

IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE VEGETAÇÃO E ANÁLISE DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS A PARTIR DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS E ANÁLISE MORFOMÉTRICA EM IMAGENS ASTER NO MUNICÍPIO DE CROMÍNIA-GO

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

¹Departamento de Geografia, Universidade de Brasília.
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília,
Distrito Federal, CEP 70910-900
watilapm@gmail.com, {renatofg; osmarjr, robertogomes}@unb.br,
1746455@etfbsb.edu.br, nosbordf@gmail.com, thiagochvs@gmail.com

Recebido 4 de janeiro de 2012, aceito 15 abril de 2012.

RESUMO – Nos domínios do Cerrado podemos encontrar diferentes fitofisionomias, que incluem formações florestais, savânicas e campestres, com quantidades de biomassa relacionadas às características do ambiente em que se encontram. Grande parte da área que um dia compôs este bioma encontra-se profundamente modificada por ações antrópicas que alteram áreas naturais contínuas dando a forma de um mosaico de ambientes fragmentados e isolados. Encontramos no sensoriamento remoto uma importante ferramenta que nos permite extrair informações referentes a diversas características da vegetação de determinado local, auxiliando assim na identificação de padrões e no monitoramento de mudanças que possam interferir diretamente nos processos ecológicos. Este trabalho busca identificar padrões de vegetação, utilizando técnicas de classificação espectral, aliadas a análise de dados morfométricos e verificar a condição espacial dos fragmentos de formações florestais presentes no município de Cromínia (GO). Neste estudo foram utilizados produtos do sensor ASTER para a identificação dos padrões de vegetação por meio de técnicas de classificação espectral

das imagens de satélite e análise de dados morfométricos e, posterior análise dos fragmentos através da utilização do programa Fragstats. A metodologia aplicada neste trabalho constou das seguintes etapas: (1) Pré-Processamento das imagens de satélite; (2) Classificação espectral; (3) Processamento da imagem ASTER DEM para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE); (4) Geração de dados morfométricos; (5) Relacionamento dos padrões de vegetação com os dados morfométricos; (6) Análise espacial de distribuição dos fragmentos de remanescentes florestais por meio do programa Fragstats.

Palavras-Chave – Processamento digital de imagens, Análise morfométrica, fragmentos florestais.

ABSTRACT – In areas of the Cerrado can find different vegetation types, including forest types, savanna and grassland, with quantities of biomass related to environmental characteristics in which they are. Much of the area that once composed this biome is profoundly modified by human action to alter natural areas giving continuous form of a mosaic of fragmented and isolated environments. We found an important remote sensing tool that allows us to extract information relating to various characteristics of the vegetation of a certain place, thus assisting in identifying and monitoring patterns of changes that may interfere directly with ecological processes. This paper seeks to identify patterns of vegetation, using techniques of spectral classification, together with analysis of morphometric data and check the condition of spatial fragments of forest types present in the town of Cromer (GO). This study used ASTER products to identify patterns of vegetation by means of spectral techniques of classification of satellite images and morphometric analysis of data and subsequent analysis of the fragments using the program Fragstats. The methodology applied in this work involved the following steps: (1) Pre-processing of satellite images, (2) spectral classification, (3) Processing of ASTER DEM for the generation of Digital Elevation Model (DEM), (4) generation of morphometric

data, (5) Relationship of vegetation patterns with morphometric data, (6) Analysis of spatial distribution of the remaining forest fragments through the program Fragstats.

Keywords: Digital image processing, morphometric analysis, forest fragments.

INTRODUÇÃO

O Cerrado constitui o segundo maior bioma do Brasil, abrigando uma alta biodiversidade (Ab'Sáber, 2003). Dentro de seus domínios podemos encontrar diferentes características fisionômicas e estruturas gradativas, com a quantidade de biomassa intimamente relacionada às características do ambiente em que se encontram (Coutinho, 1990).

Sendo assim, este tipo de vegetação apresenta uma forte dependência edáfica o que permite uma correlação com outras variáveis físicas como as unidades pedológicas e geológicas (Carvalho et al. 2001; Carvalho Júnior et al., 2003). Locais com concentrações elevadas de metais pesados tais como o cobre, zinco e níquel, por exemplo, podem desenvolver floras endêmicas devido principalmente à toxicidade a que algumas espécies são capazes de se adaptar (Bradshaw et al., 1969; Krukberg, 1969).

Vemos atualmente que grande parte da área que um dia compôs o bioma do Cerrado encontra-se profundamente modificada por ações antrópicas. As áreas naturais contínuas são transformadas em um mosaico de ambientes fragmentados e isolados que ameaçam a biodiversidade vegetal (Forman e Alexander, 1998). Desta forma, faz-se cada vez mais necessário realizar estudos que identifiquem e avaliem o grau de fragmentação das formações vegetais, uma vez que quantificar o que ainda existe, definir sua localização espacial e sua forma é

condição básica para qualquer política preservacionista que se queira implantar (Marques, 2004).

Encontramos no sensoriamento remoto uma ferramenta bastante útil que nos permite extrair informações referentes a diversas características de determinado local, auxiliando na identificação de padrões e no monitoramento de mudanças que possam interferir diretamente nos processos ecológicos. Nesta perspectiva um sensor que vem se tornando uma importante fonte de dados para a comunidade civil é o ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), um avançado imageador multiespectral com alta resolução espacial, espectral e radiométrica cujos dados vem sendo utilizados em análises de temperatura, reflectância e elevação da superfície do terreno (Yamaguchi et al. 1998).

O presente trabalho busca identificar padrões de vegetação presentes no município de Cromínia (GO), onde temos um ambiente submetido a um forte controle geológico e intensamente modificado por ações antrópicas e verificar a condição espacial dos fragmentos de formações florestais remanescentes. Para tanto foram utilizadas técnicas de identificação de padrões espectrais associadas à análise de dados morfométricos a partir de produtos do sensor ASTER e ferramentas de quantificação da paisagem como o programa Fragstats.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Cromínia situa-se na Microrregião Meia Ponte, pertencente à mesorregião Sul Goiano, entre as coordenadas 17°15'S - 49°28'W e 17°20'S - 49°20'W, distante cerca de 80 km de Goiânia (**Figura 1**). Possui cerca de 370 km² e está inserido na bacia hidrológica do rio Paraná, a oeste do rio Dourados

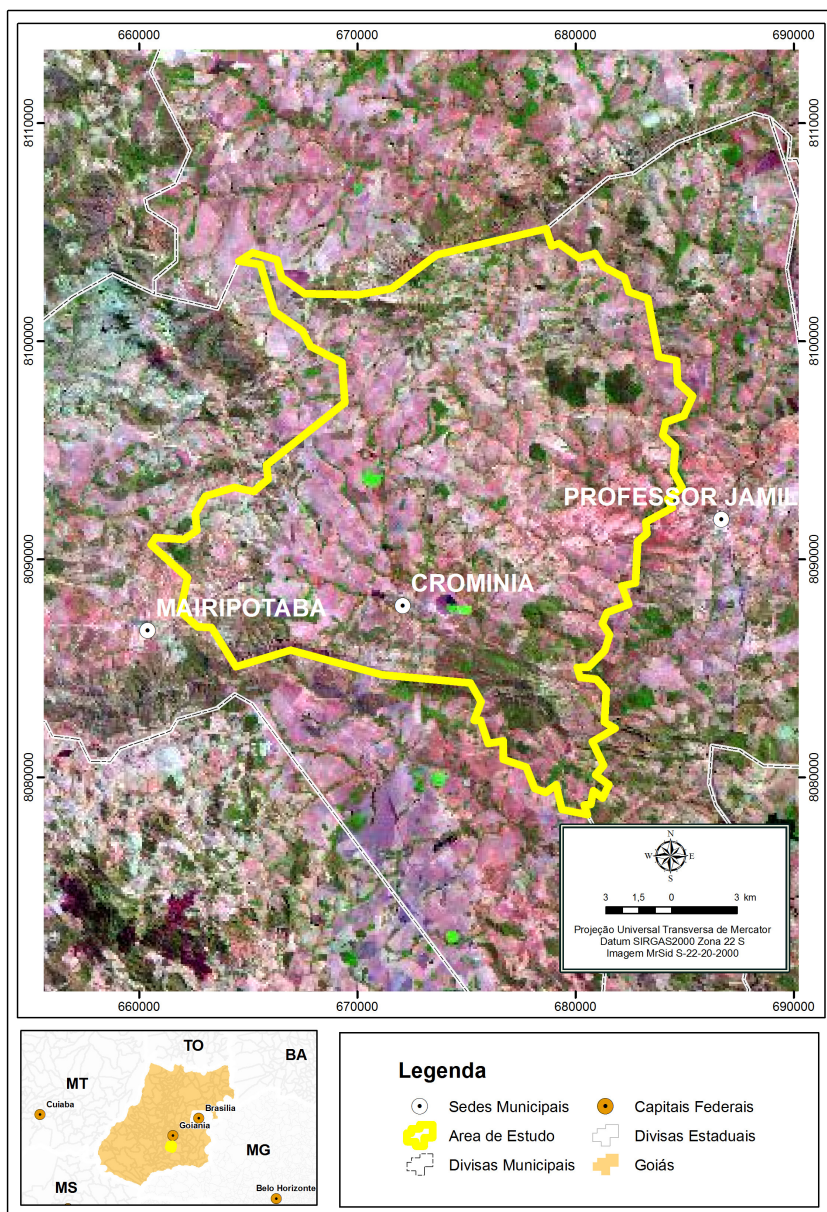


Figura 1 – Área de estudo

(IBGE, 2006). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Aw, marcado pela presença de invernos secos e de verões chuvosos, sendo quente e semi-úmido, com precipitação variando de 750 a 2000 mm, concentrando-se na estação chuvosa, meses de outubro a março (Ad´amoli et al., 1987).

Geologicamente a área posiciona-se a sudoeste do Cráton do São Francisco na porção meridional da Zona Interna da Faixa Brasília pertencendo ao Grupo Araxá (Navarro, 2002). Na maior parte do município verifica-se a presença de formações de quartzito, observando-se em alguns locais a presença de corpos rochosos metaultramáficos lenticulares e corpos ultramáficos serpentinizados, que podem ser caracterizados como sendo portadores de pequenas e descontínuas lentes de cromita, mineral óxido de cromo e ferro [FeCr₂O₄] (Rodrigues e Angeli, 2003). Os solos predominantes são o Cambissolo Háplico a oeste, Argilossolo Vermelho a sul e Latossolo Vermelho a norte do município (IBGE, 2006).

A geomorfologia da região está inserida no Planalto Cristalino de Goiás caracterizado pelo domínio de cristas e formas convexizadas com evidências de pediplanação (Cassetti, 1991 apud Vicentini, 1993). Segundo SIEG (2005), a região possui as seguintes unidades geomorfológicas: a) “Hog-Back” formado por estruturas dobradas com dissecação média e forte; b) Superfície de aplainamento com dissecação média (em cotas inferiores a 800 metros) e; c) Relevo de morros e colinas com dissecação forte em algumas áreas.

A vegetação (**Figura 2**) é característica de cerrado, onde as formações florestais representam áreas com predominância de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo ou descontínuo podendo ser representadas por Matas de Galeria que acompanham os cursos d’água ou por Cerradões que

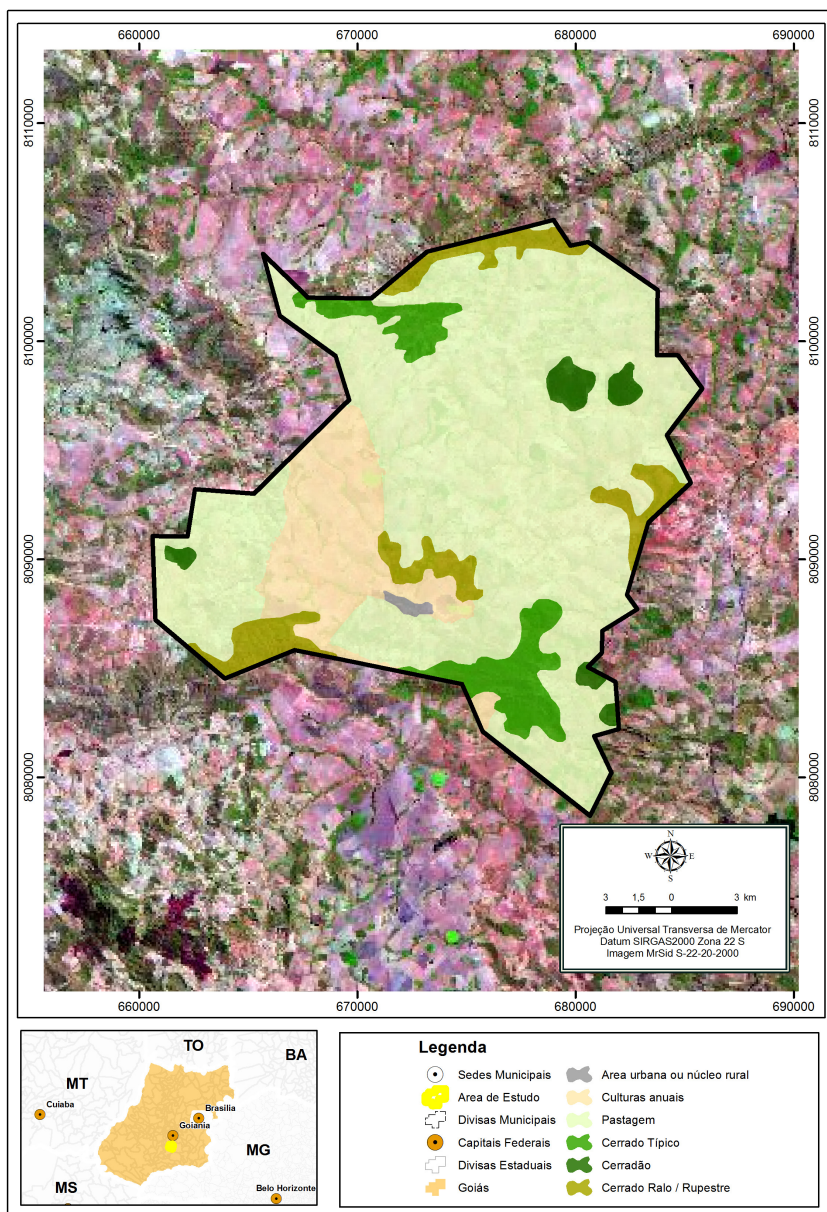


Figura 2 – Mapa de vegetação

permanecem perenes o ano inteiro (Ribeiro e Walter, 1998). As formações savânicas são compostas por arbustos e árvores dispersas sobre um estrato graminoso, inexistindo a formação de dossel contínuo, sendo a densidade do estrato arbóreo o fator determinante na definição de suas fisionomias (Eiten, 1972). A mais densa é a do cerrado stricto sensu, e à medida que as árvores se tornam mais esparsas, a fisionomia passa a ser denominada de campo cerrado. As formações de savana ocorrem geralmente em terrenos bem drenados de interflúvio, onde grande parte da mineralogia primária já foi retirada do perfil do solo (Furley, 1999). Nas formações campestres há o predomínio de espécies herbáceas e arbustivas caracterizadas como campos e cerrados rupestres (Ribeiro e Walter, 1998; Furley, 1999). Verifica-se ainda dentro do município a presença de grandes áreas antropizadas com predominância de pastagens, onde substituiu-se o cerrado nativo por algumas espécies de brachiária, transformação resultante da rápida expansão da agricultura que afetou grande parte do território no estado de Goiás (Radambrasil, 1981; SIEG, 2005).

METODOLOGIA

O sensor ASTER oferece uma série de produtos que podem ser utilizados em diversos tipos de análise. Neste trabalho empregaram-se produtos que permitem a extração de dados referentes à reflectância espectral e a elevação da superfície do terreno. As imagens utilizadas neste trabalho referem-se ao dia 05-09-2004 correspondente ao final da estação seca.

Para as análises de reflectância foram utilizadas nove imagens correspon-

dentos às faixas do visível e infravermelho próximo (VNIR - $5\mu\text{m}$ - $0.9\mu\text{m}$, correspondente às 3 primeiras bandas espectrais com resolução de 15 metros) e a faixa do infravermelho de ondas curtas (SWIR - $1.6\mu\text{m}$ - $2.5\mu\text{m}$, correspondente às outras 6 bandas com resolução de 30 metros), adquiridas com o efeito atmosférico corrigido (JPL, 2001). Para as análises de elevação da superfície do terreno o sensor oferece o Modelo Digital de Elevação (AST14DEM) com resolução espacial de 30 metros (Abrams, 2000; Fujisada, 1998; Yamaguchi et al. 1998). Para a análise espacial dos fragmentos de vegetação da área utilizou-se o Fragstats, constituído por um conjunto de ferramentas que auxiliam as análises da paisagem por meio do programa ArcView GIS 3.3.

A metodologia aplicada neste trabalho constou das seguintes etapas (**Figura 3**): (1) Pré-processamento; (2) Classificação espectral; (3) Processamento da imagem ASTER DEM; (4) Cruzamento dos dados morfométricos com os padrões de vegetação (5) Análise espacial do padrão de distribuição dos fragmentos.

PRÉ-PROCESSAMENTO

A fase de pré-processamento consistiu no ajuste da resolução espacial das imagens do sensor SWIR, que foram redimensionadas de 30 para 15 metros. Este procedimento serviu para compatibilizar as imagens dos sensores VNIR e SWIR tornando possível a integração em uma única imagem. Por fim, elaborou-se uma máscara para ocultar as áreas urbanas, corpos d'água e zonas de plantio irrigado (pivôs centrais) que costumam interferir na etapa de análise espectral.

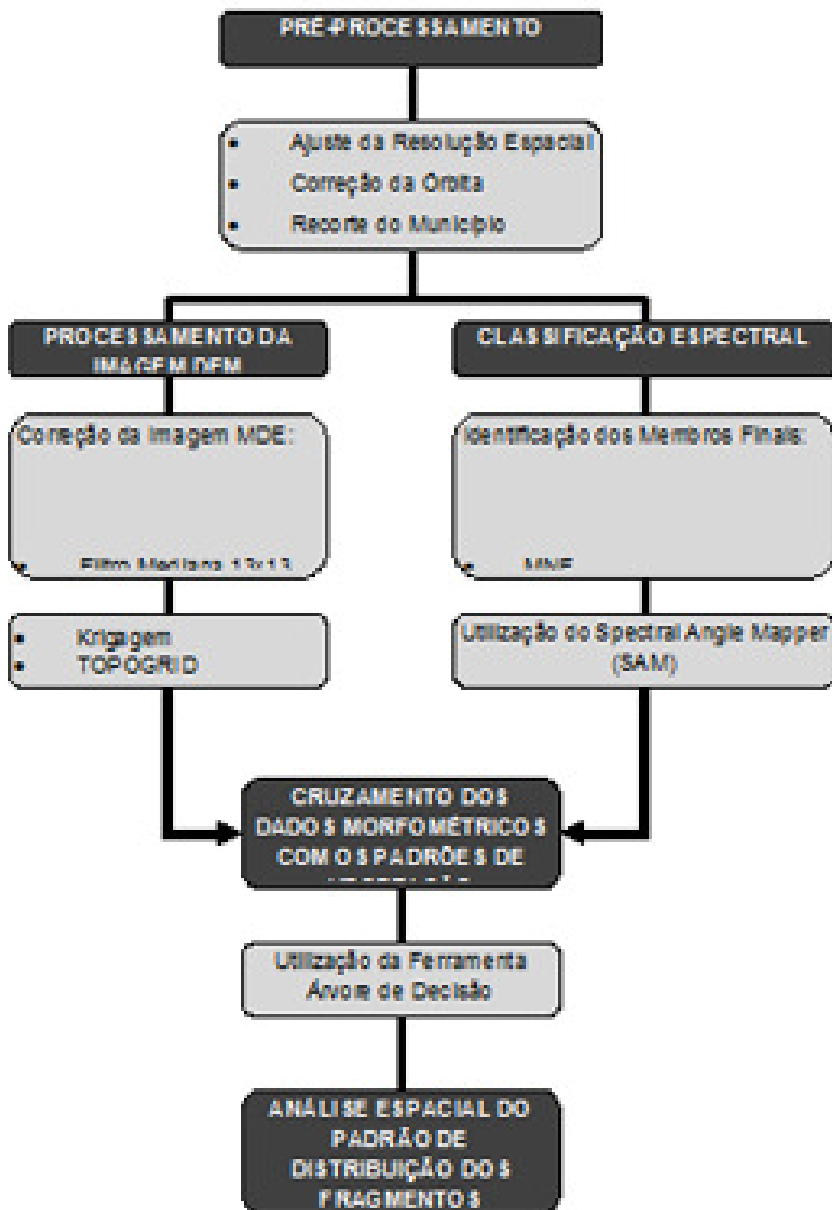


Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada.

CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL

Identificação dos Membros Finais

A etapa de identificação dos membros finais consiste numa primeira avaliação dos materiais existentes na área, permitindo verificar os efeitos relativos aos fatores físicos ambientais presentes na imagem (Carvalho Junior et al., 2005). Nesta fase utilizou-se uma metodologia baseada na geometria do simplex, proposta por Boardman e Kruse (1994), estruturada em três passos: redução da dimensão espectral utilizando a técnica de Minimization Noise Fraction (MNF) (Green et al., 1988); redução da dimensão espacial utilizando o método Pixel Purity Index (PPI) (Boardman et al., 1995); e, identificação espectral dos membros finais utilizando um visualizador n-dimensional (nd-visualizer).

Utilização do Classificador Spectral Angle Mapper

A classificação espectral propriamente dita foi feita pelo Spectral Angle Mapper (SAM) que utiliza como base a média espectral das classes encontradas. Esta técnica 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).

Com a ferramenta SAM obtiveram-se resultados satisfatórios no que diz respeito à separação entre as vegetações com maior ou menor nível de atividade fotossintética. Primeiramente, realizou-se uma classificação preliminar com base nos membros finais identificados na etapa anterior. As classes geradas nesta classificação foram isoladas através da confecção de máscaras e submetidas a um fatiamento cujo realce gerado permitiu a detecção de novos membros finais,

o que gerou um maior nível de precisão possibilitando a identificação de espectros ainda mais representativos.

PROCESSAMENTO DA IMAGEM ASTER DEM

Devido a problemas relacionados a interferências antrópicas existentes na área, que afetam determinadas classes espectrais, surgiu a necessidade da inserção de novas variáveis que viabilizaram um outro tipo de análise. Para esta etapa foram utilizados dados morfométricos extraídos a partir da imagem AST14DEM.

Uma das principais vantagens do uso de dados topográficos gerados a partir do sensor ASTER está na sua aquisição, que pode ser feita na forma de estereopares posteriormente dando origem a Modelos Digitais de Elevação (MDEs ou Digital Elevation Models - DEM), obtidos através de técnicas automatizadas de estereocorrelação (Colvocoresses, 1982; Fujisada, 1994). No entanto, este tipo de produto apresenta alguns artefatos representados por pontos destoantes na imagem que podem ser atribuídos a diversos fatores e que comprometem a confiabilidade atribuída a este tipo de dado (Cuartero et al., 2005).

Correção da Imagem DEM

Para que fosse possível minimizar estes artefatos realizou-se um processamento na imagem ASTERDEM através de: aplicação de um filtro de convolução mediana, utilizando uma matriz 13x13; subtração da imagem filtrada pela imagem original e aplicação de uma máscara retirando dados com variação acima de 5

metros. Feito isso, realizou-se a interpolação destes dados com o intuito de minimizar as distorções não detectadas pelo processo de filtragem e também, homogeneizar as informações altimétricas.

CRUZAMENTO DOS DADOS MORFOMÉTRICOS COM PADRÕES DE VEGETAÇÃO

Alguns padrões espectrais tiveram comportamento muito parecido o que, tornou necessária a utilização de uma análise morfométrica destes espectros. Para isso, cada padrão espectral obtido na etapa de classificação foi transformado em uma máscara e aplicado ao MDE devidamente corrigido. Em seguida, procedeu-se com a análise histogrâmica da frequência dos dados altimétricos relacionados a cada padrão espectral identificado.

Utilização da Árvore de Decisão

Para unir os dois atributos (espectrais e altimétricos) numa única classificação aplicou-se a ferramenta árvore de decisão. Esta ferramenta maximiza os ganhos de informação ao particionar sucessivamente um dado de entrada em subconjuntos cada vez mais homogêneos, produzindo regras ou decisões ideais (Safavian e Landgrebe, 1991; Weiss e Kulikowski, 1991; Brown de Colstoun et al., 2003).

São atribuídas condições desde o nó raiz até os nós folha da árvore (últimos nós). O nó raiz abrange todos os pixels presentes na imagem, após a aplicação da condição estas células são divididas entre a classe que foi aceita e a recusada. A classificação, neste caso, vai construindo uma estrutura em árvore (**Figura 4**), até chegar aos nós (folhas).

ANÁLISE ESPACIAL DO PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DOS FRAGMENTOS

Na etapa de análise espacial foram levados em conta apenas os fragmentos de formações florestais (representados por Matas de Galeria e Cerradão), que aparecem com uma fragmentação mais representativa na imagem. Para averiguar as consequências da fragmentação utilizam-se alguns parâmetros considerados importantes tais como a quantidade, composição e distribuição dos fragmentos remanescentes, a distância entre eles, o grau de isolamento, seu tamanho e sua forma (Andrade, 2005).

Cálculos das métricas pelo FRAGSTATS

Neste trabalho para a análise dos fragmentos vegetação da área foi utilizado o Patch Analyst que é uma extensão para o ArcView GIS. Este sistema facilita a análise espacial de paisagem, proporcionando a utilização do FRAGSTATS, que é um software de análise espacial que permite o estudo da paisagem a partir do cálculo de métricas de área, métricas de densidade, tamanho e variabilidade, métricas de borda, métricas de forma, métricas de área central e métricas de vizinho mais próximo.

O programa é utilizado para análise quantificada da estrutura da paisagem. A paisagem sujeita a análise é definida pelo usuário e pode representar qualquer fenômeno espacial. O FRAGSTATS quantifica a extensão da área e a distribuição espacial de manchas em polígonos que representam determinada feição (Mcgarigal e Marks, 1995).

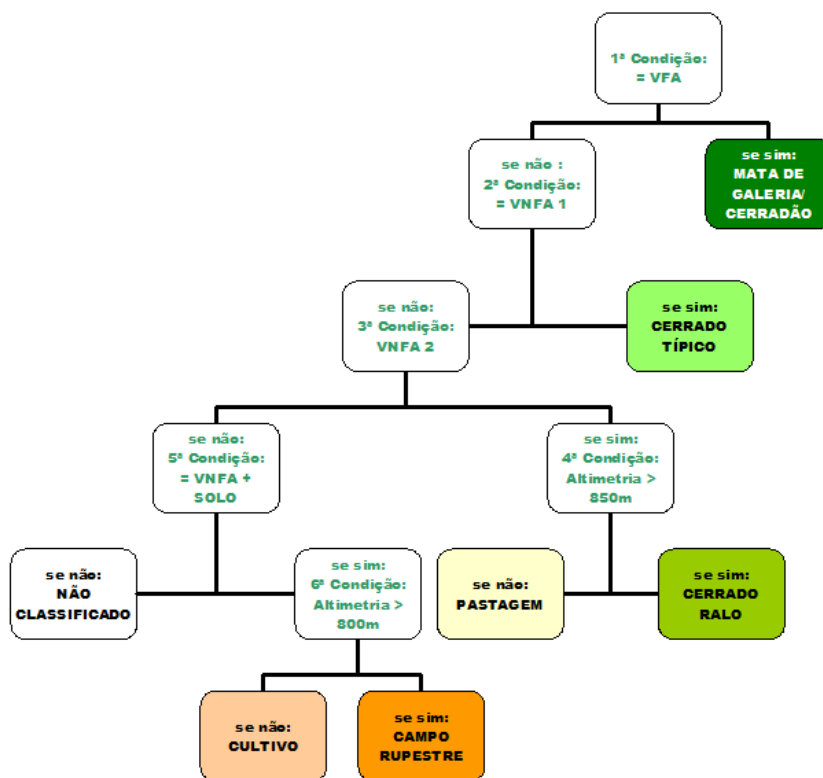


Figura 4 - Estrutura da Árvore de Decisão

Neste caso a análise foi feita no nível de uma única classe o que permitiu compreender o quão fragmentada se apresenta a área de estudo através das seguintes métricas: área, densidade, tamanho, variabilidade, borda, forma, área central e do vizinho mais próximo.

a) Métricas Utilizadas

O software oferece a opção do cálculo das métricas tanto para vetores quando para imagens raster. No presente trabalho foi utilizado o cálculo das métricas de

paisagem utilizando o vetor gerando as métricas de área, métricas de densidade, tamanho, e variabilidade dos fragmentos, métricas de borda, métricas de forma métricas de área central e métricas de vizinho mais próximo.

Métricas da paisagem são importantes para a quantificação e descrição dos padrões espaciais, elas são relacionadas a dois aspectos da paisagem: (a) composição: presença e quantidades de fragmentos existentes, sem maiores referências espaciais (como localização e forma), e (b) configuração: distribuição física (relação entre fragmentos, como métricas do vizinho mais próximo) e características espaciais dos fragmentos (métricas de forma e área central) (Mcgarigal e Marks, 1995).

b) Métricas de Área

As métricas de áreas são informações importantes na análise da paisagem. Essas métricas servem como base de cálculo para muitas das métricas utilizadas na análise espacial, também tem grande importância nos estudos ecológicos, visto que a riqueza de diversidades de algumas espécies está diretamente ligada ao tamanho do fragmento.

Área da classe (CA): Área total de todos os fragmentos pertencentes a uma determinada classe, este dado é importante para saber o grau de fragmentação da classe, os dados são obtidos em hectares (ha).

Índice do maior fragmento (LPI): Expressa a percentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento da classe evidenciando o grau de distribuição de área entre os fragmentos detectados.

c) Métricas de Densidade, Tamanho e Variabilidade

As métricas de densidade de tamanho e variabilidade dos fragmentos são importantes informações sobre a configuração da paisagem. Essa métrica é importante por caracterizar os fragmentos em: número de fragmentos, tamanho médio, densidade, variação, completando a análise dos dados espaciais, das métricas da área.

NumP: esta métrica indica o números de fragmentos existentes na classe, informação obtida em valor unitário.

Tamanho médio dos fragmentos (MPS): este índice calcula o a média do tamanho de todos os fragmentos da classe, os dados são obtidos em hectares (ha). Neste cálculo é somado o valor da área de todos os fragmentos da classe (CA) e dividido pelo número de fragmentos existentes (NumP).

Desvio padrão do tamanho do fragmento (PSSD): este índice calcula o desvio padrão do tamanho dos fragmentos. O desvio padrão é uma medida de dispersão estatística, um valor que quantifica a dispersão dos eventos sob distribuição normal, ou seja, a média das diferenças entre o valor de cada evento e a média central. Os resultados são obtidos em hectares (ha).

Coefficiente de variação do tamanho do fragmento (PSCOV): mede coeficiente de variação dos fragmentos, os dados são obtidos em porcentagem. No cálculo desta métrica o programa divide o valor do desvio padrão do tamanho do fragmento (PSSD) pelo valor do tamanho médio do fragmento, e multiplica por cem, para obter o valor em por cento.

d) Métricas de borda

Essas informações são importantes para explicar vários fenômenos ecológicos, através de dados do total de bordas e densidade de borda, utilizados para a caracterização do efeito de bordas.

A maior parte dos efeitos negativos da fragmentação florestal sobre os organismos estão diretamente ou indiretamente relacionados aos efeitos de bordas. (Mcgarigal & Marks, 1995). O efeito de bordas numa floresta, por exemplo, resulta em diferentes intensidades de vento e intensidade e qualidade de iluminação solar, produzindo microclimas e taxas de distúrbio (Volatão, 1998).

Borda total (TE): é o valor absoluto do perímetro de todos os fragmentos da classe, as informações são dadas em metros.

Densidade de borda (ED): esta informação padroniza os dados de borda para uma base por unidade de área, permitindo a comparação entre paisagens de vários tamanhos. Porém apresenta valores redundantes na comparação de unidades de mesmo tamanho. Os dados são padronizados emm/ha.

e) Métricas de forma

A forma dos fragmentos da paisagem pode influenciar em importantes processos ecológicos. Foi demonstrado que a forma dos fragmentos influenciam processos inter-fragmentos, tais como migração de pequenos mamíferos, as estra-

tégias de fuga de certos animais e a colonização de plantas de médio e grande porte, importante par ao estudo florestal (Mcgarigal & Marks, 1995).

O FRAGSTATS calcula dois tipos de índices de forma, ambos baseados no perímetro da área relacionada. O primeiro mede a complexidade do sistema modelar, em comparação com um padrão de forma (Quadrado para vetor e circular para imagens raster). As métricas calculadas desta forma são as MSI, AWMSI e LSI, esta última não foi abordada neste estudo.

Índice de forma média (MSI): esse dado revela a forma média dos fragmentos da classe, em função da razão média perímetro/área de seus fragmentos, comparada a uma forma padrão. O menor valor possível encontrado é um, que indica que o conjunto de fragmentos da classe tem a forma geométrica mais simples. À medida que o valor encontrado se distancia de um, indica que as formas dos fragmentos são mais irregulares, mais próximo das formas encontradas na natureza.

Índice de forma média ponderado pela área (AWMSI): no cálculo do MSI há um problema porque ao considerar a média dos fragmentos ele atribui o mesmo peso a fragmentos de tamanho diferente. Para corrigir essa distorção o AWMSI calcula a forma média ponderada de acordo com a área dos fragmentos.

Índice de forma da paisagem (LSI): Soma os limites da paisagem e de todos os segmentos de borda dentro dos limites que envolvem a classe e divide pela raiz quadrada da área total da paisagem.

f) Métricas de Área Central

De acordo com Volotão (1998) esta tem sido considerada uma medida muito mais forte (do ponto de vista de previsão) de qualidade de habitats por especialistas de áreas interiores, do que a área dos fragmentos. Como já mencionado esta métrica expressa a relação entre a área disponível e área realmente útil, onde certos fragmentos têm bastante área – o suficiente para manter uma dada espécie – mas não têm área central capaz de permitir a manutenção daquela espécie.

Área central total (TCA): Soma das áreas centrais de toda a classe em hectares.

Percentual de área central na paisagem (C%LAND): Percentual de áreas centrais (excluídas as bordas) em relação à área total da paisagem.

Número de áreas centrais (NCA): Número de áreas centrais de toda a classe.

Densidade de áreas centrais (CAD): Número de áreas centrais dividido pela área de 100 hectares.

Área central média (MCA): Média da área central em relação a área total dos fragmentos.

Desvio padrão das áreas centrais dos fragmentos (CASD): Cálculo do desvio padrão das áreas dos fragmentos da classe, com exceção das bordas.

Área central média por fragmento (MCA1): Soma das áreas centrais da classe em hectares, dividida pelo número de fragmentos da classe.

Desvio padrão das áreas centrais dos fragmentos (CASD1): Cálculo do desvio padrão das áreas dos fragmentos da classe, tiradas as bordas.

Coficiente de variação das áreas centrais dos fragmentos (CACV1): Variabilidade na área central relativa à área central média.

g) Métricas de Vizinho Mais Próximo

Vizinho mais próximo é definido como a distância de um fragmento para o fragmento que está à sua volta baseado na distância borda-a-borda. Estas métricas quantificam a configuração da paisagem. A proximidade entre os fragmentos é importante para os processos ecológicos, e têm implícito em seus resultados o grau de isolamento dos fragmentos.

Distância média do vizinho mais próximo (MNN): Soma de todas as distâncias entre cada fragmento e o vizinho mais próximo de mesma classe, dividido pelo número de fragmentos da classe.

Índice de proximidade média (MPI): Média de todos de proximidade dos fragmentos da classe.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na etapa de classificação espectral foi possível diferenciar as formações fotossinteticamente ativas (VFAs - caracterizadas por uma reflectância característica na banda 3, correspondente a faixa do infravermelho próximo) e as demais formações, não fotossinteticamente ativas (VNFAs - com maior reflectância na banda 4, correspondente a faixa do infravermelho de ondas curtas, e decréscimo da reflectância na banda 3). Com base na metodologia aplicada

foram identificados e classificados 4 padrões espectrais distintos, caracterizados principalmente por sua variação de reflectância e comportamento espectral (**Figura 5**), o que não caracteriza necessariamente a diferenciação entre as fitofisionomias da área, mas sim entre seus níveis de atividade fotossintética. O resultado da classificação feita com base nos comportamentos espectrais pode ser visto na **Figura 6**.

Porém, numa análise mais aprofundada dos resultados obtidos percebeu-se que não foi possível diferenciar de forma eficiente algumas feições presentes na imagem (VNFA2 e VNFA+Solo). Deste modo, a partir do MDE final (**Figura 7**), processado da imagem ASTER DEM, foi possível analisar o comportamento

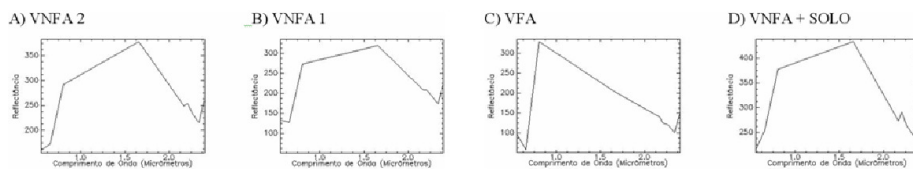


Figura 5 - Padrões espectrais identificados (em níveis de reflectância).

dos padrões de vegetação identificados, relacionando as variações espectrais com a altimetria da área.

A classe VNFA 2 (**Figura 8**) caracteriza-se por possuir uma maior frequência altimétrica entre o intervalo de 650 a 750 metros, a partir do qual verifica-se uma queda bastante acentuada. Ao comparar a distribuição desta classe com o mapa de uso e ocupação do solo (SIEG, 2005), vemos que ela corresponde a duas unidades bem marcadas por diferenças altimétricas. As cotas inferiores a 850 metros, que correspondem as áreas mais planas, estão relacionadas às zonas de pastagem, já as mais movimentadas (acima de 850 metros) as formações vegetais

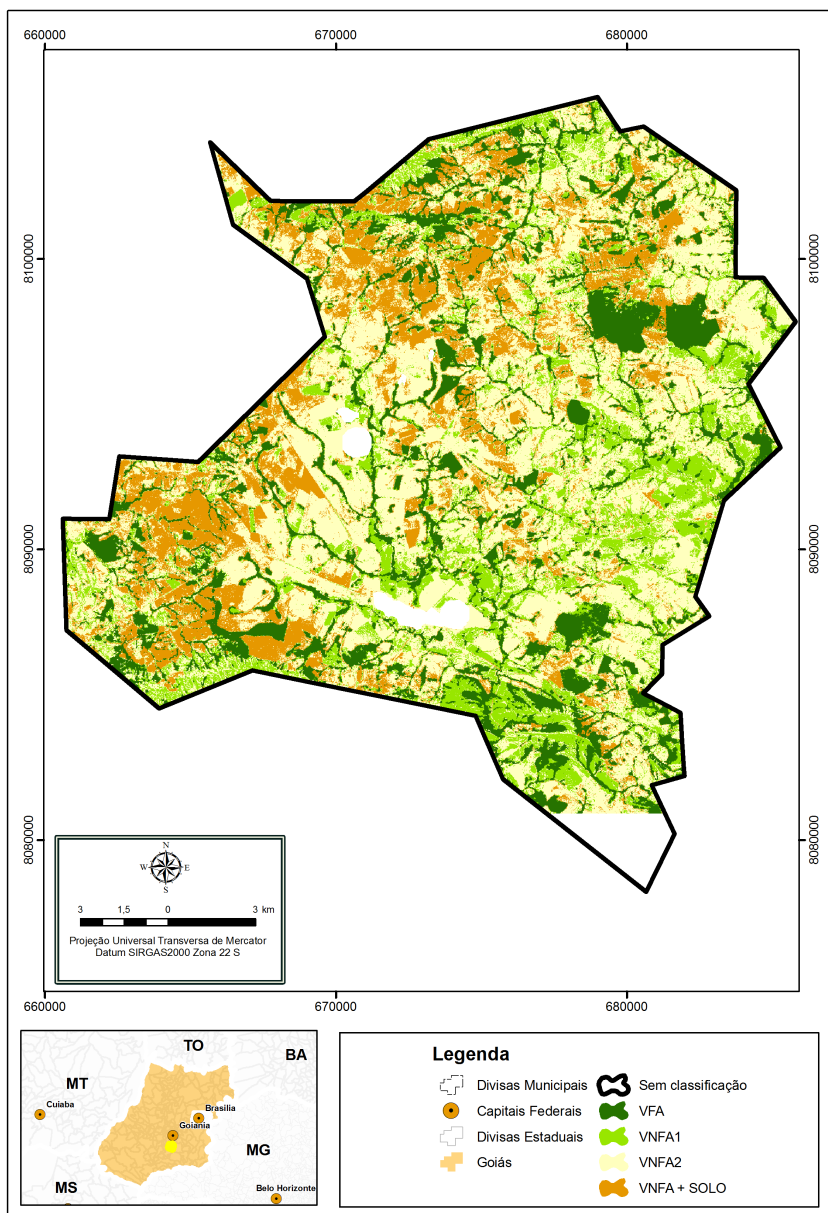


Figura 6 – Resultado da classificação espectral utilizando a ferramenta SAM.

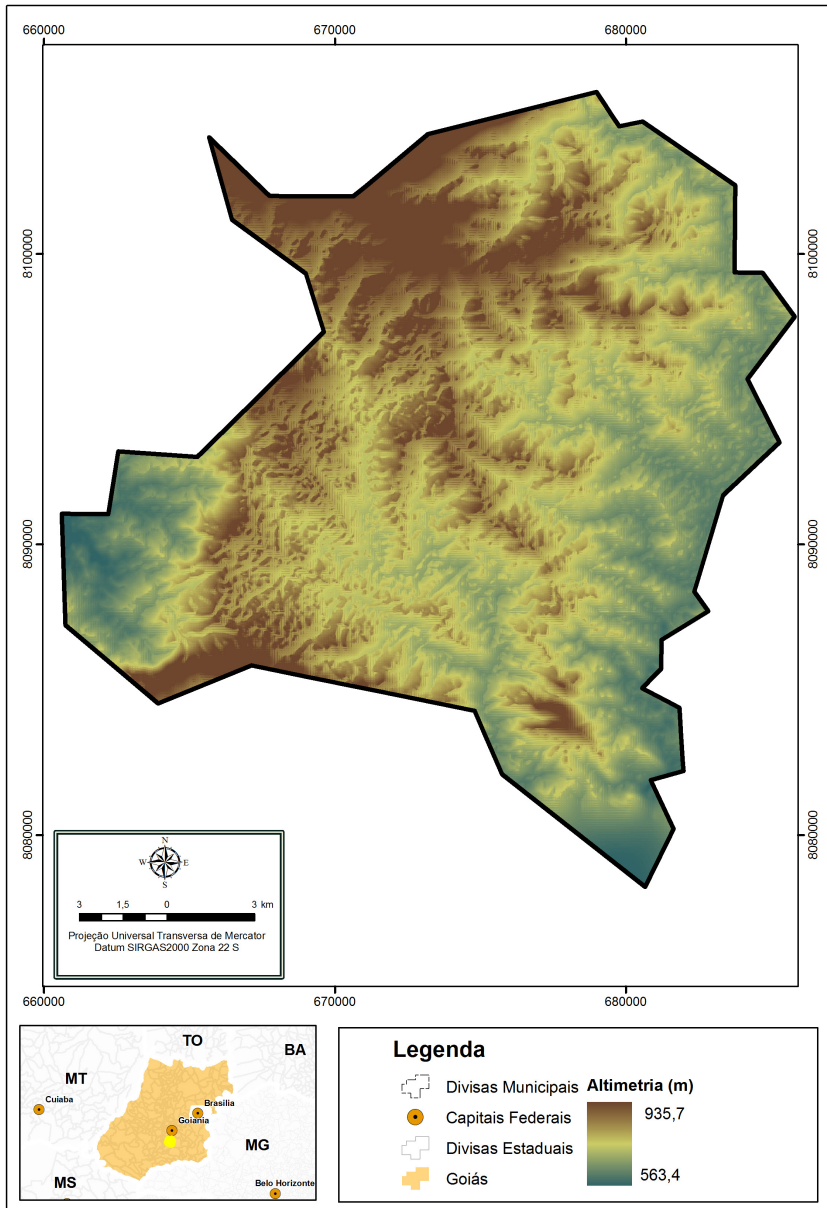


Figura 7 – Modelo Digital de Elevação da área de estudo.

com pouca atividade fotossintética (como cerrado ralo).

Na classe de VNFA+Solo (**Figura 8**), verifica-se um padrão de distribuição de frequência altimétrica menos uniforme do que o da classe anterior, com um pico de frequência em torno de 750 metros. Ao relacionar esta classe com o mapa de uso e ocupação do solo (SIEG, 2005), nota-se uma correspondência com áreas de cultivo e campo rupestre. Comparando a altimetria com as classes proposta pelo SIEG (2006), a cota de 800 metros é o delimitador entre as áreas de cultivo (abaixo de 800m) e campo rupestre (acima de 800m).

A partir destes resultados, foi possível construir o mapa de uso do solo da área de estudo (**Figura 9**), de acordo com a árvore de decisão, em que verifica-se a presença dos seguintes padrões vegetacionais: Mata de Galeria/ Cerradão, Cerrado Típico/ Cerrado Denso, Pastagem, Cerrado Ralo, Cultivo/ Solo Exposto, Campo Rupestre/ Solo Exposto.

Com base no mapeamento foi possível analisar de forma separada os frag-

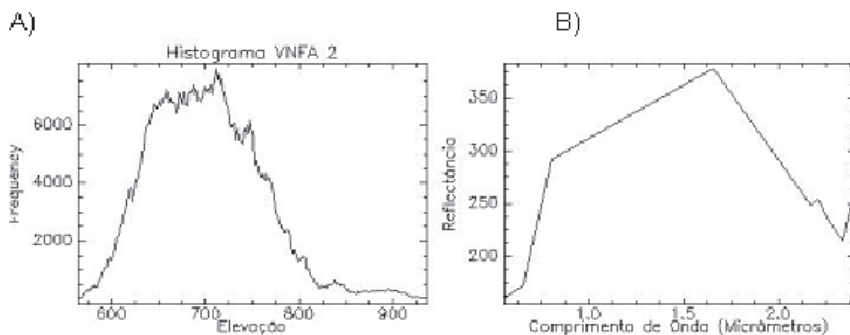


Figura 8 - A) Histograma de frequências altimétricas para a classe de VNFA + Solo B) Curva espectral do membro final VNFA + Solo.

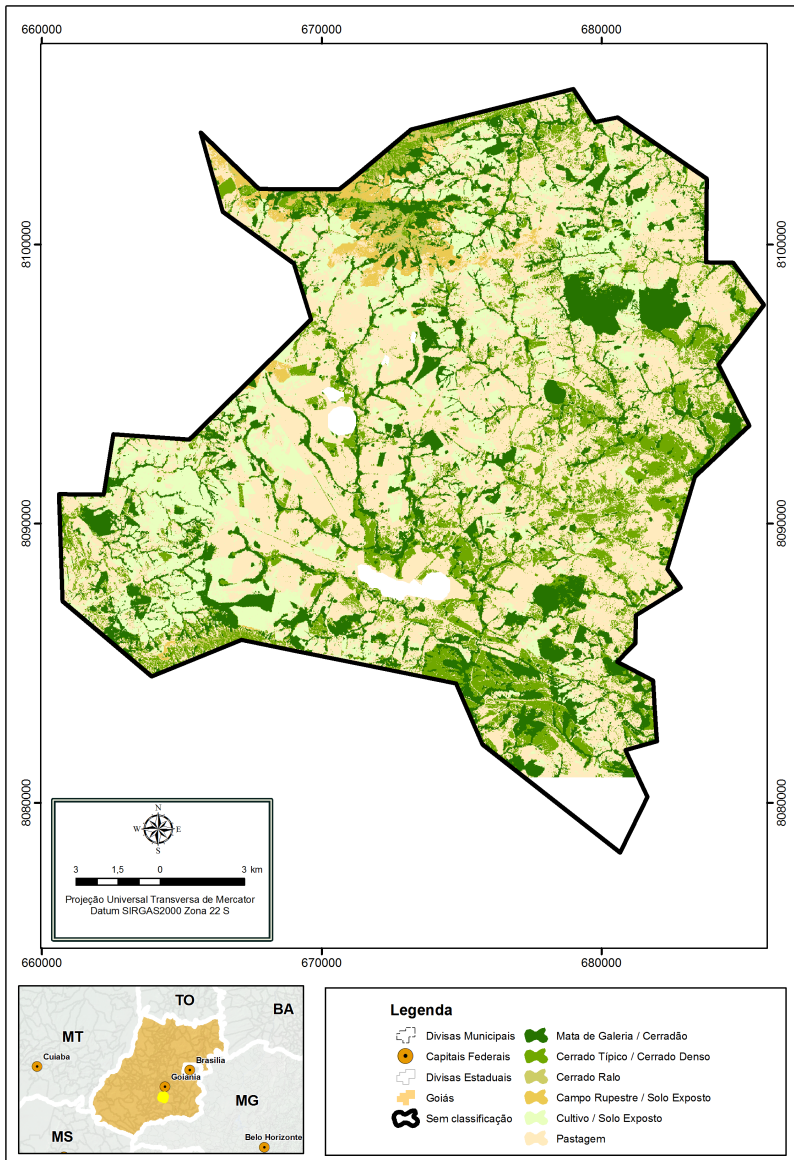


Figura 9 - Mapeamento prévio das Unidades de Vegetação do Município de Cromínia (GO).

mentos florestais que se encontravam espalhados por todo município. A **Tabela 1** gerada pelo Fragstats expressa fatores relevantes, principalmente no que diz respeito à composição (quantificação) e a configuração (distribuição) dos fragmentos. Devido aos métodos de mapeamento estes valores podem ser superestimados levando em conta as dimensões reais no ambiente analisado, uma vez que, o mapeamento por classificação em imagens multiespectrais considera o formato dos pixels e tem sua precisão diretamente condicionada pela resolução dos dados de entrada. Esta sensibilidade se revela de maneira mais acentuada em relação aos parâmetros relacionados a borda e a forma nas métricas utilizadas.

As métricas de área e densidade, tamanho e variabilidade demonstram que as formações florestais remanescentes encontram-se bastante fragmentadas apresentando cerca de 2.385 fragmentos, dos quais o maior ocupa apenas 5,03 % do total mapeado. A relação entre estes fatores indica pouca representatividade em extensão de tamanho além de evidenciar índices de baixa conectividade. Estes dados são reforçados pelo tamanho médio dos fragmentos, que não ultrapassa 3 ha, com um desvio padrão considerável em relação a média chegando a 15.54 ha e um coeficiente de variação bastante elevado que alcança 522,04 %.

O alto valor de densidade de borda (ED) também reforça a grande fragmentação da paisagem chegando a 382 metros por hectare mapeado numa extensão de bordas que chega a 2.718.300 metros considerando o perímetro das bordas identificadas.

O índice de forma média (MSI) nos mostra que os fragmentos apresentam formas complexas (quanto mais distante de 1 mais complexa a forma do fragmento). Quando ponderado pela área o índice chega ao valor de 4,94 evidenciando a tendência de complexidade nos remanescentes considerados.

Formas complexas em fragmentos de pequenas dimensões implicam num número de áreas centrais elevado. Nos fragmentos analisados o percentual de áreas centrais chega a 63,54% (4.510,06 ha) distribuídas em 3.102 núcleos nos fragmentos analisados. Isto se deve ao fato e que um mesmo fragmento, possuindo uma forma complexa, pode conter mais de uma área central. Desta forma os demais índices seguem a tendência dos fragmentos de modo geral, apresentando baixa densidade, pequenas médias de tamanho e grandes coeficientes de variação o que evidencia a heterogeneidade no ambiente remanescente.

As métricas de vizinho mais próximo da área apresentam valores baixos evidenciando um grau significativo de isolamento entre os fragmentos. A distância média entre os fragmentos chega a 49,41 metros, o que, para o ecossistema considerado (que inclui mata de galeria) pode ser considerado como uma distância bastante elevada.

CONCLUSÕES

A utilização da metodologia aplicada alcançou os objetivos traçados, identificando padrões espectrais que se relacionam com variáveis importantes para compreensão da paisagem e conseguindo separar as fitofisionomias da área para

Tabela 1- Métricas geradas pelo Fragstats.

MÉTRICAS	Abreviação	DISPOSIÇÃO DOS FRAGMENTOS
MÉTRICAS DE ÁREA (COMPOSIÇÃO)		
Área da classe(ha)	CA	7097.85
Área total(ha)	TLA	7097.85
Percentual da classe (% da área total ocupada pelos fragmentos)	%LAND	100.00
Índice do maior fragmento (% do maior fragmento na classe)	LPI	5.03
Métricas de DENSIDADE, TAMANHO e variabilidade (configuração)		
Número de fragmentos (n)	NumP	2385.00
Tamanho médio dos fragmentos (ha)	MPS	2.98
Desvio padrão do tamanho do fragmento (ha)	PSSD	15.54
Coefficiente de variação do tamanho do fragmento (%)	PSCoV	522.04
Métricas de borda (configuração)		
Borda total (m)	TE	2718300.00
Densidade de borda (m/ha)	ED	382.98
Métricas de forma (configuração)		
Índice de forma média	MSI	1.76
Índice de forma média ponderado pela área	AWMSI	4.94
Razão do perímetro por área para toda classe	LSI	80.66
Métricas de área central (composição e configuração)		
Área central total (ha)	TCA	4510.06
Percentual de área central na paisagem (% da área total)	C%LAND	63.54
Número de áreas centrais (n)	NCA	3102.00
Densidade das áreas centrais (n/100ha)	CAD	43.70
Área central média (ha)	MCA	1.45
Desvio padrão da área central (ha)	CASD	10.80
Índice da área central total (% da classe)	TCAI	63.54
Área central média por fragmento1 (ha)	MCA1	1.89
Desvio padrão da área central 1 (ha)	CASD1	12.28
Coefficiente de variação da área central 1 (%)	CACV1	649.56
Métricas de vizinho mais próximo (configuração)		
Distância média do vizinho mais próximo (m)	MNN	49.41
Índice de proximidade média	MPI	621.65

posterior análise dos fragmentos de forma eficiente. Encontramos na área de estudo padrões espectrais de vegetação bastante distintos, onde a classe VFA acabou por corresponder às formações florestais (Mata de Galeria e Cerradão) e, a VNFA 1 a formações savânicas (cerrado típico e denso).

Entretanto, é importante ressaltar as dificuldades encontradas devido à intensa modificação antrópica da área que pode ter interferido diretamente no desempenho do classificador utilizado, promovendo uma confusão nos padrões espectrais VNFA2 e VNFA+SOLO, que tornou necessária a utilização da análise

morfométrica. A partir deste tipo de análise, foi possível subdividir os padrões VNFA2 e VNFA+SOLO, em pastagem e cerrado ralo e, campo rupestre e área de cultivo, respectivamente.

A tabela gerada pelo Fragstats expressa fatores relevantes, principalmente no que diz respeito à composição e a configuração dos fragmentos, mostrando um elevado grau de isolamento, um índice bastante elevado de fragmentação e uma baixa conectividade entre a formação florestal remanescente o que pode ser atribuído a elevada expansão agropecuária e as atividades mineradoras existentes na região.

Entretanto, é importante salientar que os métodos de detecção utilizados possuem bastante relevância, principalmente em relação aos parâmetros de borda e forma podendo influenciar diretamente nos resultados obtidos. Sendo assim, salienta-se que o estudo busca revelar tendências para os ambientes analisados proporcionando um direcionamento preciso para as áreas que demandem maior detalhamento em estudos posteriores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, M. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n. 5, 2000, p. 847–859.
- ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. In: W. J. GOEDERT (ed). *Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*, Planaltina: EMBRAPA-CPAC; São Paulo, Nobel, 1987,33-98.
- AGÊNCIA AMBIENTAL DE GOIÁS. 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/>>, acessado em 13/09/2006.

ANDRADE, A.C. Análise dos Fragmentos Florestais na Bacia do Rio Ariranha (SC), a partir de Imagem Ikonos, associada à Geomorfologia como Subsídio à Gestão Ambiental. Dissertação de Mestrado em Gestão Ambiental e Territorial – Universidade de Brasília, Brasília, 2005 p. 39-44.

BOARDMAN, J. W.; KRUSE, F. A. Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada: In: ERIM - Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 10, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI. Proceedings, v. 1, 1994, p. 407-418.

BOARDMAN, J. W.; KRUSE, F. A.; GREEN, R. O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In: Proceedings of The 5th. JPL Airborne Earth Science Workshop. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory, 1995, p. 23-26.

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

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.22. Goiás; geologia, geomorfologia, pedologia e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 640 p.

BROWN DE COLSTOUN, E. C.; STORY, M. H.; THOMPSON, C.; COMMISSO, K.; SMITH, T. G.; IRONS, J. S. National Park vegetation mapping using multitemporal Landsat 7 data and a decision tree classifier. Remote Sensing of Environment, v.85, p. 316-327, 2003.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GUIMARÃES, R. F.; LOPES, R. A. S.; GUIMARÃES, P. H.; MARTINS, E. S.; PEDRENO, J. N. 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. 2003.
- CARVALHO JUNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. DE S; CARVALHO, A.P.F.; GOMES, R.A.T. Aplicação do Método de Identificação Espectral para Imagens do Sensor ASTER em Ambiente de Cerrado. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.23, n.2 2005, p. 1-14
- CARVALHO, A.P.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; MADEIRANETO, J. S.; BUSTAMANTE, M. M. C. 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. 2001
- COLVOCORESSES, A.P. An automated mapping satellite system (Mapsat). In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.48, n.10, 1982, p.1585– 159.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: J. G. Goldammer, *Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges*, Berlim: Springer-Verlag, 1990, p.82-103.
- CUARTERO, A.; FELICÍSIMO, A. M.; ARIZA, F. J. Accuracy, Reliability, and Depuration of SPOT HRV and Terra ASTER Digital Elevation Models. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING* v. 43, n. 2, 2005, p. 404-407.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. In: *The Botanical Review*, v. 38, n. 2, p, 1972, 201-341.
- ESRI. *Understanding GIS – The ARC/INFO Method*. New York: Wiley, 1993. 535 p.
- FORMAN, R.T.T.; ALEXANDER, L.E. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.29, 1998 p.207-231,.

- FUJISADA, H. Overview of ASTER instrument on EOS-AM1 platform. Proceedings of SPIE, vol. 2268, The International Society for Optical Engineering, 1994, p. 14– 36.
- FUJISADA, H.; SAKUMA, F.; ONO, A.; KUDOH, M. Design and pre-flight performance of ASTER instrument protoflight model. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.36, n.4, 1998, p. 1152-1160.
- FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. Global Ecology and Biogeography, v. 8,1999, p. 223-241.
- GREEN, A. A.; BERMAN, M.; SWITZER, P.; CRAIG, M. D. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.26, 1988, p. 65-74.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Mapa de Solos. Disponível em: <<http://www.ibge.org.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2006.
- JET PROPULSION LABORATORY(JPL). ASTER higher-level product user guide. JPL D20062, 2001, 80p.
- KRUCKLEBERG, A.R. Soil diversity and the distribution of plants with examples from western North America, Madroño, 20, 129-154. 1969.
- KRUSE F A, LEFKOFF A B, BOARDMAN J W, HEIEDBRECHT K B, SHAPIRO A T, BARLOON P J & GOETZ A F H. The Spectral Image Processing System (SIPS) – interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. Remote Sensing of Enviroment, v.44, 1993, p. 145-163.
- MARQUES, A. J. Mapeamento de Fragmentos de Mata no Município de Maringá, PR: Uma abordagem da ecologia da paisagem. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo, 2004 p. 03.
- MCGARIGAL, K; MARKS, B.J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for

quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 1995, 122 p.

NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A. Caracterização Metamórfica /Estrutural dos Corpos Metaultramáficos da Região de Mairipotaba-Cromínia e Pontalina Goiás. Revista Brasileira de Geociências. V:35,n.4, 2005, p.483-492

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As matas de galeria no contexto do bioma Cerrado. In: Cerrado: Caracterização e recuperação de matas de galeria, Planaltina: Embrapa Cerrados, , 2001, p. 29-47.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998, p. 89-166,

RODRIGUES, V. G.; ANGELI, N. Petrologia e Geoquímica das Ocorrências de Cromitas na Região de Mairipotaba e Cromínia, (GO). In: VIII Simpósio de Geologia do Sudoeste. São Pedro, São Paulo, 2003.

SAFAVIAN, S. R.; LANDGREBE, D. A survey of decision tree classifier methodology. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, 21, 1991, p. 660-674.

VALERIANO, M. M. Modelos Digitais de Elevação de Microbacias Elaborados com Krigagem. Ministério da Ciência e Tecnologia Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002, p. 56

VICENTINI, K. R. F. Análise Palinológica de uma Vereda em Cromínia (GO). Dissertação de Mestrado em Ecologia –Universidade de Brasília, Brasília, 1993, p. 86.

VOLOTÃO, C. F. de S. Trabalho de análise espacial métricas do FRAGSTATS. São José dos Campos. Ministério Da Ciência E Tecnologia Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais Curso De Pós-Graduação Em Sensoriamento Remoto. São Paulo, 1998, 48 p.

WEISS, S. M. KULIKOWSKI, C. A. Computer Systems that learn. San Mateo: Morgan

Kaufman Publishers, 1991.

YAMAGUCHI Y.; KAHLE, A.; TSU, H.; KAWAKAMI, T.; PNIEL, M. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.36 n.4, 1998, p. 1062-1071.