

ANÁLISE DA PAISAGEM DO MACIÇO DE CANA BRAVA PELO EMPREGO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.

Thiago Avelar Chaves¹ Osmar Abílio de Carvalho Júnior¹ Roberto Arnaldo Trancoso Gomes¹ Renato Fontes Guimarães¹ Robson Veloso Ribeiro Sodré¹ Wátila Portela Machado¹ Sandro Nunes de Oliveira¹

¹Universidade de Brasília - UnB/GEA/Lsie
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900, Brasília, DF, Brasil.
thiagochvs@gmail.com; {robertogomes, osmarjr, renetofg}@unb.br;
alinemenke@yahoo.com.br

Recebido 10 de junho de 2007, revisado 12 de julho, aceito 11 de agosto

Resumo: No presente trabalho, é proposto analisar a relação dos dados geológicos e morfométricos com as unidades vegetais detectadas pelo processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. A área de estudo, o Complexo de Cana Brava, encontra-se na porção norte do Estado de Goiás. A fisionomia da vegetação no Maciço de Cana Brava apresenta forte controle geológico. O avanço dos estudos da vegetação através de sensores remotos permitiu uma redução nos custos e tempo de análise de grandes áreas. A metodologia adotada no trabalho pode ser dividida nas seguintes etapas: (A) Pré-processamento da imagem ASTER; (B) Aplicação do *Normalized Difference of Vegetation Index* e classificação espectral a partir do *Spectral Angle Mapper*; (C) Distinção das diferentes unidades fitofisionômicas a partir de uma sucessão de máscaras sobre a imagem ASTER; (D) Processamento da imagem ASTER DEM; e (E) Cruzamento dos dados morfométricos com o mapa de vegetação da área de estudo. Esses procedimentos permitiram identificar padrões na paisagem da área de estudo.

Palavras-chave: ASTER, Classificação Espectral, Dados Morfométricos, Cerrado, Geologia, Fitofisionomia.

Abstract: The present work aims to evaluate the relation of geologic and morfometric data with vegetation physiognomy data acquired from remote sensing digital images.

The distribution and physiognomy of vegetation in the Cana Brava Massif shows strong geological control. The improvement of the studies on vegetation by using optical remote sensing techniques has allowed to increase the operational speed and to decrease the cost of total coverage of wide areas. The methodology used can be divided into five stages: (A) Pre-processing of ASTER image; (B) Application of Normalized Difference of Vegetation Index and spectral classification based on the Spectral Angle Mapper; (C) Distinction of vegetation physiognomy based on a series of masks applied over the ASTER image; (D) Processing of the ASTER DEM image; and (E) Correlating morfometric data with the study area vegetation map. These procedures allowed the identification of landscape patterns on the study area.

Keywords: ASTER, Spectral Classification, Morfometric Data, Cerrado, Geology, physiognomy of vegetation

INTRODUÇÃO

Diversas pesquisas têm demonstrado que a vegetação sofre influência por mineralização, litologia e fraturamento de rochas (Chikishev, 1965; Cannon, 1960, 1971; Brooks, 1972). Dentre as características da vegetação que variam tem-se a densidade de vegetação e mudanças em espécies da planta ou em distribuições da comunidade. Os locais com concentrações elevadas de metais pesados, tais como cobre, zinco e níquel podem desenvolver floras originais devido à toxicidade a algumas espécies (Bradshaw *et al.*, 1969; Krukberg, 1969). Em alguns casos, as concentrações de metais nas folhas podem indicar a composição do solo subjacente e, podem ser úteis para prospecção mineral (Brooks *et al.*, 1992).

O cerrado apresenta uma forte dependência edáfica que permite uma

correlação das unidades pedológicas e geológicas com a vegetação (Carvalho *et al.* 2001; Carvalho Júnior *et al.*, 2003).

A distribuição e fisionomia da vegetação nos Maciços Máficos - Ultramáficos do Brasil Central apresenta um forte controle geológico (Brooks *et al.*, 1972). Nessa região, extensas áreas de rochas ultramáficas são cobertas por vegetação herbácea dominada por gramíneas enquanto que sobre as rochas máficas desenvolvem vegetação arbórea.

Desta forma, a vegetação acaba resultando de uma complexa interação que depende de muitos fatores, indo desde a composição do solo, altitude e regimes pluviométricos a intervenção direta do homem através de queimadas intencionais, exploração mineral e atividade agrícola (Brooks *et al.*, 1992).

O geoprocessamento tem demonstrado ser uma ferramenta extremamente útil para o monitoramento dessas alterações. O avanço das ferramentas de SIG e o crescente acesso a dados em meio digital têm favorecido o desenvolvimento de muitos trabalhos baseados no conceito de análise da paisagem com utilização de parâmetros morfométricos (Adediran *et al.*, 2004; Ippoliti *et al.*, 2003; Bocco *et al.*, 2001).

A partir disso, no presente trabalho, é proposto analisar a relação dos dados geológicos e morfométricos com as unidades vegetais detectadas pelo processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.

ÁREA DE ESTUDO

O maciço de Cana Brava localiza-se próximo à cidade de Minaçu-GO, nas coordenadas 13°12'S e 48°14'W, correspondendo a um terreno de formação máfica -ultramáfica (**Figura 1**). O maciço de Cana Brava se situa na subunidade planalto do Alto Tocantins-Paranaíba, do Planalto Central de Goiás tomando a forma de um corpo básico-ultrabásico submeridiano, com aproximadamente 40 Km de extensão e níveis altimétricos de 850m (Solórzano, 1996).

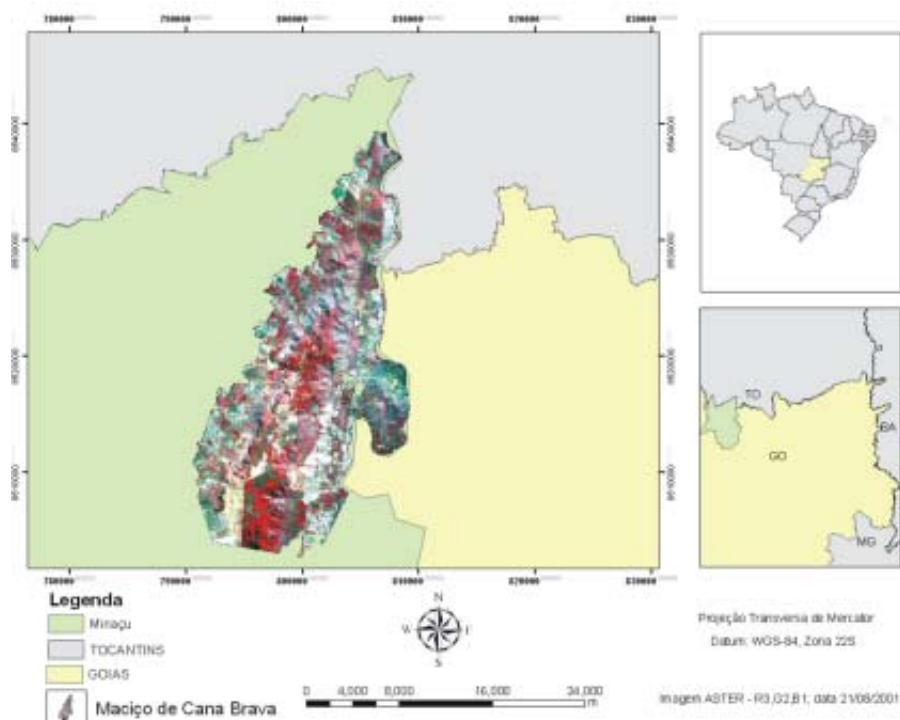


Figura 1: Mapa de Localização da área de Estudo.

De acordo com Almeida *et al.* (1981), o maciço de Cana Brava é uma exposição do Cinturão Granulítico de Goiás. O alforamento de anfibolitos na área é predominante, porém, na porção sudeste do maciço, apresenta a maior porção das rochas ultrabásicas aflorantes (Solórzano, 1996), e na parte norte essa faixa ultrabásica se estreita. O maciço apresenta uma extensa deformação dúctil, onde as maiores deformações estão mais próximas da base do complexo (Lima, 1997). Segundo o projeto RADAM (1981), o maciço de Cana Brava é estruturalmente complexo, muito falhado e dobrado.

Em relação às unidades geológicas (**Figura 2**), a Zona Máfica Superior é a unidade predominante, sendo formado por metagabronoritos e metapiroxenitos; a Zona Máfica Inferior é formada por metanorito e metagabro; a lente ultramáfica, que se localiza entre as duas zonas máficas é composta metadunito e metapiroxenitos (SIEG, 2005).

Já a seqüência Palmeirópolis é formada por anfibolito, grauvaca e brecha vulcânica. O complexo Diorito-Granodiorítico do rio Maranhão é formado por metadiorito e metatonalito (SIEG, 2005). Estas duas unidades não fazem parte do Complexo de Cana Brava, porém, foram de extrema valia para analisar a fitofisionomia da área de estudo, pois estão em contato com as zonas máficas, que apresentam forte controle litológico sobre a vegetação (Brooks *et al.*, 1972).

Em relação à hidrografia, o maciço funciona como um interflúvio dos rios Cana Brava a oeste, e o rio Maranhão a leste. Ao longo do rio Cana Brava são encontrados, principalmente, anfibolitos e localmente gnaisses anfibolíticos e, no rio Maranhão ocorre a predominância de gnaisses quartzo-feldspáticos blastomiloníticos, conforme descrito por Lima (1997).

Segundo Solórzano (1996), com relação à geomorfologia verifica-se na parte norte uma região mais dissecada e, na parte sul, o relevo é mais plano com leve dissecação em formas tabulares.

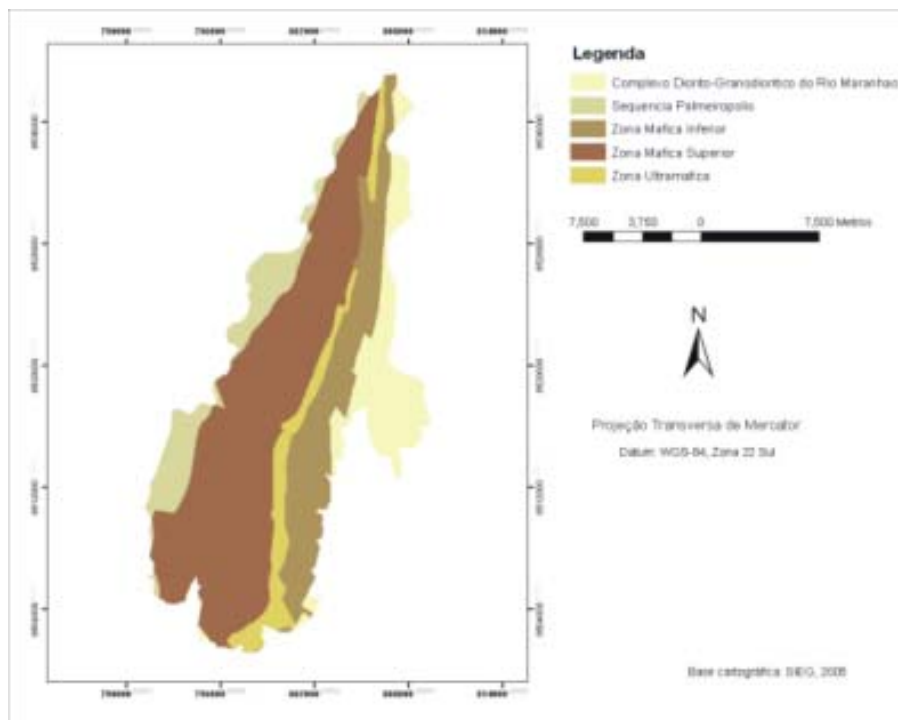


Figura 2: Mapa das unidades geológicas da área de estudo

Com base na carta de uso do solo/cobertura vegetal e vulnerabilidade, elaborado pela Agência Ambiental do Estado de Goiás (2005), os tipos de solos predominantes no Complexo de Cana Brava são o Argissolo Vermelho-Amarelo na porção centro-norte do complexo; o Chernossolo na região centro-sul do complexo; e o Cambissolo na região sudeste do complexo (**Figura 3**).

Em relação à vegetação, a área localiza-se nos domínios de cerrado, bastante fragmentada, conforme descrito por Brooks *et. al.* (1992).

O clima é caracterizado pela presença de invernos secos e verões chuvosos, um clima Aw segundo a classificação de Köppen. A média anual da precipitação é da ordem de 1500 mm, variando de 700 a 2000mm, praticamente concentrada na estação chuvosa (outubro a março) (Ad´amoli *et al.*, 1987).

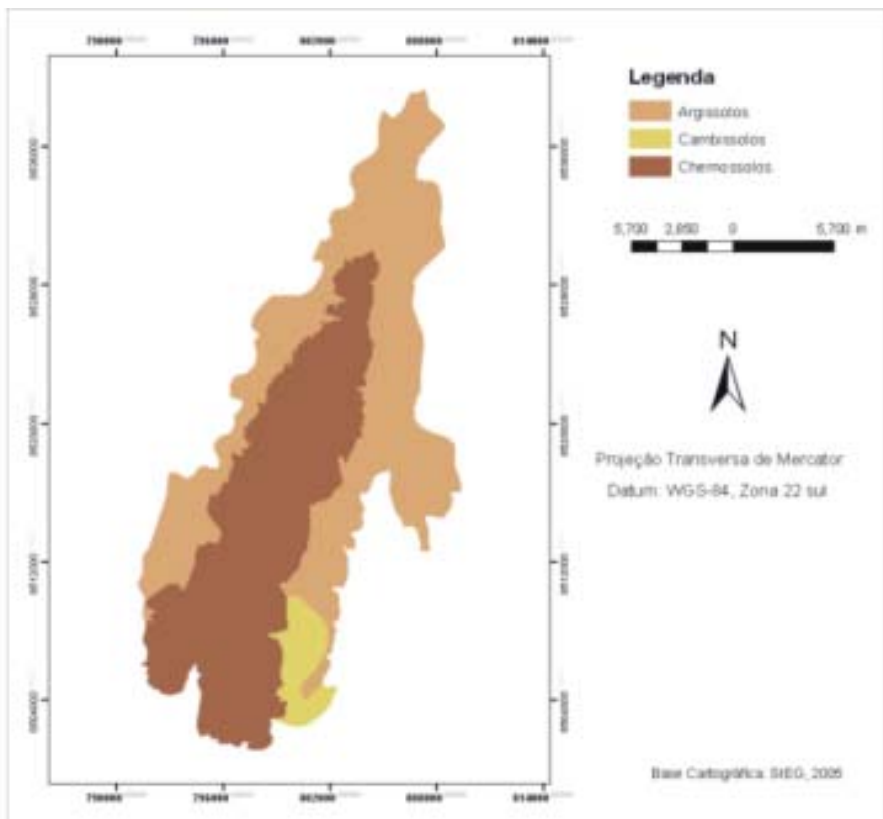


Figura 3: Mapa de solos da área de estudo.

METODOLOGIA

A metodologia adotada no trabalho pode ser dividida nas seguintes etapas: (A) Pré-processamento da imagem ASTER; (B) Aplicação do Normalized Difference of Vegetation Index (NDVI) e classificação espectral a partir do Spectral Angle Mapper (SAM); (C) Distinção das diferentes unidades fitofisionômicas a partir de uma sucessão de máscaras sobre a imagem ASTER; (D) Processamento da imagem ASTER DEM; e (E) Cruzamento dos dados morfométricos com o mapa de vegetação da área de estudo.

Pré-processamento da Imagem ASTER

A fase de pré-processamento se iniciou com a junção entre as bandas dos sensores VNIR e SWIR, onde a resolução espacial do segundo foi restabelecida de 30 metros para 15 metros. A imagem foi recortada de modo que somente o Maciço de Cana Brava permanecesse na imagem.

E, por fim, foi corrigida a órbita da imagem para que ela ficasse direcionada para o norte geográfico. Como não existem muitas imagens disponíveis do Maciço, foi utilizada apenas uma imagem no período seco (datada em 2001-08-21).

Aplicação do NDVI e classificação espectral a partir do SAM

Os índices medidos pelo NDVI servem como indicadores do crescimento e do vigor de vegetação verde e podem ser utilizados no diagnóstico de vários parâmetros biofísicos (Ponzoni, 2001). Neste trabalho, com a aplicação do NDVI foi possível identificar a variação da densidade da vegetação, onde, a vegetação de maior densidade está representada pelos altos valores e a de menor densidade pelos baixos valores.

A partir disso, foram definidas regiões de interesse (ROI's) com base na reflectância do NDVI. A partir desses ROI's, foi realizada a classificação espectral pelo método SAM. Esse classificador mede a similaridade entre os espectros da imagem de entrada com espectros de referência, tratando ambos como vetores de n dimensões, em que n é o número de bandas da imagem (Kruse *et al.*, 1993). O SAM permitiu uma classificação com base na variação da densidade da vegetação, ou seja, a variação do dossel dos alvos. Porém, algumas classes de vegetação não foram distinguidas, surgindo a necessidade de uma classificação mais apurada.

Distinção das Diferentes Unidades Fitofisionômicas a partir de uma Sucessão de máscaras sobre a imagem ASTER

Foi feito então uma sucessão de máscaras sobre a imagem com o objetivo de separar as três classes de vegetação não distinguidas pelo SAM: formações campestres; áreas degradadas e áreas de pastagens. Primeiramente foi utilizada a análise das principais componentes em cada uma dessas classes separadamente para visualização. A partir dessa análise, foi feito o fatiamento dessas classes em intervalos, permitindo que o Mapa de Vegetação e Uso do Solo fosse elaborado, tendo como base de comparação o Mapa de Uso/Cobertura Vegetal e Vulnerabilidade elaborado pelo SIEG (2005).

Processamento da Imagem ASTER DEM

A imagem ASTER DEM é gerada a partir de um estereopar de imagens ASTER (Hirano *et al.*, 2002), formando um Modelo Digital de Elevação (MDE). A imagem utilizada neste trabalho é da data 21/08/2001, referente ao período de tempo seco.

A imagem ASTER é muito susceptível a presença de ruídos necessitando de um tratamento específico para minimizá-los. No presente trabalho, a metodologia para o tratamento de ruído foi definida com os seguintes passos: (a) individualização dos corpos de água; (b) detecção de valores anômalos ruidosos por meio da subtração entre a imagem original e a imagem filtrada; (c) interpolação pelo método de krigagem; (d) interpolação pelo método Topogrid.

Como os corpos de água são caracterizados como áreas ruidosas, primeiramente, essas áreas foram isoladas pelo emprego de uma máscara. Com objetivo de detectar pontos anômalos foi realizada uma subtração da imagem original pela imagem filtrada. Assim, os valores entre -5 e 5 foram eliminados da imagem. A **Figura 4** representa o fluxograma dessa etapa do trabalho.

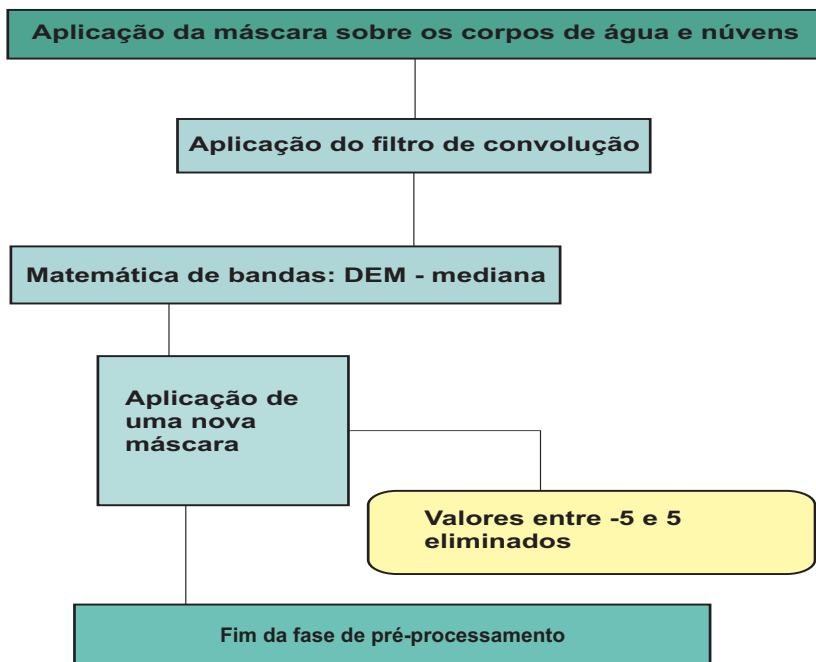


Figura 4: Fluxograma da etapa de pré-processamento da imagem ASTER DEM

Com a eliminação dos pontos ruidosos foi feita uma interpolação dos dados de elevação pelo método krigagem, que se baseia em modelos estatísticos da variabilidade espacial, ajustados à realidade apresentada pela amostra de pontos conhecidos (Valeriano, 2002). Na interpolação por krigagem, a superfície pode flutuar em torno dos valores observados de altimetria. Isso faz com que, a variação altimétrica entre os valores de altitude dos divisores e as drenagens diminua (Valeriano, 2002).

Posteriormente, utilizou-se o método de interpolação TOPOGRID que foi projetado para criar um modelo topográfico digital voltado para a hidrologia, empregando uma técnica de interpolação por diferenças finitas, em que se combina a eficiência de uma interpolação local (por exemplo, o método do inverso do quadrado da distância), com métodos de interpolação global que utilizam uma superfície de continuidade, como o interpolador kriging (ESRI, 1993). Desta forma, esse interpolador permite introduzir no Modelo Digital de Terreno (MDT) feições referentes aos canais de drenagem. Para que essa etapa pudesse ser concluída foi necessária a vetorização da drenagem, feita em ambiente *Arcview*, sobre uma imagem ASTER da área de estudo. Além disso, a direção do fluxo de drenagem foi corrigida em ambiente *Arcinfo*.

Cruzamento de Dados

O cruzamento de dados foi feito em ambiente ENVI onde, foram feitas uma sucessão de máscaras aplicadas ao MDT (**Figura 5**) a partir das classes fitofisionômicas, classes de uso (**Figura 7**) e, unidades geológicas (**Figura 2**), permitindo uma análise do histograma de frequência de altimetria para identificar os padrões fitofisionômicos.

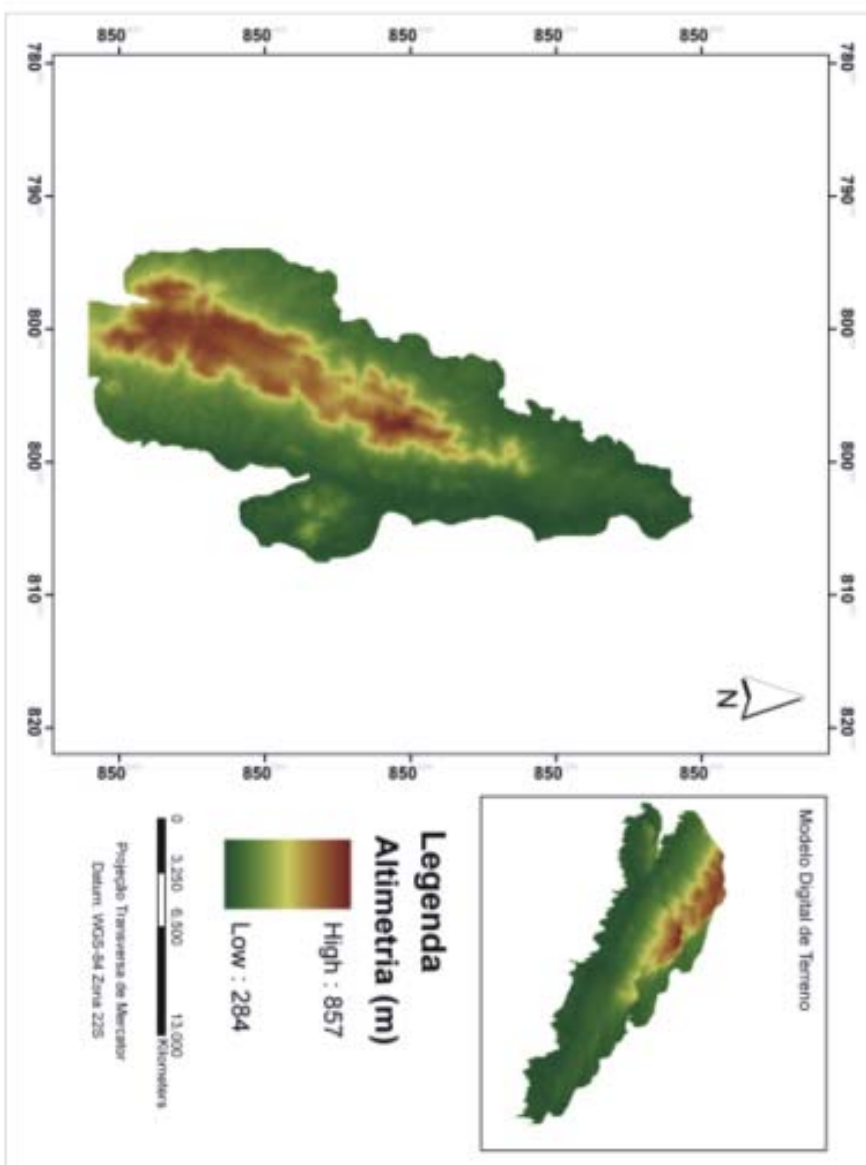


Figura 5: Mapa altimétrico da área de estudo

RESULTADOS

A partir do tratamento da imagem ASTER, foi possível verificar as classes espectrais da vegetação a partir do detalhamento do SAM (Figuras 6 e 7), permitindo a elaboração do mapa de vegetação e uso do solo na área de estudo (Figura 4).

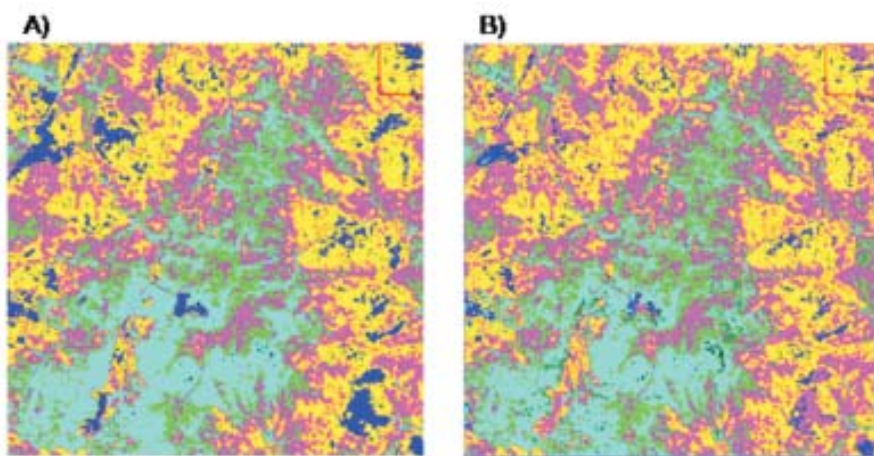


Figura 6: A) Imagem do SAM; B) Imagem do SAM após detalhamento

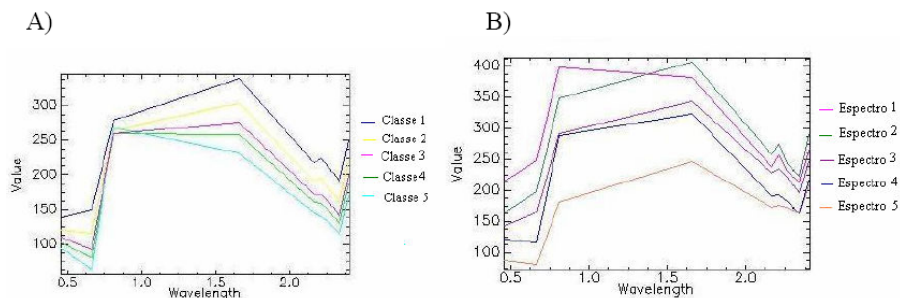


Figura 7: A) Classes espectrais do SAM; B) Classes espectrais geradas após detalhamento da classe 1 (espectros 1, 2 e 5) e da classe 2 (espectros 3, 4 e 5).

O campo limpo e o campo sujo ganham destaque devido à maior ocorrência na área de estudo. O cerradão se localiza principalmente na porção central e na parte sul do maciço. O cerrado strictu sensu é a fitofisionomia com menor expressão podendo ser encontrado principalmente na porção norte, próximo das áreas de cerradão (**Figura 8**).

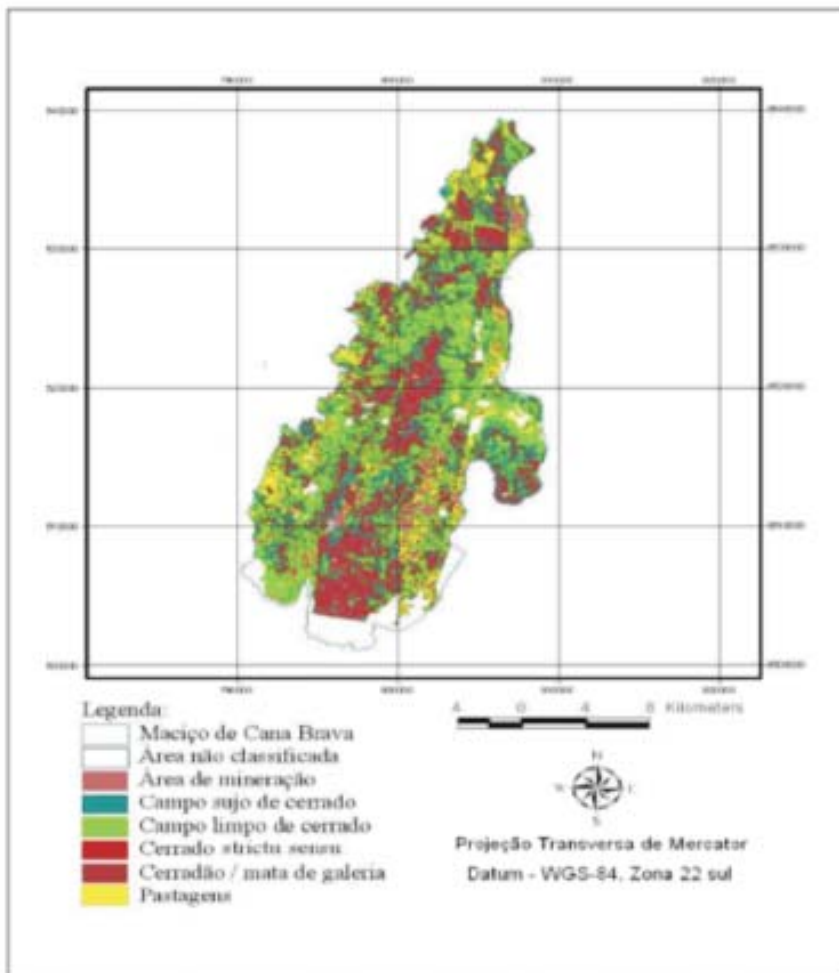


Figura 8: Mapeamento prévio da vegetação e uso do solo na área de estudo

A partir do MDT, foi feita a análise da altimetria em relação à geologia, à fitofisionomia, e ao uso. Na **Figura 9** podemos observar os histogramas de frequência da altimetria em relação a cada unidade geológica da área de estudo. A tabela 1 mostra o percentual de cada unidade geológica em relação à altimetria.

A unidade geológica seqüência Palmeirópolis encontra-se basicamente entre 301 m a 500 m de altitude, sendo que a maior frequência ocorre na classe que varia de 301 a 400 m de altitude, apresentando 82,73% nesta classe altimétrica (**Tabela 1**) e pico de frequência em torno de 370 m (**Figura 9a**). Além disso, esta unidade geológica não apresenta altitudes superiores a 500m.

O Complexo Diorito-Granodiorítico do rio Maranhão tem um comportamento parecido a unidade seqüência Palmeirópolis com a maior frequência na classe de 301 a 400 m (**Tabela 1**). No entanto, a ocorrência desta classe se propaga até a altitude de 600m, com pico de frequência entorno de 310 m (**Figura 9b**).

A zona Ultra-máfica apresenta frequência em quase todas as classes altimétricas sendo que, o seu pico encontra-se em torno de 425 m de altitude (**Figura 9c**). Cabe ressaltar que esta unidade geológica não apresenta ocorrência em altitudes acima de 800 m (**Tabela 1**). Além disso, sua presença ocorre basicamente até a altitude de 500 m.

A zona Máfica Superior apresenta a maior frequência na classe que varia de 701 a 800 m (21,78%) (**Tabela 1**). Esta classe apresenta uma pequena queda de frequência na classe que varia de 401 a 500 m. Além disso, ocorre uma queda brusca da frequência a partir de 800 m (**Figura 9d**). Esta unidade geológica é a única que apresenta ocorrência em todas as classes altimétricas.

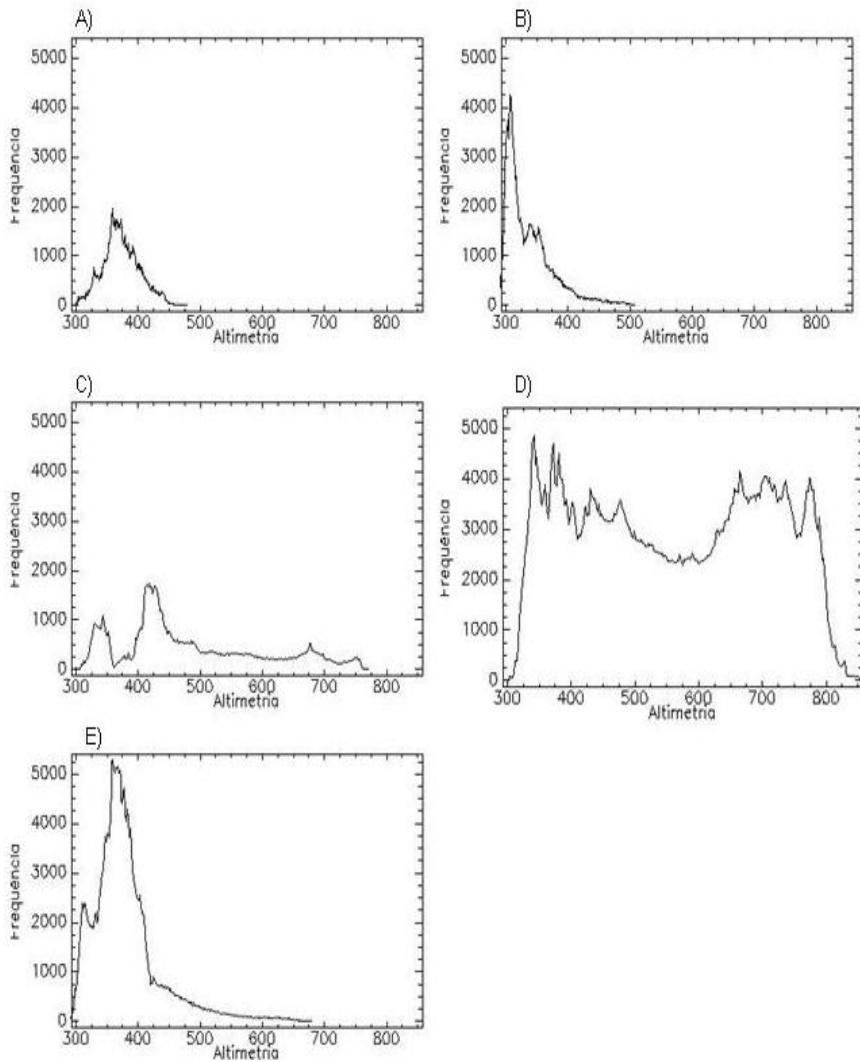


Figura 9: Histograma de frequência das unidades geológicas: A) Sequência Palmeirópolis; B) Complexo Diorito-Granodiorítico do Rio Maranhão; C) Zona Ultra-Máfica; D) Zona Máfica Superior; e E) Zona Máfica Inferior.

A zona Máfica Inferior apresenta maior frequência na classe que varia de 301 a 400m (77,58%) (**Tabela 1**), com o pico de frequência em 375m, com pouca expressividade acima de 425m. Além disso, sua ocorrência é até a altitude de 600 m (**Figura 9e**).

A comparação entre as unidades fitofisionômicas com a altimetria permite observar os seguintes fatores (**Figura 10**). A **Tabela 2** mostra a frequência de cada unidade fitofisionômica em relação à altimetria.

Tabela 1: Frequência das classes de geologia em relação à altimetria.

	Abaixo de 300m	301 a 400m	401 a 500m	501 a 600m	601 a 700m	701 a 800m	Acima de 801m
Seqüência Palmeirópolis	0.07%	82.73%	17.20%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Complexo Diorito-Granodiorítico do Rio	10.37%	82.73%	6.89%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%
Zona Ultra-máfica	0.03%	20.57%	45.37%	15.46%	13.47%	5.04%	0.00%
Zona Máfica Superior	0.01%	19.08%	20.76%	16.05%	21.09%	21.78%	1.29%
Zona Máfica Inferior	0.58%	77.58%	18.37%	3.46%	0.00%	0.00%	0.00%

O cerrado strictu sensu encontra-se principalmente nas menores altitudes (**Figura 8a**), com maior frequência na classe entre 301 e 400m (50,81%) (**Tabela 2**). Nas demais classes altimétricas, este tipo de vegetação se distribuí homogeneamente (**Figura 10a**).

O campo limpo apresenta sua maior frequência na classe de 301 a 400 m (51,85%) (**Tabela 2**), sendo que, seu pico de frequência ocorre em torno de 375 m e, a partir de 400 m, sua ocorrência reduz gradualmente (**Figura 10b**).

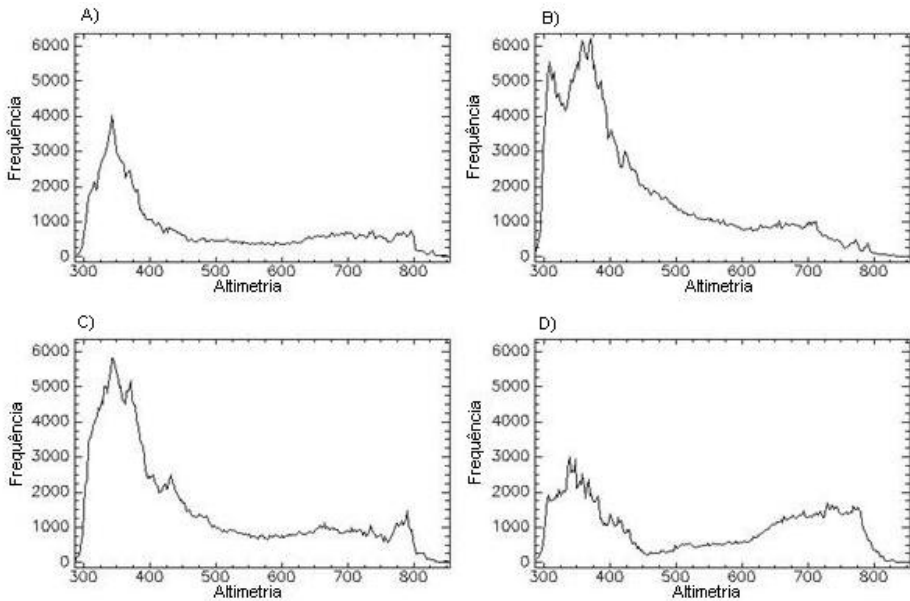


Figura 10: Histogramas de freqüência das classes fitofisionômicas – a) Cerrado *strictu sensu*; b) Campo limpo de cerrado; c) Campo sujo de cerrado; d) Cerradão/ mata galeria.

Tabela 2: Frequência das classes de vegetação em relação às classes altimétricas.

	Abaixo de 300m	301 a 400m	401 a 500m	501 a 600m	601 a 700m	701 a 800m	Acima de 800m
Cerrado Strictu Sensu	0.21%	50.81%	13.95%	9.01%	11.84%	12.98%	1.14%
Campo Limpo	1.56%	51.85%	21.81%	10.92%	8.86%	4.79%	0.21%
Campo Sujo	0.46%	49.62%	19.49%	9.38%	10.21%	10.06%	0.74%
Cerradão/mata galeria	0.55%	36.00%	9.90%	9.69%	18.94%	24.06%	0.89%

O campo sujo apresenta comportamento parecido às classes fitofisionômicas anteriores com grande frequência nas baixas altitudes (**Figura 10c**). As classes Abaixo de 300 m e Acima de 800 m são as de menor frequência (**Tabela 2**). Além disso, esta classe se distribui homogeneamente na faixa que varia de 401 a 800 m, com queda brusca na frequência acima disso.

Por último, a classe cerradão/mata de galeria apresenta uma frequência entre as classes altimétricas bastante parecidas (**Figura 10d**) sendo que, a maior frequência também se encontra na classe de 301 a 400 m com a classe de 701 a 800 m apresentando uma frequência bem próxima da classe de 301 a 400 m (**Tabela 2**).

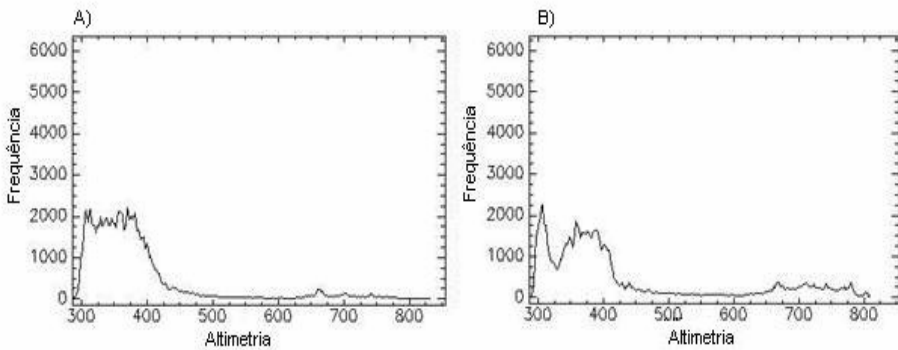
Comparando-se a altimetria com as classes de uso do solo, obteve-se as seguintes informações com relação à frequência (**Figura 11**). A **Tabela 3** mostra a frequência das atividades de mineração e pecuária em relação à altimetria.

As áreas de pastagens concentram-se basicamente na classe de 301 a 400 m com 78% (**Tabela 3**). A segunda classe de maior ocorrência é a de 401 a 500 m. A ocorrência nas demais classes é bastante pequena (**Figura 11a**).

As áreas de mineração encontram-se principalmente na faixa altimétrica que varia de 301 a 400 metros de altitude (65,50%) (**Tabela 3**). Acima disso, ocorre uma queda na frequência no intervalo que varia de 425 a 650 metros, para depois ocorrer um pequeno aumento dessa frequência na faixa que varia de 650 a 775 metros de altitude. (**Figura 11b**).

Tabela 3: Frequência das classes de uso em relação à altimetria.

	Abaixo de 300m	301 a 400m	401 a 500m	501 a 600m	601 a 700m	701 a 800m	Acima de 800m
Pastagens	1.78%	78.01%	13.38%	1.60%	3.00%	0.22%	0.04%
Mineração	4.00%	65.50%	14.39%	3.23%	7.00%	9.61%	0.26%

**Figura 11:** Histogramas de frequência das classes de uso do solo: a) áreas de pastagem; b) Áreas de mineração.

CONCLUSÃO

A utilização de uma imagem de alta resolução espacial e espectral, que é o caso da imagem ASTER, foi de suma importância na identificação dos tipos fitofisionômicos na área de estudo devido à alta mistura espectral existente na área causado pelo grande número de áreas de mineração. Porém, devido à similaridade dos espectros de reflectância, não foi possível separar em classes distintas o cerradão e a mata de galeria.

Na análise entre as unidades geológicas, os tipos fitofisionômicos e a altimetria observou-se que existe uma grande relação entre a unidade Máfica Superior e a vegetação Cerradão/Mata Galeria. Nestas unidades a relação com a altimetria é de ocorrência em todas as classes altimétricas com distribuição bastante parecida. O que demonstra o controle geobotânico na área, conforme já destacado por Brooks *et al.*, (1972).

Cabe ressaltar que a análise relacionando as unidades geológicas com vegetação e altimetria foi prejudicada por esta área apresentar grande área de mineração e pastagem, dificultando a análise. Estudos futuros de campo ajudaram a melhor detalhar o mapa geológico possibilitando uma relação mais fidedigna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÂMOLI, J., MACEDO, J., AZEVEDO, L.G. & MADEIRA NETTO, J. (1987). Caracterização da região dos Cerrados. In: Goedert, W.J. (Ed.). *Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. Planaltina: EMBRAPA - CPAC; São Paulo: NOBEL, p. 33-98.
- ADEDIRAN, O. A.; PARCHARIDIS, I.; POSCOLIERI, M.; PAVLOPOULOS, K. (2004). *Computer-assisted discrimination of morphological units on north-central crete (greece) by applying multivariate statistics to local relief gradients*. *Geomorphology*, v.58, p. 357-370.
- AGÊNCIA AMBIENTAL DE GOIÁS - SIEG. (2006). *Mapa de uso/cobertura vegetal e vulnerabilidade*. Base de dados: determinação de áreas prioritárias para unidades de preservação – Cons.imagem/WWF; 08/07/2005. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>.
- ALMEIDA, F.F.M. (1981). O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco.

In: *Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais*. Salvador, SBG, p.1-10.

BOCCO, G.; MENDOZA, M.; VELÁSQUEZ, A. (2003). Remote Sensing and GIS based regional geomorphological mapping – a tool for a land use planning in developing countries. *Geomorphology*, v. 39, p. 211-219.

BROOKS, R. R. (1972). *Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration*. New York, Harper and Row, 290 p.

BROOKS, R. R., REEVES R. D. & BAKER, A. J. M. (1992). The serpentine vegetation of Goiás State, Brazil. In: *The Vegetation of Ultramafic (serpentine) Soils: Proceedings of the First International Conference on Serpentine Ecology*. Hampshire, UK: Intercept, p. 67-81.

BRADSHAW, A. D. (1969). An ecologist's viewpoint. In: *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, Rorison, I.H. (ed.), *Blackwell Scientific Publications*, Oxford and Edinburgh, p. 415-427.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. (1981). Secretaria-Geral. *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SD.22. Goiás; geologia, geomorfologia, pedologia e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 640 p.

CÂMARA, G. E.; MEDEIROS, J. S. de (1998). Mapas e suas representações computacionais. In: Assad, E. D.; Sano, E. E.; *Sistemas de Informações geográficas: aplicações na agricultura*. 2. ed. Brasília: Embrapa – CPAC, p. 13-29.

CANNON, H.L. (1971). The use of plant indicators in ground water surveys, geologic mapping, and mineral prospecting. *Taxon*, 20: p. 227-256.

CARVALHO, A.P.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; MADEIRANETO, J. S.; BUSTAMANTE, M. M. C. (2001). Measurement of color in hyperspectral images (AVIRIS) using the CIE (Commission Internationale D'éclairage) system. In: JPL Airborne Earth Science Workshop, 2001, California, Pasadena. *Proceedings of the*

Tenth JPL Airborne Earth Science Workshop. California, Pasadena : NASA - JPL, v. JPL-02. p. 133-140.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GUIMARÃES, R. F.; LOPES, R. A. S.; GUIMARÃES, P. H.; MARTINS, E. S.; PEDRENO, J. N. (2003). Classification of Hyperspectral Image Using SCM Methods for Geobotanical Analysis in the Brazilian Savanna Region. In: *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003, Toulouse. IGARSS 2003*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003. v. IV. p. 3754-3756.

CHIKISHEV, A. G. (1965). *Plant Indicators of Soils, Rocks and Subsurface Waters*. New York, Consultants Bureau, 210p.

CUARTERO, A.; FELICÍSIMO, A. M.; ARIZA, F. J. (2005). Accuracy, Reliability, and Depuration of SPOT HRV and Terra ASTER Digital Elevation Models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.43, nº2, February P. 404-407.

ESRI. (1993). *Understanding GIS – The ARC/INFO Method*. New York: Wiley. 535 p.

IPPOLITI, G.; COSTA, L. M.; GAGGERO, M. R.; SCHAEFER, C. E.; FERNANDEZ FILHO, E. I. (2003). Uso de geoprocessamento para levantamento preliminar de solos de uma microbacia da zona da mata (MG). *Anais. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2003, Belo Horizonte, São José dos Campos: INPE. Artigos p. 153-160. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8*

KRUCKLEBERG, A. R. (1969). Soil diversity and the distribution of plants with examples from western North America. *Madroño*, 20, p. 129-154.

KRUSE, F. A.; LEFKOFF, A. B.; BOARDMAN, J. W.; HEIEDBRECHT, K. B.; SHAPIRO, A. T.; BARLOON, P. J.; GOETZ, A. F. H. (1993). The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. *Remote Sensing of Environment*, 44: p. 145-163.

LIMA, T. M. (1997). *Geologia, estratigrafia e petrologia da porção sul do Complexo*

Máfico-Ultramáfico de Cana Brava, Goiás. 1997, 294p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília.

- PANQUESTOR, E. K.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; LEAL, L. R.; ANDRADE, A. C.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. (2002). Associação do processamento digital de imagens ao uso de parâmetros morfométricos na definição de unidades de paisagem da bacia do Rio Corrente – BA. Brasília, *Espaço & Geografia*, Vol. 5, nº 1, p. 87-99.
- PONZONI, F. J. (2001). Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (orgs.), *Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais*. Brasília, DF; Editora UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, pp. 157-199.
- SOLÓRZANO, A. W. M. (1996). *Análise da estabilidade dos taludes finais da Mina de Cana Brava pelo método dos elementos distintos*. 1996, 126p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- VALERIANO, M. M. (2002). Modelos de elevação de microbacias elaborados com krigagem. In: *Projeto de Produtividade em Pesquisa, Padronização de metodologias para tratamento digital de microbacias*. São José dos Campos, INPE, 56p.