no software ENVI. Cabe colocar que o índice Kappa indica a qualidade da classificação, variando de 0 a 1, sendo que quanto mais se aproxima do valor 1, mais a classificação se aproxima da realidade (tabela 1). Tal coeficiente de concordância vem sendo amplamente utilizado como uma medida da exatidão da classificação temática.

Tabela 1 - Qualidade da classificação associada aos valores do índice Kappa

Valor do Índice	Kappa	Qualidade
0		Péssima

0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis & Koch (1977)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a imagem Landsat, foram gerados cinco mapas, sendo quatro destes referentes aos métodos de classificação supervisionada e um mapa referente à classificação manual (figura 5).

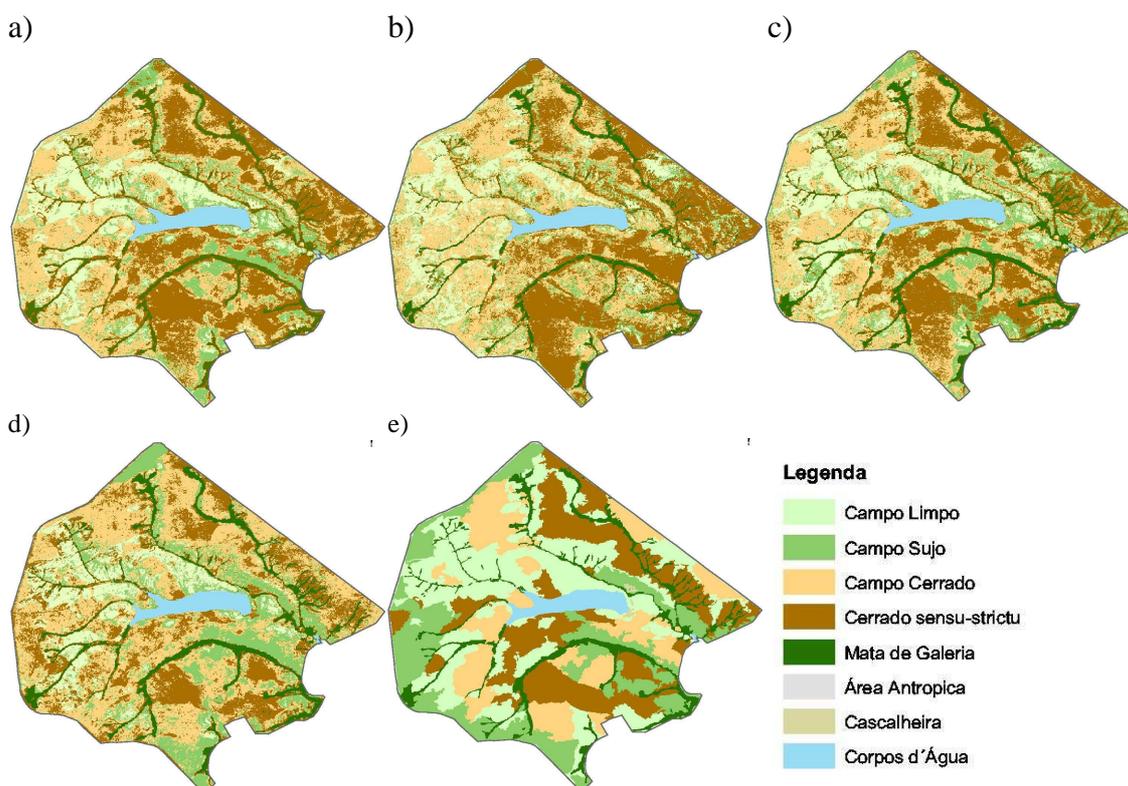


Figura 5 – Resultado dos diferentes métodos de classificação para a imagem Landsat: a) mínima distância; b) distância Mahalanobis; c) Máxima Verossimilhança; d) *Spectral Angle Mapping*; e) classificação manual.

O índice Kappa na imagem Landsat apresentou índices dos diferentes classificadores próximos uns aos outros, com amplitude dos resultados no valor de 0,195. O método de classificação manual obteve índice Kappa no valor de 0,580, podendo ser classificado com um índice de qualidade boa, de acordo com Landis & Koch (1977). Podem ser destacados, também, os valores para os métodos da Mínima Distância (0,515) e da Máxima Verossimilhança (0,510), ambos classificadores podem ser também considerados de qualidade boa. Pode ser observado que quatro dos cinco resultados obtidos a partir dos métodos de classificação analisados, foram classificados como de qualidade boa e apenas um com qualidade razoável (tabela 2).

Tabela 2 – Índice Kappa por Método de Classificação, imagem Landsat.

Métodos de Classificação	Índice Kappa	Qualidade
Mínima Distância	0.515	Boa
Distância Mahalanobis	0.385	Razoável
Máxima Verossimilhança	0.510	Boa
<i>Spectral Angle Mapping</i>	0.425	Boa
Manual	0.580	Boa

A Exatidão Global (tabela 3) mostra a porcentagem de “acerto” entre os pontos do “Mapa Verdade” e os pontos classificados pelos diferentes métodos de classificadores considerados no presente trabalho. Pôde-se observar um comportamento semelhante ao índice Kappa, para as porcentagens dos métodos de classificação, e, também, foi possível observar que todos os métodos considerados resultaram em uma exatidão global acima de 50%.

O método de Distância Mahalanobis apresentou o pior desempenho, com sua exatidão de aproximadamente 51%. Por outro lado, o método de classificação manual obteve como resultado uma exatidão de 66,40%, o que representa uma variação acima de 10%. Verificou-se aqui que nenhum método de classificação utilizado atingiu nível de exatidão confiável, que para Foody (2002) é de 85%.

Tabela 03 – Exatidão Global para a imagem Landsat

Métodos de Classificação	Exatidão Global
Mínima Distância	61,20%
Distância Mahalanobis	50,80%
Máxima Verossimilhança	60,80%
<i>Spectral Angle Mapping</i>	54,00%
Manual	66,40%

Para a imagem Spot foram gerados quatro mapas referentes aos métodos de classificação supervisionada (figura 6).

a)

b)

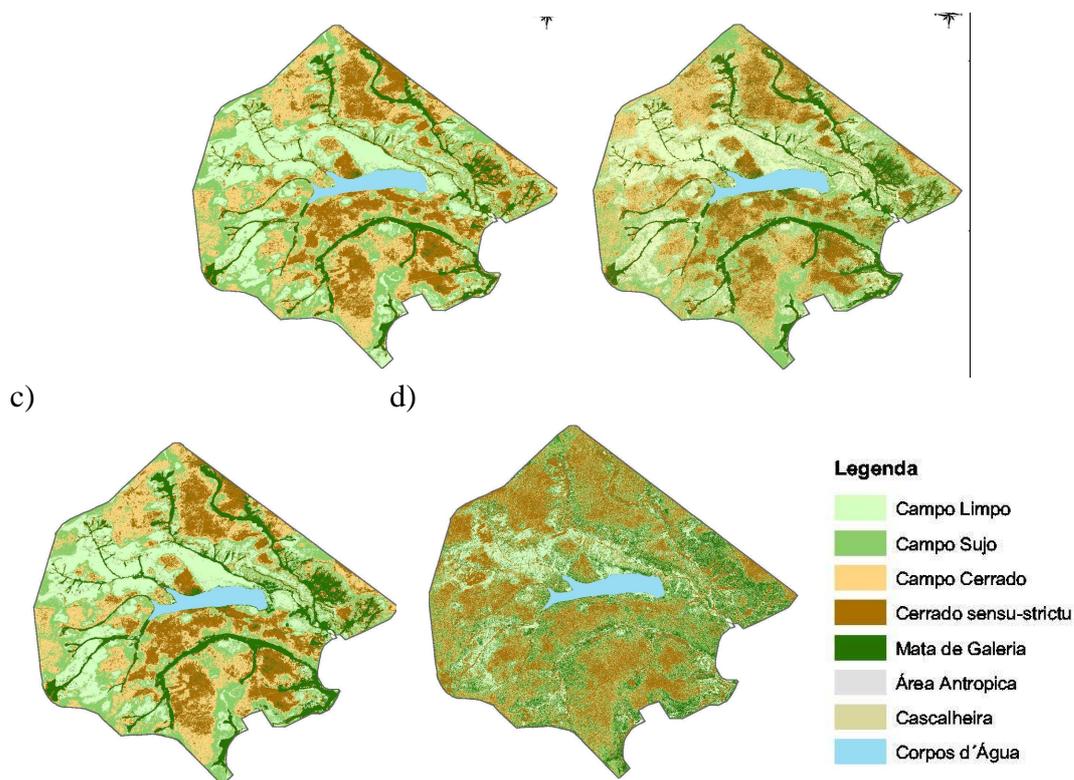


Figura 6 – Resultado dos diferentes métodos de classificação para a imagem SPOT: a) mínima distância; b) distância Mahalanobis; c) Máxima Verossimilhança; e d) *Spectral Angle*

O índice Kappa (tabela 4), para a imagem SPOT, apresentou índices próximos uns dos outros, com exceção do método de classificação *Spectral Angle Mapping*, o que fez por aumentar a amplitude entre os índices (0.438). De acordo com Landis & Koch (1977), o método da Mínima Distância e da Máxima Verossimilhança apresentaram os melhores índices Kappa, podendo a qualidade de seus resultados ser classificada como boa. Já o método da Distância Mahalanobis pôde ser classificado como de qualidade razoável, e o método *Spectral Angle Mapping* atingiu índice de qualidade ruim.

Tabela 04 – Índice Kappa por Método de Classificação, imagem SPOT.

Métodos de Classificação	Índice Kappa	Qualidade
Mínima Distância	0.480	Boa
Distância Mahalanobis	0.405	Razoável
Máxima Verossimilhança	0.515	Boa
<i>Spectral Angle Mapping</i>	0.077	Ruim

Demonstrando a porcentagem de “acerto” entre os pontos do “Mapa Verdade” e os pontos classificados pelos diferentes métodos de classificação considerados no presente trabalho, a exatidão global (tabela 05) manteve um comportamento semelhante ao índice Kappa. Foi possível a constatação que três dos quatro métodos de classificação (Mínima Distância, Distância Mahalanobis e Máxima Verossimilhança)

mantiveram-se acima de 50% de exatidão global, porém esses três métodos ficaram abaixo de um nível confiável de exatidão, o qual gira em torno de 85% Foody (2002).

Tabela 05 – Exatidão Global para a imagem SPOT.

Métodos de Classificação	Exatidão Global
Mínima Distância	58,40%
Distância Mahalanobis	52,40%
Máxima Verossimilhança	61,20%
<i>Spectral Angle Mapping</i>	26,00%

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse estudo demonstraram que os quatro métodos de classificação supervisionada utilizados apresentaram certa dificuldade em discriminar as principais fitofisionomias do Cerrado com base em imagens ópticas de resolução espacial decimétrica. Os valores de exatidão global inferiores a 61% corroboram essa afirmação. As principais confusões espectrais ocorrem quando se pretende discriminar Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Cerrado, provavelmente por causa da influência dominante da matéria seca que está associada aos estratos herbáceos dessas unidades, na maioria das imagens obtidas na estação seca.

O estudo complementar envolvendo segmentação de imagens seguida de mapeamento visual na tela do monitor de computador não permitiu melhora sensível nos índices de exatidão global. Apesar da experiência significativa dos intérpretes tanto em interpretação de imagens do Landsat e do SPOT como em trabalhos de reconhecimento de vegetação do Cerrado no campo, a exatidão global permaneceu na faixa dos 60%. A baixa precisão obtida nesse estudo comprova a dificuldade que se tem em mapear a cobertura de terras da região do Cerrado através de imagens de satélite multiespectrais e pontuais no tempo e responde, em parte, o por quê de não se ter, até hoje, nenhum índice confiável e preciso de desmatamento no Cerrado.

Ressalta-se ainda o fato de que o baixo desempenho obtido nesse estudo não permite afirmar que as diferentes técnicas de classificação supervisionada de imagens não devam ser utilizadas para classificar as diferentes coberturas de terra do bioma em questão. Como trabalhos futuros dentro da linha de pesquisa seguida pelos autores, recomendam-se, antes de efetuar a classificação digital de imagens propriamente dita, a utilização de dados multitemporais do Landsat ou do SPOT, do sinergismo entre dados

ópticos e de radar de abertura sintética ou mesmo de algumas técnicas mais robustas de realce de imagens como os componentes principais, decorrelação, composição colorida IHS, modelos lineares de mistura espectral e índices de vegetação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. C. de; FERREIRA, L. G. de; FERREIRA, M. E.; BORGES, R. O.; SANO, E. E.; GOMES, M. P.. Mapeamento do Uso do Solo e da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado a partir de dados orbitais MODIS e SRTM e dados Censitários. In: XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. Anais do XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2005.

CONDÉ, R. C. C. Vegetação do Distrito Federal. In: FREITAS-SILVA, Flávio Henrique; CAMPOS, José Eloi (Org.). Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília: IEMA/UnB, 1998, v. 1, p. 165-184.

EITEN, G. Vegetação do cerrado. In: NOVAES PINTO, M. (org.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília: Universidade de Brasília. 1990. p. 9-65.

FERREIRA, M. A. Análise do Modelo Linear de Mistura Espectral na Discriminação de Fitofisionomias do Parque Nacional de Brasília (Bioma Cerrado). Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado. 2003.

FERREIRA, M. E.; SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Atualização do Mapa de Vegetação do Parque Nacional de Brasília (Bioma Cerrado) por meio de Imagens Orbitais. Geo UERJ, Rio de Janeiro, p. 1268-1273, 2002.

FOODY, G.M. Status of land cover classification accuracy assessment. Remote Sensing of Environment, v. 80, n. 1, p. 185-201, Abr. 2002.

GOMES-LOEBMANN, D.; GUIMARÃES, R. F.; BETTIOL, G. M. et al. Mistura Espectral de Imagens LANDSAT para Análise Multitemporal de Uso da Terra nas Diferentes Unidades Pedológicas da Bacia do Rio Jardim, DF. In: XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. Anais do XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2005.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, v.33, n.1, 1977. p. 159-174.

NEPOMUCENO, A. M.; SANTA ROSA, A. N. C.; MENESES, P.R. Reconhecimento de Fitofisionomias do Cerrado no Parque Nacional de Brasília através de Classificação de Imagens de Radar de Abertura Sintética. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003.

PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S.; EPIPHANIO, J. C. N. “Influência da resolução espacial sobre a quantificação de áreas não florestadas em ambiente amazônico”. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2001, Foz do Iguaçu. Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2001.

QUEIROZ, R B.; RODRIGUES, A G.; GÓMEZ, A T. “Estudo Comparativo entre as Técnicas Máxima Verossimilhança Gaussiana e Redes Neurais na Classificação de Imagens IR-MSS CBERS 1”. In: I Workshop de Ciências da Computação e Sistemas da Informação da Região Sul, 2004, Florianópolis. Anais do I Workshop de Ciências da Computação e Sistemas da Informação da Região Sul.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Orgs.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: Embrapa, 1998. p. 89-166

SOUTH, Stephen; QI, Jiaguo; LUSCH, David P. Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices. In: Remote Sensing of Environment, 91, 2004. p. 90-97.