

Uso de imagens Landsat para a discriminação de Cerrado Rupestre na Área de Proteção Ambiental Pouso Alto e no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros

Camila Aparecida Lima^{1,3}, Edson Eyji Sano², José Roberto Rodrigues Pinto³, Heleno da Silva Bezerra²

¹ CENSIPAM

SPO Área 5 Quadra 3 Bloco K CEP: 70610-200 Brasília – DF, Brasil
camila.lima@sipam.gov.br

² Embrapa Cerrados

BR-020 km 18 CEP: 73301-970 Planaltina – DF, Brasil
{sano; heleno}@cpac.embrapa.br

³ Universidade de Brasília – UnB

Departamento de Engenharia Florestal
Caixa Postal 04357 CEP 70919 - 970 - Brasília - DF, Brasil
jrrpinto@unb.br

Abstract. Cerrado Rupestre occurs in an accidental relief landscapes, moderate to high slope, and presence of outcrops. It presents marked floristic richness and acts as barrier for the agricultural frontiers. Nevertheless, there is no precise mapping of its occurrences in the Cerrado biome. The goal of this study was to map the areas of occurrence of Cerrado Rupestre in the Pouso Alto Environmental Protected Area (EPA) and the Chapada dos Veadeiros National Park (CVNP), both located in the northeastern part of Goiás. The methodological strategy involved image segmentation, ISOSEG automated classification, visual analysis and refinement through the slope, geological and geomorphological data integration. The training areas for the automatic classifier were obtained from a mosaic of 24 Landsat scenes of the State of Goiás. The final mapping for this study area identified 128,000 hectares of Cerrado Rupestre in the study area, with a global precision index of 76%. Results of this research indicated that the use of image segmentation technique followed by supervised classification integrated with geological and geomorphological datas presents to be possible for identification of Cerrado Rupestre occurrences. However, this study was difficulted by spectral confusions with the Cerrado sentido restrito, Mata Seca Decidua and Mata Seca Semidecidua. As future research, we recommend field validation for the Goiás State mapping, analysis of multitemporal LANDSAT scenes, and synergistic analysis between LANDSAT and radar data.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, image segmentation, sensoriamento remoto, processamento de imagens, segmentação de imagens.

1. Introdução

O Cerrado Rupestre é um tipo de vegetação savânica caracterizado pelo substrato com afloramento de rochas de arenito e quartzito (Ribeiro e Walter, 1998). Ainda segundo os autores, os indivíduos lenhosos dessa fitofisionomia se desenvolvem principalmente nas fendas onde há acúmulo de material em decomposição provindo das rochas de origem e de espécies decíduais. Áreas de Cerrado Rupestre servem de refúgio de conservação do Cerrado por não ocorrerem em áreas que não apresentam aptidões para uso antrópico, por abrigarem espécies de distribuição restrita e por apresentarem elevada riqueza florística (Reatto *et al.*, 1998; IBGE, 2005; Lima, 2008). Portanto, estudos de preservação, mapeamento e monitoramento desta fitofisionomia são importantes e devem ser incentivados.

Especificamente para a fitofisionomia Cerrado Rupestre, nenhum registro de mapeamento foi encontrado. Trabalhos com esta fitofisionomia têm-se concentrado principalmente nos estudos florísticos e fitossociológicos (e.g., Moura *et al.*, 2007). O objetivo deste estudo foi mapear as áreas de Cerrado Rupestre na Área de Proteção Ambiental (APA) Pouso Alto e

Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), localizados ao Norte do Estado de Goiás, por meio de análises de imagens LANDSAT ETM+ obtidas no período de estiagem.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo, com uma extensão de 695.430 ha, correspondeu à APA Pouso Alto e ao PNCV, localizadas nos municípios goianos de São João D'Aliança, Alto Paraíso de Goiás, Nova Roma, Teresina de Goiás, Cavalcante, Minaçu e Colinas do Sul. Os materiais utilizados foram: imagens do satélite LANDSAT ETM+, ortorretificadas, referentes à estação seca e início da chuvosa do ano de 2002; imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM; e *shapefiles* dos limites das microrregiões, municípios, malha viária, unidades de conservação, dados geológicos e geomorfológicos do Estado de Goiás. As imagens LANDSAT foram analisadas em composição colorida RGB 453, com ampliação de contraste linear. O mosaico da área de estudo foi feito por meio de equalização de histograma, atenuando as diferenças radiométricas das órbitas-pontos adjacentes ao longo de todo o mosaico.

As áreas de treinamento foram obtidas por meio de trabalhos de campo realizados em três expedições, denominadas neste estudo de Norte, Nordeste e Sudeste. Ao todo, foram visitados 90 municípios e percorridos aproximadamente 4.500 km. Após as três expedições, foram registradas coordenadas geográficas de 108 pontos referentes a Cerrado Rupestre, Cerrado sentido restrito, Mata Seca Semidecídua e Mata Seca Decídua (Figura 1). Para determinar o erro de mapeamento, os trabalhos de campo se restringiram à APA Pouso Alto e o PNCV, onde foram verificados 34 pontos ao longo das principais vias de acesso que ligam o DF às sedes dos municípios de São João D'Aliança, Alto Paraíso de Goiás, Nova Roma, Teresina de Goiás, Cavalcante, Minaçu e Colinas do Sul (Figura 2).

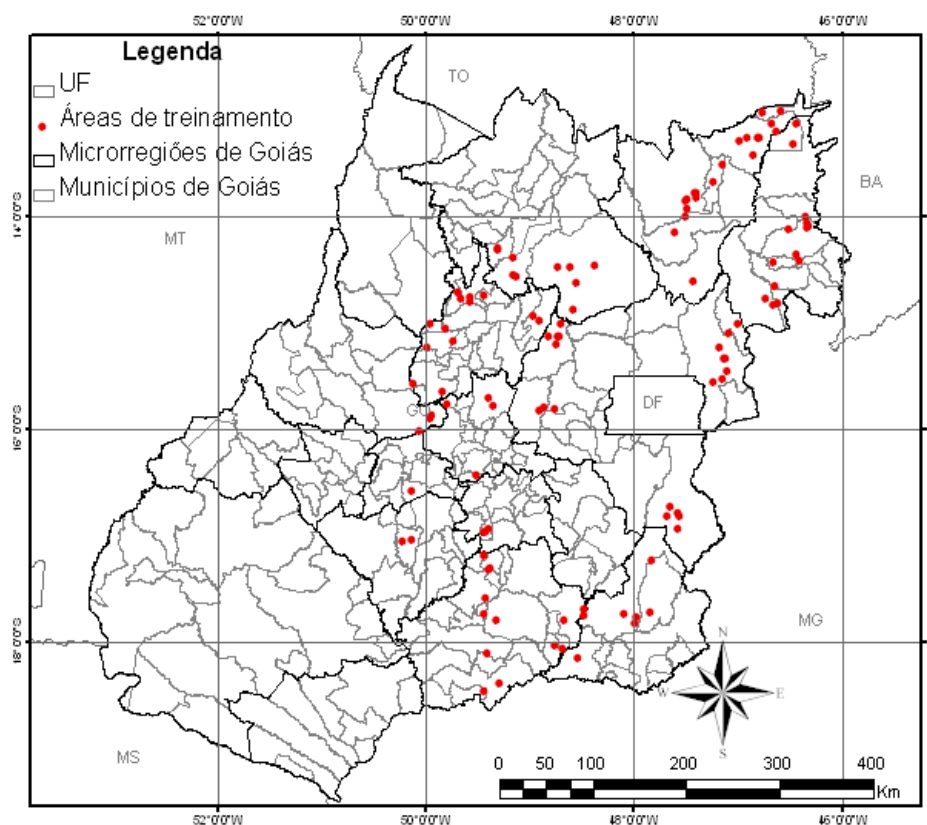


Figura 1. Pontos visitados nas três expedições realizadas no Estado de Goiás para coleta das coordenadas geográficas das áreas de treinamento do classificador ISOSEG.

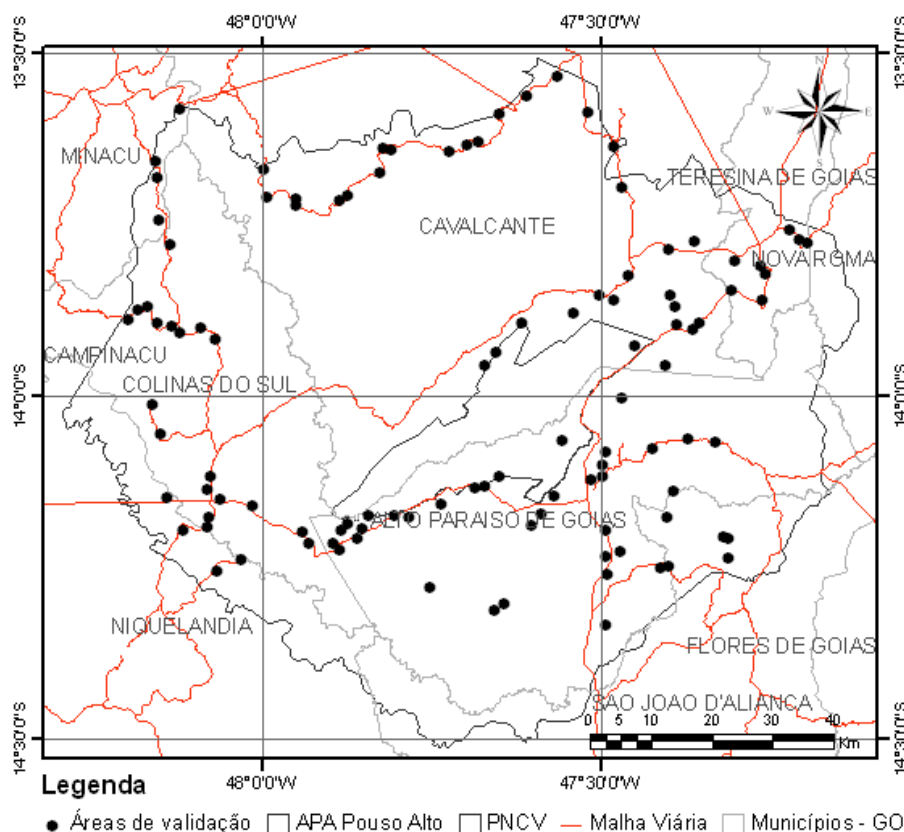


Figura 2. Pontos verificados em campo na expedição realizada na APA Pouso Alto – Goiás para cálculo de erro de mapeamento de Cerrado Rupestre.

O mapa de declividade da área foi gerado a partir da ferramenta *Slope* disponível no ENVI 4.3. Foram consideradas seis classes de declividade, conforme o Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2005). O mapa altimétrico foi obtido pela ferramenta *Density Slice*, também disponível no aplicativo ENVI 4.3. Os valores mínimo (180 m) e máximo (1.703 m) foram aproximados para 200 m e 1.700 m, respectivamente, para então gerar 15 cotas de 100 m em 100 m. Com base nesses mapas, foram obtidos os padrões de declividade e de altitude das áreas visitadas.

As imagens LANDSAT foram processadas por meio de segmentação por crescimento de regiões que está disponível no aplicativo SPRING 4.3.2, com os valores 15 – 15 para os limiares de similaridade e de área. Além da análise visual, as imagens foram classificadas utilizando-se o classificador ISOSEG. Este algoritmo agrupa regiões a partir da medida de similaridade entre elas, dada pela distância Mahalanobis entre a classe e as regiões candidatas à relação de pertinência com esta classe (Moreira, 2005). O ISOSEG ordena as regiões em ordem decrescente de área agrupando-as em classes cujo valor central é obtido pela média e matriz de covariância (Câmara *et al.*, 1996).

Foram utilizados ainda três filtros para exclusão de áreas indesejadas, considerando as características geológicas, geomorfológicas e de declividade de ocorrência de Cerrado Rupestre, conforme atestado pelo Dr. Bruno Walter da Embrapa Cernagen (*comunicação pessoal*). Foram desconsideradas todas as áreas classificadas como Cerrado Rupestre que se sobrepuseram à classe geomorfológica denominada Plano; à geológica de Calcário; e às áreas de declividade inferior a 8%. O arquivo vetorial resultante foi adequado para escala de mapeamento por meio da eliminação de todos os polígonos que apresentaram área ≤ 4 ha. Esse procedimento evita o efeito visual negativo dado por essas áreas.

A validação do processo de identificação das áreas de Cerrado Rupestre baseou-se numa amostragem de área visitada em campo relacionando-as às áreas identificadas na imagem

(Moreira, 2005). O sistema de amostragem adotado foi o aleatório simples cujo pressuposto é que todas as áreas têm igual probabilidade de serem visitadas (Péllico-Netto e Brena, 1997; Felfili e Rezende, 2003). Neste caso, rotulou-se cada área mapeada e depois sorteou-se as que fariam parte da amostra. O número de amostras necessárias para se obter uma análise confiável de erro de mapeamento, quando obtido pelo método de classificação não-supervisionada, é de 1,75% do total de polígonos mapeados, conforme proposto por Rocha (1992). Na APA Pouso Alto, foram visitados 34 pontos na campanha de campo conduzida em maio de 2008 (1,75% de 1.925 polígonos identificados como Cerrado Rupestre na referida APA). É importante ressaltar que houve necessidade de adaptação desse método devido a dificuldades de acesso à maioria dos polígonos mapeados. A partir de um raio de 1 km ao longo das vias de acesso, foram identificados 91 pontos passíveis de serem examinados no campo, dos quais foram sorteados 34 pontos por meio da função *aleatório*, disponível no aplicativo MS Excel™. A partir da relação entre os dados de campo e da imagem, foi calculado o Índice de Exatidão Global, que é a relação entre o número total de acertos e o número total de pontos amostrados (Brites, 1996).

3. Resultados e Discussão

Pela classificação visual das imagens LANDSAT ETM+ houve confusão em termos tonais, texturais e de forma entre as fitofisionomias Cerrado Rupestre, Cerrado sentido restrito, Mata Seca Decídua e Mata Seca Semidecídua, que ocorreram associados a relevo movimentado (Figura 3). Conforme comentado ao longo deste estudo, as duas primeiras fitofisionomias pertencem à formação savânica e as duas últimas à formação florestal. Apesar disso, elas podem ter sido confundidas em termos espectrais provavelmente porque essas formações florestais são caducifólias, aproximando aos limites sugeridos para as formações savânicas.

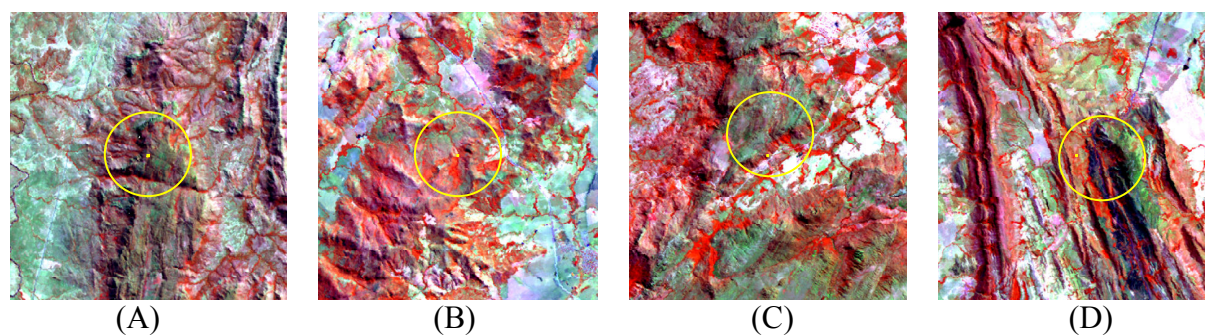


Figura 3. Exemplos de tonalidades, texturas e formas de áreas de ocorrência de Cerrado Rupestre (A), Cerrado sentido restrito (B), Mata Seca Semidecídua (C) e Mata Seca Decídua (D).

Com relação aos valores digitais, pela análise banda a banda do sensor LANDSAT ETM+, não houve separação das quatro classes em nenhuma das três bandas (Figura 4). Liu (2007) observou cenário semelhante ao analisar e identificar assinaturas espectrais de quatro tipos de vegetação, denominadas como mata ciliar, floresta nativa, gramíneas verde-escuras e gramíneas verde-claras, utilizando as oito bandas do sensor LANDSAT ETM+. Segundo o autor, o comportamento espectral dos alvos analisados foi praticamente indiferente, dificultando a diferenciação entre eles. Neste estudo, a banda 4 foi a única que apresentou maior variação dos valores encontrados, indicando-a como possível banda-chave para distinção dos diferentes tipos vegetacionais, principalmente aqueles com maior dificuldade de identificação nas imagens de satélites.

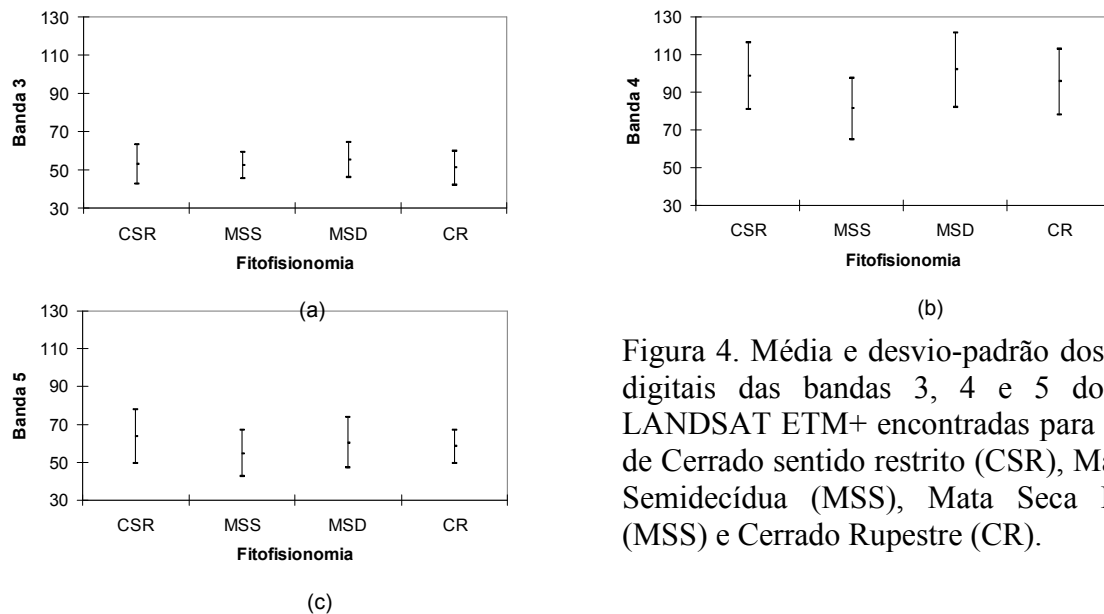


Figura 4. Média e desvio-padrão dos valores digitais das bandas 3, 4 e 5 do sensor LANDSAT ETM+ encontradas para as áreas de Cerrado sentido restrito (CSR), Mata Seca Semidecídua (MSS), Mata Seca Decídua (MSS) e Cerrado Rupestre (CR).

A relação entre os valores digitais das bandas 3 e 4 (Figura 5) indica ausência de separabilidade espectral entre as classes Cerrado Rupestre, Cerrado sentido restrito sobre solo profundo, Mata Seca Semidecidual e Mata Seca Decidual. A concentração de pontos próxima da linha diagonal 1:1 mostra que os extratos herbáceos que compõem as quatro fitofisionomias em questão apresentavam-se predominantemente secos, na ocasião em que foram tomadas as imagens. Quando o dossel é predominantemente verde, a tendência é de que os pontos afastem-se perpendicularmente à linha 1:1, concentrando-se próximo do canto superior esquerdo do gráfico (Huete *et al.*, 1997). Liu (2007) observou cenário semelhante ao analisar e identificar assinaturas espectrais de quatro tipos de vegetação, denominadas como mata ciliar, floresta nativa, gramíneas verde-escuras e gramíneas verde-claras, utilizando as oito bandas do sensor LANDSAT ETM+. Segundo o autor, o comportamento espectral dos alvos analisados foi praticamente indiferente, dificultando a diferenciação entre eles. Neste estudo, a banda 4 foi a única que apresentou maior variação dos valores encontrados, indicando-a como possível banda-chave para distinção dos diferentes tipos vegetacionais, principalmente aqueles com maior dificuldade de identificação nas imagens de satélites.

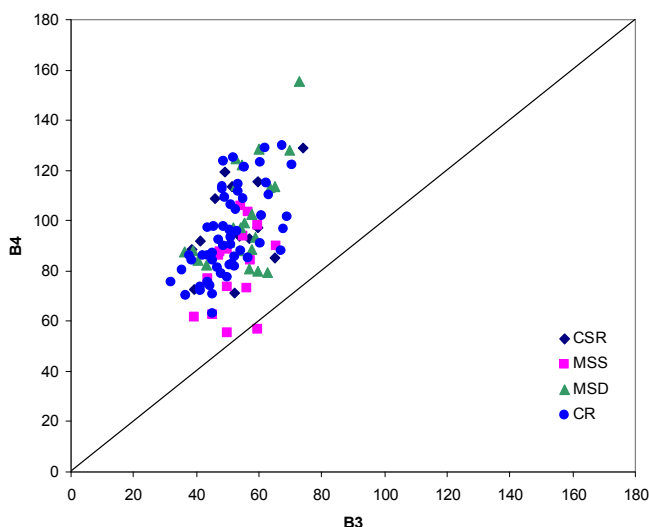


Figura 5. Relação entre os valores digitais das bandas 3 e 4 do LANDSAT ETM+ obtidos em áreas de Cerrado sentido restrito (CSR), Mata Seca Semidecídua (MSS), Mata Seca Decídua (MSD) e Cerrado Rupestre (CR).

Os resultados obtidos pelas análises que envolveram uma, duas ou três bandas desse sensor não demonstraram possibilidade de separar as classes de Cerrado Rupestre, Cerrado sentido restrito, Mata Seca Decídua e Mata Seca Semidecídua, com base na análise *pixel a pixel*. Assim, classificadores que se baseiam nesse tipo de análise, como Maxver e K-Médias não são indicados quando se deseja obter mapas de Cerrado Rupestre. Contudo, a utilização de classificadores orientados a objetos, que utilizam além das informações espectrais as características texturais, como é o caso dos segmentadores, possibilitam a extração dessas classes.

Outros autores também encontraram confusões espectrais entre fisionomias do Cerrado. Mantovani e Pereira (1998) mencionaram confusão entre Campo Limpo e pastagem e entre Matas Secas e Cerradão em imagens LANDSAT TM. Scaramuzza *et al.* (2006) encontraram confusão espectral entre Savana Parque ou Savana Gramíneo-Lenhosa que ocorrem em Neossolos Litólicos e Cambissolos, com áreas antropizadas e pastagens antropizadas; entre áreas de Cerradão e Matas Secas Deciduais e Semideciduais; e novamente Cerradão e capoeiras em estágio avançado de desenvolvimento. Embora haja diferença entre as legendas adotadas percebe-se nos estudos que as confusões espectrais podem ocorrer entre áreas que se assemelham em fisionomia e substrato e também entre áreas com uso bem diferenciado como Savana Parque sobre Neossolos Litólicos e áreas degradadas (Scaramuzza *et al.*, 2006).

O classificador ISOSEG gerou de 20 a 58 “*gridcodes*” por carta 1:100.000. Essa alta variação pode estar relacionada ao fato de o classificador se basear tanto em aspectos tonais quanto texturais da imagem (Câmara *et al.*, 1996). Em áreas com relevo mais movimentado, e/ou diferentes tipos de uso do solo, o número de classes era mais alto. Assim, para uma mesma classe foi dado *gridcode* diferente por estarem em cartas diferentes. Isso resultou na necessidade de análise visual carta a carta, para mapeamento das classes que poderiam corresponder aos ambientes rupestres.

A análise visual imagens LANDSAT somada à eliminação das áreas de ocorrência de calcário, de dissecação plana, com declividade de 3% a 8% e menores que 4 ha, possibilitaram a identificação de 1.925 polígonos variando de 4 ha a 7.476 ha de áreas de Cerrado Rupestre (Figura 5). Isso corresponde à uma área de 128.545 hectares, ou 14% da área contínua formada pela APA Pouso Alto e PNCV. Tais áreas encontram-se distribuídas ao longo de toda a área-teste, com exceção de um grande vazio situado no sul dos municípios de Cavalcante e Nordeste de Colinas do Sul.

O índice de exatidão global do mapeamento das áreas de Cerrado Rupestre na APA Pouso foi de 76%. Dos 34 pontos visitados, foram encontradas áreas de Cerrado Rupestre em 26 deles. Os demais corresponderam a Matas Secas e Cerrado sentido restrito, além de uma área com Campo Sujo que somente se revelou aqui. Isso indica que possivelmente áreas de Cerrado Rupestre também possam ser confundidas com Campos Sujos em imagens Landsat. Este índice está acima dos 74% obtido por Brasil (2007), no mapeamento da cobertura vegetal do bioma Cerrado. Neste último estudo, dos 22 pontos mapeados como Savana Parque, 11 corresponderam a áreas de Savanas Arborizadas, Florestas Estacionais e Savana Florestada, ou seja, as mesmas classes que apresentaram confusões de mapeamento no presente estudo. O mapa produzido por Brasil (2007) é o mapa oficial de cobertura vegetal do bioma Cerrado, apresentado confiabilidade nos resultados.

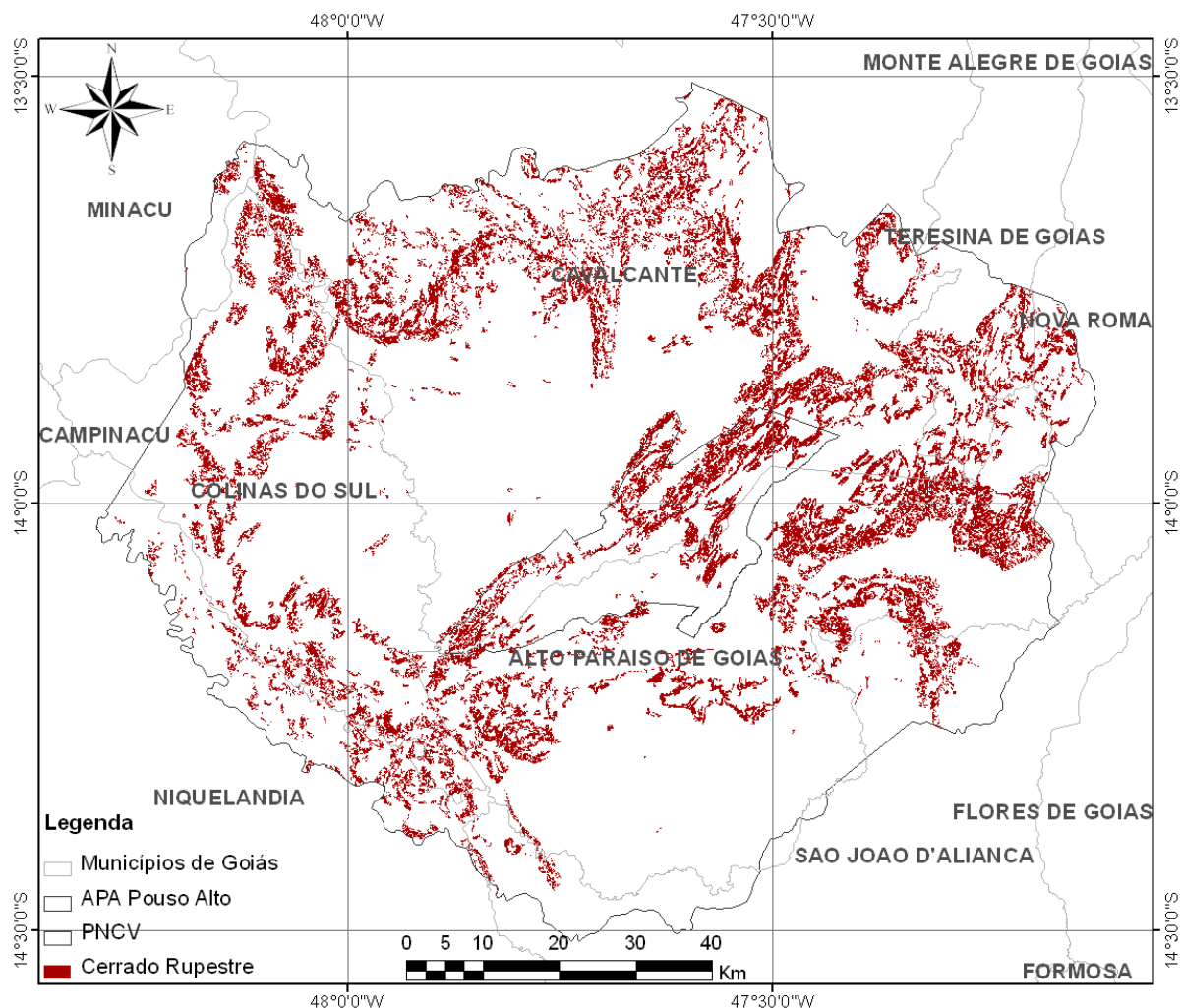


Figura 5. Mapa de ocorrência de Cerrado Rupestre na APA Pouso Alto e PNCV.

4. Conclusão

O Cerrado Rupestre ocupa aproximadamente 128.000 ha da área contínua formada pela Área de Proteção Ambiental Pouso Alto e Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Isso representa 18,4% da área total estudada (695.430 ha). Estas áreas ocorrem espalhadas em toda área da APA, onde há relevo acidentado e áreas declivosas.

Não foi possível mapear áreas de Cerrado Rupestre por meio da análise isolada de imagens LANDSAT. Contudo, o uso integrado das imagens e de informações de geomorfologia, geologia e topografia resultou no mapeamento com exatidão global de 76% para a área contínua, formada pela Área de Proteção Ambiental Pouso Alto e Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

Referências Bibliográficas

Benites, V. M.; Caiafa, A. N.; Mendonça, E. S.; Schaefer, C. E.; Ker, J. C. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e Espinhaço. *Floresta e Ambiente*, v. 10, n. 8, p 76 – 85. 2003.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Edital Probio 02/2004. Projeto executivo B.02.02.109. **Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: relatório final**. Brasília, DF, 2007. 93 p.

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

Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. (1996). SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers e Graphics.** 20: (3) 395-403.

Felfili, M. J.; Rezende, R. P. Conceitos e métodos em fitossociologia. **Comunicações Técnicas Florestais**, v. 5, n. 1. p. 18 - 30. 2003.

Ferri, M. G. **Vegetação brasileira.** São Paulo: USP, 1980. 157p.

Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W. A. Comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440-451. 1997.

IBGE. **Manual técnico de pedologia.** Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2ª ed. 2005. 300p.

Kent, M.; Coker, P. **Vegetation description and analysis. A practical approach.** London: Belhan Press. 1992. 363p.

Lima, C. A. **O Cerrado Rupestre no Estado de Goiás com base em imagens Landsat ETM+.** 2008. 116p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

Mantovani, J. E.; Pereira, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal de Cerrado através de dados TM/LANDSAT. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 9., 1998, Santos. **Anais...São José dos Campos: INPE**, 1998. Artigos, p. 1455-1466. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-0015-3. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2004/08.11.17.13>. Acesso em: 15 fev. 2008.

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** Viçosa: UFV, 3ª ed. 2005. 320p.

Moura, I. O.; Gomes-Klein, V. L.; Felfili, J. M.; Ferreira, H. D. Fitossociologia de Cerrado sensu stricto em afloramentos rochosos no Parque Estadual dos Pirineus, Pirenópolis, Goiás. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p 399 - 401. 2007.

Péllico-Netto, S.; Brena, D. A. **Inventário Florestal**, Curitiba: UFPR. 1997. 316p.

Reatto, A.; Correia, J. R.; Spera, S. T. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. p 47 – 88.

Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. (Eds.) **Cerrado: ambiente e flora.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. p 89 – 166.

Rizzini, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos.** Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, 1997. 747 p.

Sano, E.E.; Dambrós, L.A.; Oliveira G.C.; Brites, R.S. Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás. In: Ferreira Júnior, L. G. (Eds.) **Conservação da biodiversidade e sustentabilidade ambiental em Goiás: prioridades, estratégias e perspectivas.** Goiânia: UFG, 2006. p.76–93.

Scaramuzza, C. A. M.; Machado, R. B.; Rodrigues, S. T.; Ramos Neto, M. B.; Pinagé, E. R.; Diniz Filho, J. A. Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade em Goiás, In: Ferreira Júnior, L. G. (Eds.) **Conservação da biodiversidade e sustentabilidade ambiental em Goiás: prioridades, estratégias e perspectivas.** Goiânia: UFG, 2006. p. 11–59.

Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais - IBGE, 1991. 124p.