



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – IH  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA  
MESTRADO EM GEOGRAFIA

**ABORDAGEM METODOLÓGICA BASEADA NOS DADOS MULTITEMPORAIS MODIS EVI/NDVI  
PARA CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA REGIÃO DO PARQUE NACIONAL DA  
CHAPADA DOS VEADEIROS/GO**

**CÁRITA DA SILVA SAMPAIO**  
Matrícula: 05/27718

Orientador: **Osmar Abílio de Carvalho Júnior**

Dissertação de Mestrado

Brasília, Julho de 2007.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – IH  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA  
MESTRADO EM GEOGRAFIA

**ABORDAGEM METODOLÓGICA BASEADA NOS DADOS MULTITEMPORAIS MODIS EVI/NDVI  
PARA CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA REGIÃO DO PARQUE NACIONAL DA  
CHAPADA DOS VEADEIROS/GO**

**CÁRITA DA SILVA SAMPAIO**

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração em Gestão Ambiental.

Aprovado por

---

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior – Universidade de Brasília  
Orientador

---

Dr. Edson Eyji Sano - Embrapa CPAC-Planaltina/DF  
Examinador Externo

---

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro– INPE – Divisão de Sensoriamento Remoto – São José  
dos Campos/SP  
Examinador Externo

---

Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães  
Suplente – Universidade de Brasília

Brasília, 03 de julho de 2007.

[Ficha Catalográfica]

SAMPAIO, Cárta da Silva.

Abordagem metodológica baseada nos dados multitemporais MODIS EVI/NDVI para classificação da cobertura vegetal na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO. 73f. 297 mm (UnB-IH-Dep. Geografia, mestre, Gestão Ambiental, 2007).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Departamento de Geografia

1. Análise Multitemporal  
3. MODIS EVI/NDVI

2. Chapada dos Veadeiros  
4. Detecção de Mudança

I. UnB-Geografia

II. Título (série)

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação, e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

*Cárta da Silva Sampaio*

À minha filha Luisa Helena, verdadeira e única inspiração  
e motivo de persistência.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, origem de tudo, por me permitir ter saúde e perseverança para terminar este projeto; aos meus familiares que de longe ou de perto foram solidários e entenderam meu distanciamento; aos colegas do Lsie/UnB, em especial ao *Sandro Nunes* e à *Maria Elisabete Silveira Borges* pela paciência, dedicação e prestatividade na elaboração desta dissertação; ao Departamento de Geografia e seu corpo docente, em especial meu professor Orientador *Osmar Abílio de Carvalho Júnior* pelas importantes contribuições teóricas e técnicas; aos vários alunos que se solidarizaram com meu esforço durante toda esta trajetória; aos colegas da GRPU/GO (Gerência Regional do Patrimônio da União em Goiás) pela compreensão nos momentos de ausência e enfim, à professora *Jeanini Felfili* – Engenharia Florestal/UnB - e ao pesquisador *Edson Eijy Sano* – CPAC/Embrapa – pelas importantes contribuições informacionais e didáticas desta dissertação, inclusive no fornecimento de dados.

## RESUMO

A savana é o principal tipo de vegetação no Brasil Central, cobrindo aproximadamente 23% do território nacional. Localmente é conhecida como Cerrado, e é formada por um mosaico de fitofisionomias tais como campo, campo cerrado e cerrado que possuem um típico ciclo fenológico. Neste contexto, os dados do MODIS fornecem medidas diárias que permitem monitorar a sazonal fenologia da vegetação. O presente trabalho objetiva avaliar o emprego de assinaturas temporais para detectar tipos de savanas no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. A metodologia adotada foi subdividida nos seguintes passos: (a) elaboração do cubo 3D das imagens temporais NDVI e EVI – MODIS, onde o perfil em z corresponde à assinatura temporal, (b) tratamento do ruído, (c) detecção dos membros finais utilizando o invólucro convexo, e (d) classificação. O tratamento do ruído utilizou os seguintes métodos: (a) exclusão da imagem com alta porcentagem de ruído, (b) aplicação de um filtro móvel de mediana para suavizar o espectro temporal, e (c) emprego da Transformação *Minimum Noise Fraction* (MNF). A identificação automática dos membros finais compreendeu os seguintes passos: (a) redução espectral pela transformação MNF, (b) redução espacial pelo índice de *Pixel Purity Index* (PPI) e (c) identificação manual dos membros finais usando o visualizador n-dimensional. Na classificação foram usados dois métodos: (a) *Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques* (ISODATA) e (b) árvore de decisão. Os resultados demonstraram que as fisionomias do cerrado apresentam típicas assinaturas temporais. Os membros finais correspondem ao campo, cerrado e área cultivada. A assinatura do campo se caracteriza pelos baixos valores no período de estudo, o cerrado pelos altos valores e as áreas de agricultura por uma alta variação com altos valores durante a época de chuva e baixos valores na época da seca. A classificação não supervisionada pelo método ISODATA permitiu um conhecimento à priori dos dados, onde o mapa classificado obtém uma definida distribuição. A árvore de decisão possibilitou um aprimoramento da classificação que obtém as classes de campo, cerrado e agricultura. Comparações com imagem Landsat 7/ETM+ demonstraram a eficiência da classificação das séries temporais. O estudo concluiu que as séries NDVI e EVI são úteis na diferenciação dos tipos de vegetação. A eficiência da metodologia tem sido provada para regional delimitação das fisionomias de savana, mesmo considerando a baixa resolução espacial do sensor MODIS, e conseqüentemente com alta mistura espectral.

**Palavras Chaves:** Cerrado, Savana, MODIS, NDVI, detecção de mudança, análise multitemporal.

## ABSTRACT

Savannas are the main vegetation type in Central Brazil, covering approximately 23% of the national territory. Locally known as Cerrado, Brazilian savannas are formed by a mosaic of different physiognomies such as grassland, shrubland and woodland that have a typical phenological cycle. In this context, the MODIS data provide daily measurements well suited to monitor the seasonal phenology of vegetation. The present work aims to evaluate the advantages of the temporal signatures to detect Brazilian Savanna vegetation types in the Chapada dos Veadeiros National Park. The adopted methodology was subdivided into the following steps: (a) elaboration of the 3D cube of NDVI and EVI from MODIS temporal images, where the z profile corresponds to temporal signature, (b) noise elimination, (c) endmember detection, and (d) classification. The noise elimination utilized three methods: (a) exclusion of the image with high percentage of noise, (b) application of the three-point moving median filter to smooth temporal spectrum, and (c) employment of the Minimum Noise Fraction Transformation. Endmembers' automatic identification encompasses the following steps: a) spectral reduction by the *Minimum Noise Fraction* (MNF) transformation, (b) spatial reduction by the Pixel Purity Index (PPI), and (c) manual identification of the endmembers using the N-dimensional visualizer. In the classification we used two methods: (a) Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques (ISODATA), and (b) tree decision. The results demonstrated that the savanna physiognomies present typical temporal signatures. The endmembers corresponded to grassland, woodland and cultivate area. The grassland signature characterized by lower values in the study period; the woodland by higher values and agriculture areas by a higher variation with higher values in the raining season and lower values in the dry season. The unsupervised classification by ISODATA method allowed a priori knowledge of the data, which the map classification obtained a defined distribution. The tree decision enables an approach classification obtained the classes of the grassland, woodland and agriculture. Comparison with Landsat 7/ETM+ image demonstrated the classification efficiency of the temporal series. The study concluded that the NDVI and EVI series is useful in differentiation amount vegetation types. The methodology efficiency has been proved for regional delimitation of savanna physiognomies even considering the low spatial resolution of the 250m MODIS sensor and consequently with high spectral mixture.

**Key words:** Cerrado, Savanna, MODIS, NDVI, change detection, multitemporal analysis.

## SUMÁRIO

<b>I . INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 . <b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>	14
<b>II . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1 . <b>CERRADO.....</b>	21
2.2 . <b>CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SENSOR MODIS.....</b>	25
a) - <i>Geometria do sensor MODIS.....</i>	30
b) - <i>Geolocalização do sensor MODIS .....</i>	32
c) - <i>Níveis de processamento dos dados.....</i>	32
d) - <i>Garantia de qualidade “QUALITY ASSURANCE” dos dados do sensor MODIS.....</i>	34
2.3 . <b>ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....</b>	35
2.4 . <b>PRODUTO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MOD13Q1.....</b>	38
<b>III . METODOLOGIA.....</b>	<b>42</b>
3.1. <b>CONFECÇÃO DO CUBO 3D DAS IMAGENS TEMPORAIS NVDI E EVI.....</b>	44
3.2. <b>TRATAMENTO DO RUÍDO .....</b>	45
3.3. <b>IDENTIFICAÇÃO DOS MEMBROS FINAIS .....</b>	47
3.4. <b>CLASSIFICAÇÃO .....</b>	48
<b>IV – RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
4.1. <b>RESULTADOS DO TRATAMENTO DE RUÍDO .....</b>	50
4.2. <b>RESULTADOS DOS PROCESSOS PARA IDENTIFICAÇÃO DOS MEMBROS FINAIS .....</b>	52
4.3. <b>RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO .....</b>	57
<b>V – CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS VEADEIROS.....	15
FIGURA 2: ATRAÇÕES TURÍSTICAS DA CHAPADA DOS VEADEIROS.....	16
FIGURA 3: DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS PARA A REGIÃO DO CERRADO.....	17
FIGURA 4: MAPA DE VEGETAÇÃO DO PARQUE NACIONAL CHAPADA DOS VEADEIROS (IBAMA, 2005).....	19
FIGURA 5: FITOFISIONOMIAS DE CERRADO.....	22
FIGURA 6: SISTEMA DE REFERÊNCIA DOS PRODUTOS MODIS.....	31
FIGURA 7: IMAGEM DO CUBO 3D RELATIVO À SÉRIE TEMPORAL NDVI DO SENSOR MODIS.....	44
FIGURA 8: IMAGEM EVI DO SENSOR MODIS COM ALTA PORCENTAGEM DE RUÍDO.....	45
FIGURA 9: FILTRO ESPECTRAL DE MEDIANA.....	46
FIGURA 10: SEQÜÊNCIA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAÇÃO DOS MEMBROS FINAIS.....	47
FIGURA 11: IMAGENS NDVI COM PRESENÇA DE ÁREAS EXTENSAS COM DEGRADAÇÃO DO SINAL.....	50
FIGURA 12: GRÁFICO DE AUTOVALORES DA TRANSFORMAÇÃO MNF PARA IMAGENS TEMPORAIS.....	51
FIGURA 13: ESPECTROS TEMPORAIS NDVI E EVI.....	52
FIGURA 14: IMAGENS PROVENIENTES DA TRANSFORMAÇÃO MNF PARA A SÉRIE TEMPORAL EVI.....	53
FIGURA 15: IMAGENS PROVENIENTES DA TRANSFORMAÇÃO MNF PARA A SÉRIE TEMPORAL NDVI.....	53
FIGURA 16: DIAGRAMA DE DISPERSÃO ENTRE A 1ª COMPONENTE MNF E A 2ª COMPONENTE MNF EVI.....	54
FIGURA 17: DIAGRAMA DE DISPERSÃO ENTRE A 1ª COMPONENTE MNF E A 2ª COMPONENTE MNF NDVI.....	54
FIGURA 18: IMAGENS DO PROCESSAMENTO PPI CONSIDERANDO VALORES SUPERIORES A 2 PPI.....	55
FIGURA 19: DISTRIBUIÇÃO DOS AGRUPAMENTOS DOS MEMBROS FINAIS DA SÉRIE TEMPORAL EVI.....	56
FIGURA 20: DISTRIBUIÇÃO DOS AGRUPAMENTOS DOS MEMBROS FINAIS DA SÉRIE TEMPORAL NDVI.....	57
FIGURA 21: IMAGEM DO SENSOR LANDSAT7/ETM+ RELATIVO À ÁREA DE ESTUDO.....	58
FIGURA 22: CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS TEMPORAIS MODIS PELO MÉTODO ISODATA.....	59
FIGURA 23: IMAGEM CLASSIFICADA PELO MÉTODO DE ÁRVORE DE DECISÃO RELATIVA À SÉRIE TEMPORAL EVI.....	60
FIGURA 24: IMAGEM CLASSIFICADA PELO MÉTODO DE ÁRVORE DE DECISÃO RELATIVA À SÉRIE TEMPORAL NDVI.....	60
FIGURA 25: DETALHE DAS ÁREAS COM PARCELAS DE CULTIVO.....	61
FIGURA 26: DETALHE DAS ÁREAS DE CERRADO DENSO.....	62
FIGURA 27: DETALHE DAS ÁREAS DE CERRADO DENSO E CAMPO.....	62

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES NA CHAPADA DOS VEADEIROS.....	20
TABELA 2: CARACTERÍSTICAS DAS FITOFISIONOMIAS DE CERRADO .....	23
TABELA 3: ESPECIFICAÇÕES DAS BANDAS 1 A 19 DO SENSOR MODIS .....	28
TABELA 4: ESPECIFICAÇÕES DAS BANDAS 20 A 36 DO SENSOR MODIS .....	29
TABELA 5: FINALIDADES DOS PRODUTOS MODIS .....	30
TABELA 6: NÍVEIS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS MODIS .....	33
TABELA 7: CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS MOD13 .....	38
TABELA 8: CONJUNTO DE IMAGENS DISPONIBILIZADAS ATRAVÉS DOS PRODUTOS ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MODIS .....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1. APC: Análise de Principais Componentes
2. AQUA: Earth Observing System (PM)
3. ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
4. AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer
5. BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function
6. CDB: Convenção sobre a Diversidade Biológica
7. CERES: Clouds and the Earth's Radiant Energy System
8. CPAC: Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado
9. CV-MVC: Ângulo de Visada Limitado – Máximo Valor na Composição
10. ECS: EOSDIS Core System
11. EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
12. ENVI: Environment for Visualizing Images
13. EOS: Earth Observing System
14. EOSDIS: EOS Data Information System
15. ETM: Enhanced Thematic Mapper Plus
16. EVI: Enhanced Vegetation Index
17. fPAR: Fraction of Photosynthetically Active Radiation
18. GES DAAC: Goddard Space Flight Center Earth Sciences Distributed Active Archive Center
19. IAF: Índice de Área Foliar
20. IHS: Intensity Hue Saturation
21. IBAMA: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
22. IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

23. IDL: Interactive Data Language
24. ISODATA: Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique
25. JICA: Agência de Cooperação Internacional do Japão
26. MISR: Multiangle Imaging SpectroRadiometer
27. MNF: Minimization Noise Fraction
28. MODAPS: MODIS Adaptive Processing System
29. MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
30. MOPITT: Measurements Of Pollution In The Troposphere
31. MVC: Máximo Valor de Composição
32. MWIR: Medium Wave Infrared (Infravermelho Ondas Médias)
33. NASA: National Aeronautics and Space Administration
34. NDVI: Normalized Difference Vegetation Index
35. NIR: Near Infrared (Infravermelho Próximo)
36. PNCV: Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros
37. PPI: Purity Pixel Index
38. QA: Quality Assurance
39. SDS: Arquivo Padrão de Saída de Dados MODIS
40. SWIR: Short Wave Infrared (Infravermelho Ondas Curtas)
41. TDRSS: Tracking Data Relay Satellite System
42. TERRA: Earth Observing System (AM)
43. VFA: Vegetação Fotossinteticamente Ativa
44. VIS: Visível

## I. INTRODUÇÃO

O Cerrado é uma formação do tipo savana tropical, ocupa cerca de dois milhões de quilômetros quadrados no Brasil Central, representando 23% do território nacional, e é o segundo bioma em extensão, depois da Floresta Amazônica (EITEN, 1972; DIAS, 1992). Ocorre em diferentes tipos de solos, formações geológicas e altitudes que variam de 300 (Baixada Cuiabana-MT) a 1600 metros (Chapada dos Veadeiros-GO).

Nas últimas décadas este bioma tem sido explorado intensamente para produção agrícola e plantios florestais que fragmentam a paisagem do Cerrado (AB`SABER, 2003). Estima-se que cerca de 40% dos 208 milhões de hectares de Cerrado contínuo já tenham sido convertidos em pastagens cultivadas, áreas agrícolas e outros tipos de uso (SANO et al., 2001). Esta conversão do uso do solo no Cerrado tem implicações diretas sobre a distribuição dos recursos hídricos para os outros biomas adjacentes, pois as três maiores bacias hidrográficas da América Latina recebem águas do Cerrado. A bacia Amazônica (Araguaia-Tocantins) tem 78% de suas nascentes neste bioma, a bacia do Paraná-Paraguai possui 48%, enquanto a bacia do São Francisco tem quase 50%. Conhecido como “berço das águas”, o Cerrado possui uma malha de nascentes, córregos e rios de fundamental importância para os ecossistemas brasileiros (ARRUDA, 2003).

A importância da interligação ecossistêmica do Cerrado com seus adjacentes, bem como sua biodiversidade, colocam-no como um dos três biomas brasileiros de elevada diversidade sob grande ameaça de extinção (ARRUDA, 2003), o que enfatiza a relevância do aprimoramento de técnicas para o seu monitoramento. Neste propósito, é fundamental o estabelecimento de tecnologias eficientes para o monitoramento dos ecossistemas do Cerrado. O sensoriamento remoto permite estender medições da vegetação em diferentes escalas temporais e espaciais. A natureza contínua dos dados espectrais no tempo permite desenvolver estudos envolvendo o comportamento sazonal e as mudanças da composição biofísica e bioquímica de dosséis (MORA & IVERSON, 1997; STONE et al., 1994; SADER et al., 1990).

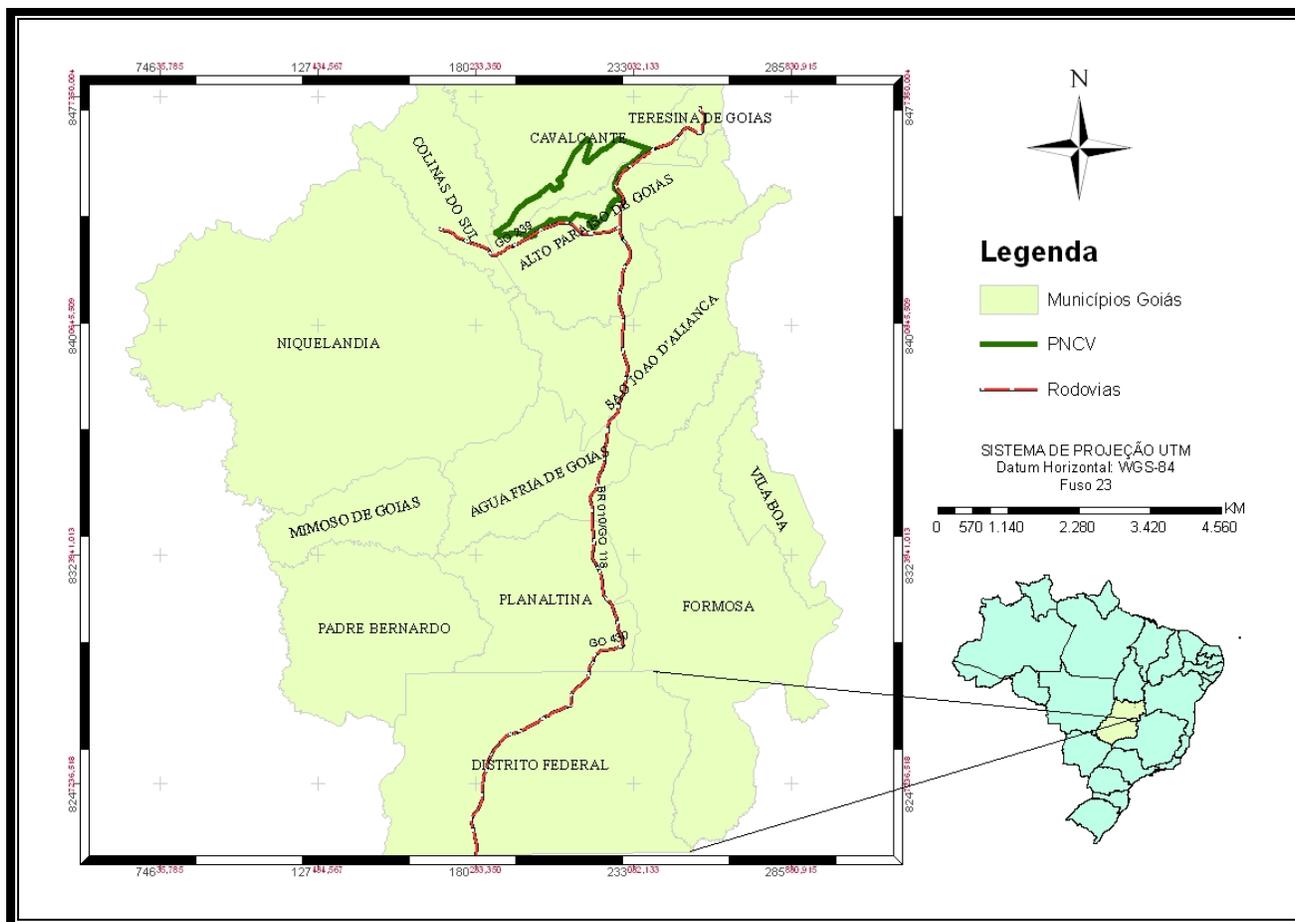
Os espectros da vegetação do Cerrado apresentam intensa variação entre os períodos de seca e de chuva, tanto em relação aos constituintes biofísicos como bioquímicos (ASNER, 1998; CARVALHO, 2005). O comportamento temporal da vegetação fornece importantes indícios sobre as fitofisionomias presentes através dos diferentes atributos de fenologia das plantas, como a variação da arquitetura da vegetação, presença de pigmentos na planta, entre outros.

Neste propósito, as imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) mostram-se adequadas para a realização de estudos temporais. O sensor MODIS, concebido pelos trabalhos liderados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) foi lançado a bordo das plataformas TERRA e AQUA, nos anos de 1999 e 2002, respectivamente, fornecendo um recobrimento global e contínuo diariamente, com resoluções espaciais variadas (JUSTICE et al., 2002a). Esse sensor foi concebido para auxiliar o estudo integrado do funcionamento da terra, oceanos e atmosfera considerando o planeta como um único ecossistema inter-relacionado, integrando os seus diversos biomas e ambientes na superfície terrestre. Características importantes do MODIS são a correção dos efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, etc.) e a disponibilidade de dados georreferenciados.

O presente trabalho tem como objetivo identificar assinaturas temporais dos índices de vegetação do sensor MODIS com o propósito de classificar a cobertura vegetal na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) em Goiás. Devido às características fenológicas do cerrado é proposta uma classificação que considera o atributo temporal de forma a detectar e descrever a variabilidade da vegetação fotossinteticamente ativa, tanto espacialmente como temporalmente.

### **1.1 . Área de Estudo**

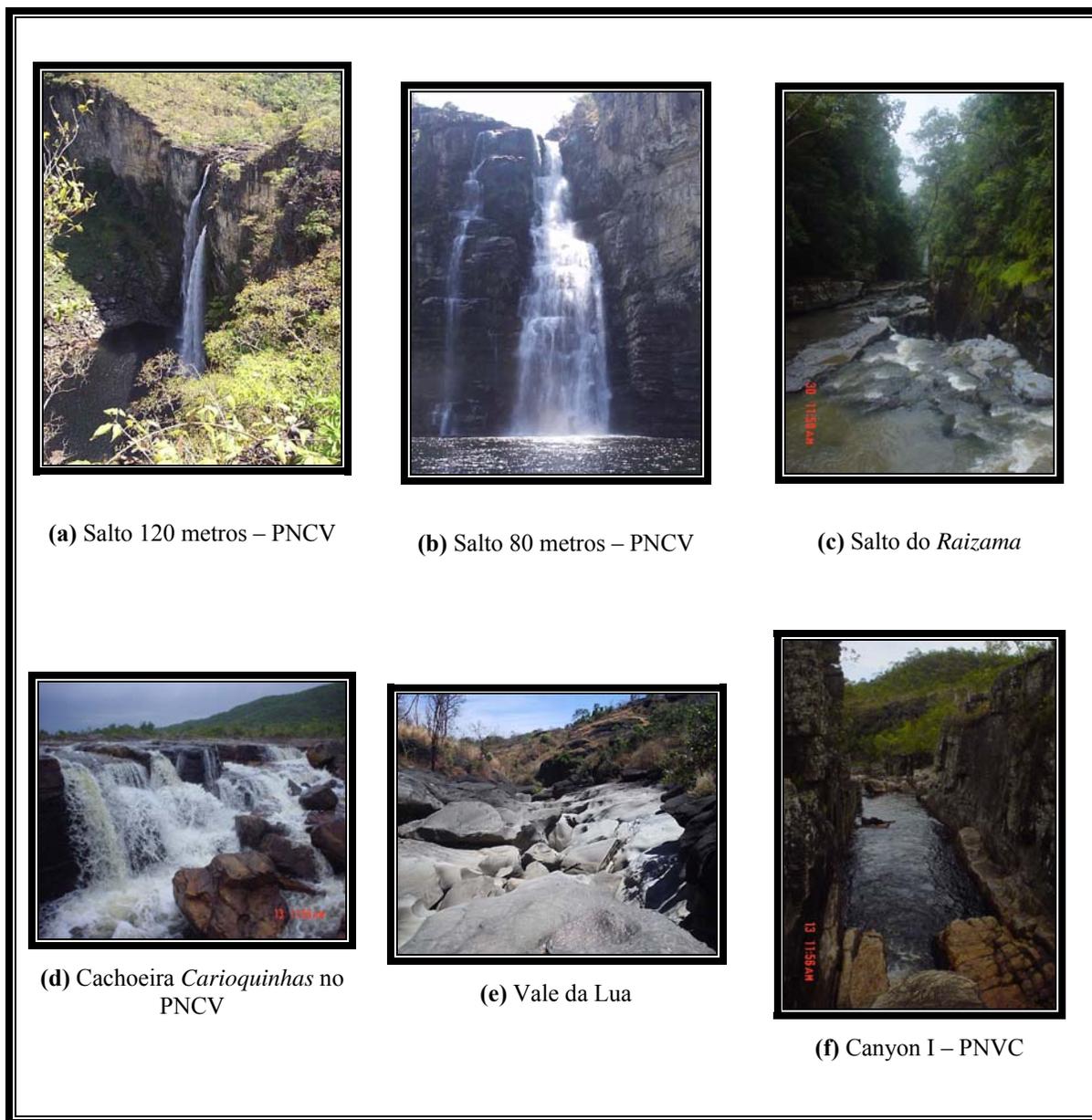
O Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) está localizado no segmento nordeste do Estado de Goiás, entre as latitudes 13° 51' e 14° 10'S e as longitudes 47° 25' e 47° 42'W (**Figura 1**). O acesso, a partir de Brasília, se dá através da BR-020 – que cruza o Distrito Federal no sentido Sul-Norte - até o cruzamento com a GO-118, passando pelas cidades de São Gabriel, São João da Aliança até alcançar a cidade de Alto Paraíso. O limite do Parque está situado a oeste de Alto Paraíso de Goiás, sendo seu extremo leste distribuído ao longo da GO-118 (entre Alto Paraíso e Teresina de Goiás) e seu limite sul correndo ao longo da estrada estadual que liga Alto Paraíso a Colinas do Sul. O acesso à entrada da unidade de conservação se dá pelo povoado de São Jorge – distrito do município de Alto Paraíso. O PNCV encontra-se cortado pelos municípios de Cavalcante ao norte e Alto Paraíso ao sul.



**Figura 1:** Mapa de localização do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

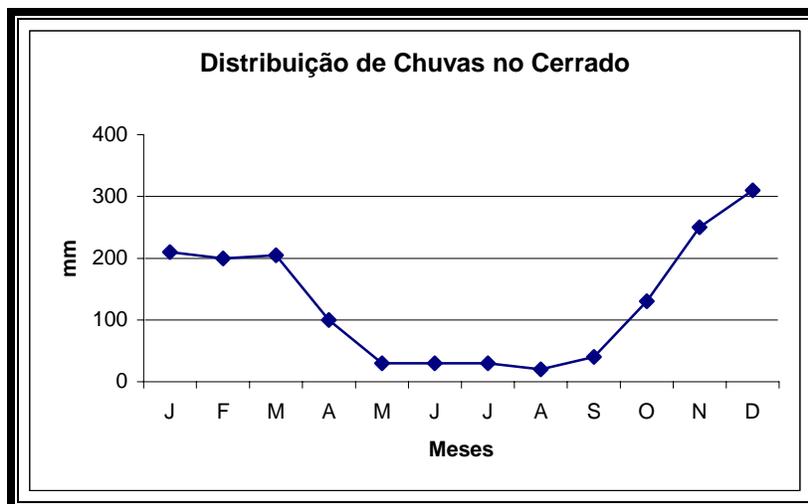
Criado pelo Decreto Federal nº 49.875 de 11 de janeiro de 1961, com uma área de 625 mil hectares e com o nome de Parque Nacional do Tocantins, a unidade de conservação englobava fazendas de gado e povoados como o de São Jorge, constituídos de garimpeiros em plena atividade. Em 1972, sua área foi reduzida para 171.924 ha. e seu nome alterado para Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. A última redução aconteceu em 1981, passando aos atuais 60 mil ha. (GALANTE & PAES, 1991).

Dentre as principais atrações turísticas da região abertas à visitação - Parque e adjacências - destacam-se: as cachoeiras de 120 (**Figura 2a**) e 80 metros (**Figura 2b**), Salto São Domingos, Salto do Raizama (**Figura 2c**), Cachoeira do Cordovil, Cachoeira das Carioquinhas (**Figura 2d**), as corredeiras denominadas de Pedreira, Carrossel e Vale da Lua (**Figura 2e**), os Canyons I (**Figura 2f**) e II, além de inúmeras trilhas com paisagens e vistas panorâmicas.



**Figura 2:** Atrações turísticas da Chapada dos Veadeiros.

A região do Cerrado, de maneira geral, encontra-se em médias latitudes e apresenta como principal tipo climático o Tropical Estacional (Aw). Na região da Chapada dos Veadeiros estas características também podem ser aplicadas. Aproximadamente 90% da chuva está concentrada de outubro a abril, enquanto na estação seca (maio a setembro), a umidade do ar é muito baixa (abaixo de 20% em agosto e setembro) e a quantidade de chuvas pode chegar a zero em alguns meses (**Figura 3**). Este comportamento sazonal ocasiona um estresse hídrico que favorece eventos de fogo (FELFILI et al., 1999).



**Figura 3:** Distribuição de chuvas para a região do Cerrado.

**Fonte:** Adaptado de Rocha (2002) in Hermuche, 2005.

A região do PNCV está inserida na porção norte da Faixa de Dobramentos e Cavalgamentos Brasília, na Província Estrutural do Tocantins. Dentro dos limites do parque predominam, amplamente, metassedimentos de baixo grau metamórfico atribuídos ao Grupo Araí e rochas de composição granítica que compõe o embasamento da região. Sobrepondo o Grupo Araí em discordância erosiva, ocorre, a sul da região do PNCV, uma seqüência psamo-pelito-carbonática, atribuída ao Grupo Paranoá, que se estende ao longo da Serra Geral do Paraná, ocupando áreas nas regiões de Alto Paraíso, São João da Aliança, São Gabriel e Distrito Federal (DARDENNE & CAMPOS, 2002; FARIA, 1995). O complexo granito-gnáissico exposto no extremo norte do PNCV é predominantemente constituído por ortognaisses de composição tonalítica a granodiorítica, associados a grandes batólitos de composição granítica, comumente representados por biotita granitos. De modo geral, apresentam foliação marcada por bandamentos máfico-félsicos e faixas de cisalhamento, desenvolvendo foliações miloníticas e cataclásticas marcando zonas de domínio rúptil e dúctil-rúptil (DARDENNE & CAMPOS, 2002).

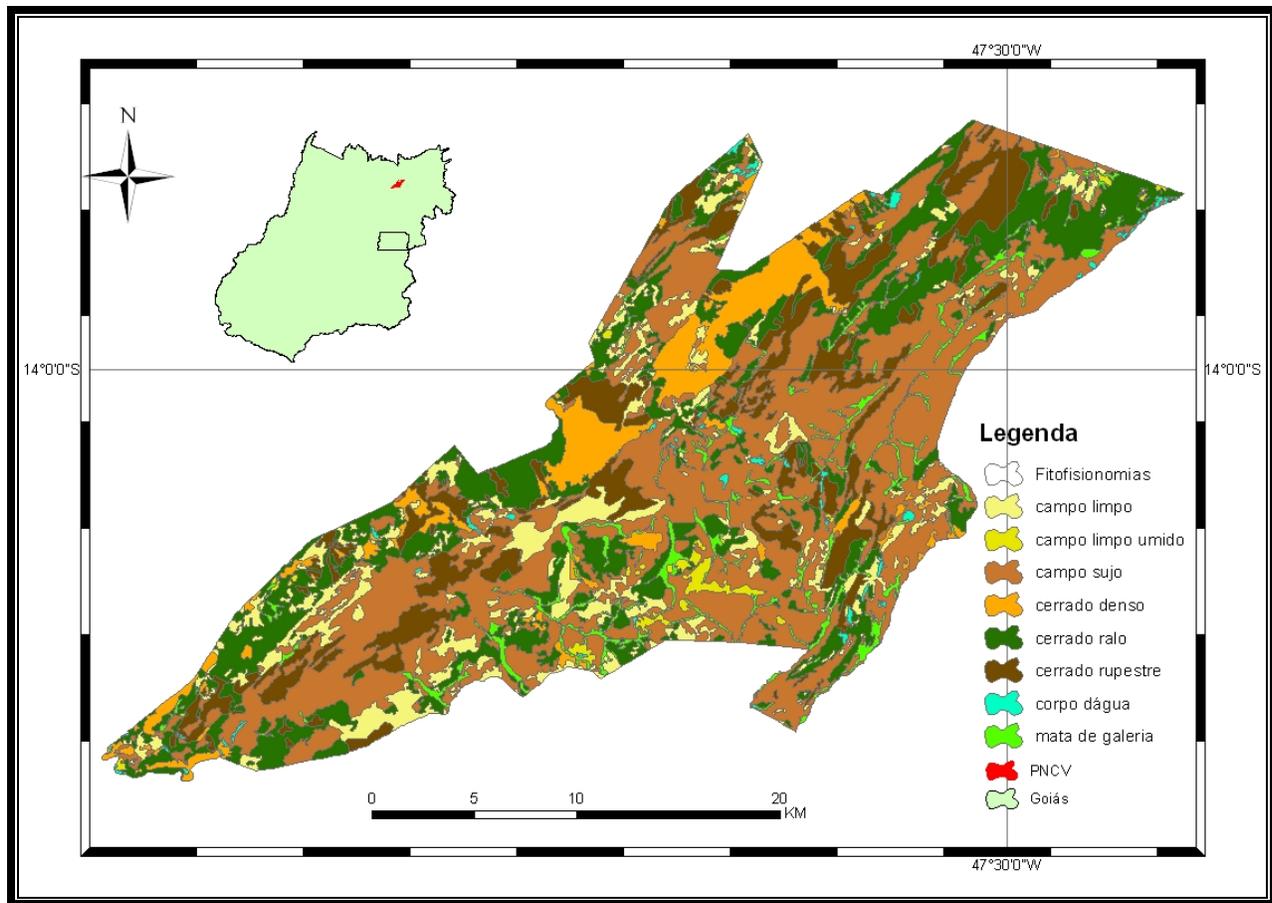
Carvalho et al. (2001) obtiveram a compartimentação geomorfológica da Chapada dos Veadeiros utilizando técnicas de geoprocessamento, baseada em critérios de hipsometria e declividade. Utilizando normas empregadas pelo IBGE (1995) e mantendo a terminologia descritiva utilizada no RADAMBRASIL, Folha Brasília (BRASIL, 1982), foi possível identificar dois domínios geomorfológicos: (a) Domínio do Planalto Central-Goiano e (b) Domínio de Depressões Interplanálticas. O Domínio do Planalto Central-Goiano é representado no PNCV pelo Complexo Montanhoso dos Veadeiros que se subdivide nas unidades: Cadeias Cristalinas

com Alinhamento de Cristas; Dissecação Intermediária, Depressões Interplanálticas e Borda Estrutural. O Domínio de Depressões Interplanálticas pode ser subdividido nas unidades: Depressão do Tocantins e Vão do Paranã.

Dentro do PNVC, predominam solos rasos e pobres em nutrientes representados por Neossolos litólicos, Cambissolos ou Plintossolos, eventualmente com pequenos afloramentos rochosos de pouca extensão. Essas características impõem restrições à ocupação antrópica, gerando, por consequência, um certo grau de preservação da vegetação original (FELFILI et al., 2007). Os solos hidromórficos ocorrem em pequenas áreas planálticas abertas, associados às cabeceiras de drenagem (GALANTE & PAES, 1991). As manchas de latossolo existentes na área ocorrem de forma setorial e condicionam o aparecimento de Cerrado denso e campo sujo. Há alguns trechos melhores e mais profundos, onde a vegetação mostra-se mais rigorosa, embora, mesmo assim, se apresente típica de Cerrado.

A vegetação presente no PNCV caracteriza-se pela distribuição de extensas veredas em transição com matas de galeria entremeada com campos úmidos. Existem ainda os campos sujos, que ocorrem em áreas de lençol freático superficial, e campos limpos nas planícies aluviais a montante do Rio Preto. No PNCV, as formações campestres prevalecem sobre o cerrado sensu strictu, de estrutura fisionômica arbustiva, onde as árvores são pequenas e afastadas umas das outras (BRASIL, 1982). O predomínio da vegetação campestre está associado à presença do solo litólico, que impede a colonização de plantas de maior porte (EITEN, 1972; FELFILI et al., 2007). As formações de Mata de Galeria encontram-se sob solos de areia quartzosa nos vales com relevo plano. No interior das matas, os solos apresentam gleização e um teor maior de matéria orgânica nas camadas superficiais (FELFILI et al., 2007).

O mapa de vegetação do PNCV foi realizado em conjunto pelas seguintes instituições: IBAMA, JICA e Embrapa Cerrados (CPAC) (IBAMA, 2005). Esse mapa foi gerado a partir de imagens Landsat 7/ETM+ do ano de 2003 com o emprego da análise visual após o trabalho de realce por IHS (Intensity Hue Saturation) (**Figura 4**).



**Figura 4:** Mapa de Vegetação do Parque Nacional Chapada dos Veadeiros (IBAMA, 2005).

Por fim, uma análise integrada dos fatores ambientais da PNCV foi proposta por Correia et al., (2001) onde descreve a presença de seis ambientes principais (**Tabela 1**).

**TABELA 1: CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES NA CHAPADA DOS VEADEIROS**

<b>Ambiente</b>	<b>Geologia</b>	<b>Geomorfologia</b>	<b>Vegetação</b>
1	Quartzitos grossos da unidade Q2 do Grupo Araí.	Complexo montanhoso Veadeiros-Araí; rampa ou superfície levemente inclinada intercalada por residuais em quartzito.	Campo Limpo Úmido. Comunidade campestre sem a presença de arbustos e árvores em razão do excesso de umidade do solo – proximidade do lençol freático. Plintossolo Pétrico, concrecionário, distrófico típico, textura média muito cascalhenta. Relevo Plano. <i>Localização: 16 km de Alto Paraíso na GO 118 em direção a Teresina de Goiás, do lado direito.</i>
2	Substrato composto por quartzitos micácios e feldspáticos da Unidade Q1 do Grupo Araí.	Complexo Montanhoso Veadeiros-Araí. Relevo acidentado, adaptado a uma linha de falha.	Cerrado Sentido Restrito. É a fitofisionomia de maior ocorrência no Brasil Central. Na Chapada dos Veadeiros apresenta sua variante rupestre. Neossolo Litólico, distrófico léptico, textura média, cascalhenta média. Relevo forte ondulado. <i>Localização: Rodovia GO 118 – Alto Paraíso a Teresina de Goiás (Poço Encantado).</i>
3	Área com restrição de afloramentos. Unidade argilosa do Grupo Bambuí, provavelmente da Formação Serra da Saudade da seção de topo do Grupo Bambuí.	Depressão pediplanada – interflúvio formado pelo fraco entalhamento dos Rios São Bartolomeu e Macacão.	Cerradão – forte indicação de fertilidade do solo. Latossolo Vermelho, distrófico argissólico de textura argilosa. Relevo Plano. <i>Localização: 43 km de Alto Paraíso rumo a Nova Roma no lado esquerdo.</i>
4	Região com raras exposições rochosas. Geologia provavelmente caracterizada por calcários da Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí.	Depressões pediplanadas – na borda de uma dolina.	Mata Mesofítica de Interflúvio. Pouco representadas no Brasil Central e sistematicamente substituídas por plantios agrícolas – solos mais ricos, matas de aroeiras e ipês. Nitossolo Vermelho, eutrófico, argissólico, textura média/argilosa. Relevo Plano. <i>Localização: 23 km da ponte do Rio Paraná na saída da cidade de Flores de Goiás em direção a Alto Paraíso – lado direito.</i>
5	Substrato representado por arcóseos e pelitos da Formação Três Marias do Grupo Bambuí.	Depressões Pediplanadas – interflúvios próximos ao Rio Paraná.	Cerradão (Mesotrófico x Distrófico). Plintossolo Háptico, eutrófico típico, textura média/média cascalhenta. Relevo Plano. <i>Localização: 12 km da ponte do Rio Paraná na saída da cidade de Flores de Goiás em direção a Alto Paraíso – lado direito.</i>
6	Definida por metassiltitos da Formação Três Marias do Grupo Bambuí.	Depressões Pediplanadas – interflúvios próximos ao Rio Macacão.	Cerrado Mal-Drenado. Plintossolo Pétrico, concrecionário, distrófico litoplíntico. Relevo plano. <i>Localização: km 38 da GO 531 no Município Flores de Goiás.</i>

**Fonte:** CORREIA et al., 2001.

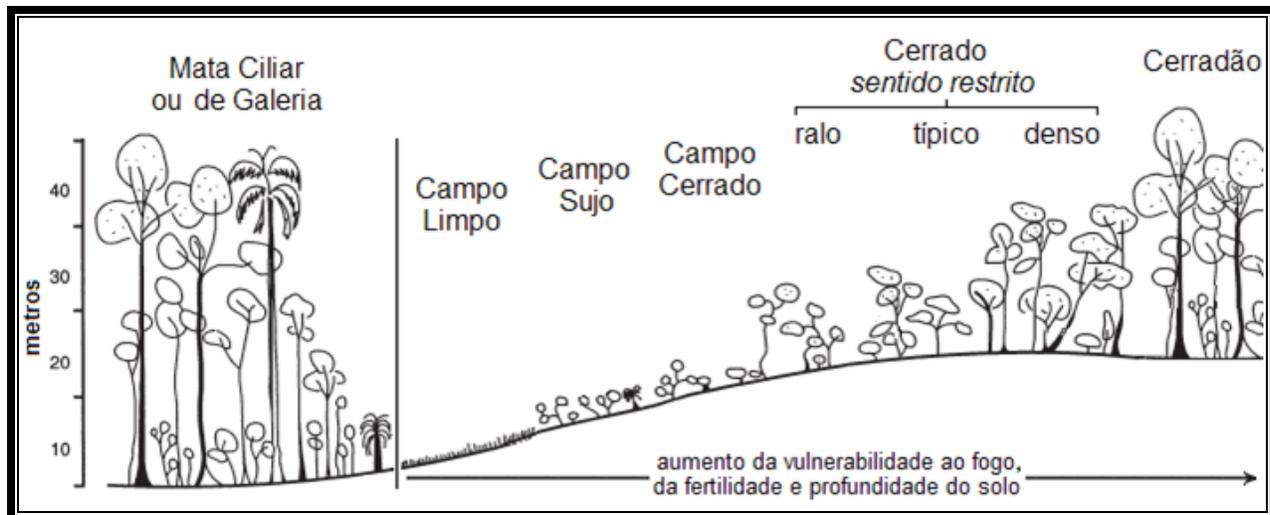
## II . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 . Cerrado

Em uma escala global, a mudança do uso da terra e da cobertura vegetal está ocorrendo em passos acelerados, principalmente nos trópicos. Estas mudanças nos ecossistemas terrestres estão fortemente associadas aos processos de desenvolvimento socioeconômico principalmente em países subdesenvolvidos, onde não se encontram planejamentos para a ocupação do território, nem projetos e estudos para explorar, de maneira sustentável, os recursos da terra, ou quando estes estudos existem, falta coordenação das ações e objetivos políticos. Segundo Lambin (1997), o conhecimento e o entendimento destes processos ainda estão muito fragmentados para avaliar e estimular o vasto impacto destas mudanças nos sistemas naturais e humanos.

O Brasil é o país de maior biodiversidade do planeta, foi o primeiro signatário da Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB) e considerado o primeiro país megabiodiverso dentre os sete que, juntos, reúnem 70% das espécies botânicas e animais do mundo (ARRUDA, 2003). Todo este patrimônio, no entanto, não tem a devida atenção no que diz respeito à preservação, monitoramento e gestão de suas riquezas. Como exemplo disso, no Brasil, menos de 10% do território é coberto por unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável.

A idéia de que a diversidade está associada tão somente a florestas úmidas é uma visão simplista que vem subestimando o potencial biológico dos ambientes de Cerrado. Uma característica da diversidade biológica das regiões mais áridas é possuir alta diversidade ao nível de gênero e relativamente baixa diversidade específica, isto é, os gêneros tendem a possuir poucas espécies, mas são mais numerosos (MORAES, 1989; FELFILI, 1993, 1995). Portanto, um grupo de espécies do Cerrado pode encerrar maior diversidade genética e, por conseguinte, maior valor biotecnológico que um grupo de igual número de espécies da Amazônia (FELFILI et al., 2007).



**Figura 5:** Fitofisionomias de Cerrado. Adaptado de Ribeiro & Walter (1998), Furley (1999) e Ottmar et al. (2001).

O ambiente savânico no Brasil, conhecido localmente como Cerrado, é um bioma extenso e complexo e pode ser descrito como um mosaico de tipos vegetacionais, verticalmente estruturado por espécies herbáceas, arbustivas e arborescentes (**Figura 5**). Este gradiente natural é determinado, entre outros fatores, pela disponibilidade de água e fertilidade do solo, marcado também pela sazonalidade da estação chuvosa, concentrada na região entre os meses de outubro e março (DIAS, 1992).

A vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. Em sentido fisionômico, floresta representa áreas com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel, contínuo ou descontínuo. O termo savana refere-se a áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de dossel contínuo. Já o termo campo designa áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, faltando árvores na paisagem. É com tal sentido que esses termos e suas variantes serão apresentados na caracterização descrita na **Tabela 2** abaixo (SANO & ALMEIDA, 1998).

**TABELA 2: CARACTERÍSTICAS DAS FITOFISIONOMIAS DE CERRADO**

<b>FITOFISIONOMIAS DE CERRADO</b>		
<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>FORMAÇÃO</b>
Mata Ciliar	Acompanha rios de médio e grande porte. Solos podem ser rasos – Cambissolos, Plintossolos ou Neossolos litólicos, profundos como os Latossolos e Argissolos, ou ainda serem Neossolos flúvicos. Árvores de altura entre 20 e 25 metros com cobertura arbórea de 50 a 90%.	FLORESTAL
Mata de Galeria	Acompanha rios de pequeno porte e os córregos dos planaltos do Brasil central formando corredores fechados (galerias). Ocorrem nos fundos dos vales ou nas cabeceiras de drenagem. Solos geralmente são Cambissolos, Plintossolos, Argissolos, Gleissolos ou Neossolos Flúvicos. Altura média do estrato arbóreo varia entre 20 e 30 metros com cobertura de 70 a 95%.	FLORESTAL
Mata Seca	Diferentes níveis de caducifolia durante a estação seca em função das condições químicas, físicas e principalmente da profundidade do solo. Podem ocorrer em solos desenvolvidos em rochas básicas de alta fertilidade (Nitossolo Vermelho, Chernossolo Ebânico ou Cambissolos) e em Latossolos Vermelho e Vermelho-Ácrico, de média fertilidade. Também em solos de origem calcária ocorre a Mata Seca Decídua em regiões mais acidatadas. Altura média do estrato arbóreo entre 15 e 25 metros com cobertura variante – na estação seca menos de 50 e na estação chuvosa de 70 a 95%.	FLORESTAL
Cerradão	Formação florestal com aspectos xeromórficos (condições de seca). Do ponto de vista fisionômico é uma floresta, mas floristicamente é mais similar a um Cerrado. Dossel com cobertura arbórea que oscila entre 50 e 90% e altura média de 8 a 15 metros. Em geral os solos são profundos, bem drenados, de média e baixa fertilidade, ligeiramente ácidos, pertencentes às classes Latossolo Vermelho-Ácrico, Latossolo Vermelho-Amarelo-Ácrico ou Latossolo Vermelho. Também pode ocorrer em proporção menor Cambissolos.	FLORESTAL
Cerrado Sentido Restrito	Formação savânica com a presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas. Arbustos e subarbustos encontram-se espalhados. Os troncos das plantas em geral possuem cascas com cortiça grossa, fendida ou sulcada e as folhas são rígidas e coriáceas, caracterizando um aspecto de xeromorfismo. Entretanto, espécies arbóreas que possuem raízes profundas não sofrem restrição hídrica na estação seca, destacando-se deste quadro. Grande parte dos solos é das classes Latossolo Vermelho-Ácrico, Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico e Latossolo Vermelho que, apesar das boas características físicas, são solos forte ou moderadamente ácidos (PH entre 4,5 e 5,5), com carência generalizada de nutrientes essenciais e altas taxas de alumínio. Apresenta ainda uma sub-divisão em função dos fatores físicos condicionantes em: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre.	SAVÂNICA
Parque de Cerrado	Formação savânica presente em pequenas elevações do terreno denominadas “murundus”. Apresenta árvores de altura média de 3 a 6 metros formando uma cobertura arbórea de 5 a 20%. Os solos são Gleissolos e mais drenados nos murundus que nas áreas planas adjacentes. A flora é semelhante ao Cerrado sentido restrito, no entanto com melhor tolerância à saturação hídrica do perfil do solo.	SAVÂNICA

Palmeiral	Formação savânica formada pela presença de uma só espécie de palmeira arbórea. Em geral os palmeirais do Cerrado encontram-se em terrenos bem drenados, embora também ocorram em terrenos mal drenados onde ocorrem galerias que acompanham as linhas de drenagem. Em solos bem drenados ocorrem as espécies Macaubal, Guerobal e Babaçal. Em solos mal drenados (brejos) os palmeirais se caracterizam pelo Buritizal que formam um dossel de 40 a 70% de cobertura arbórea e têm altura média entre 12 e 20 metros.	SAVÂNICA
Vereda	Caracterizada pela presença da palmeira arbórea <i>Mauritia flexuosa</i> (Buriti) emergente em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivo-herbáceas e circundadas por Campo Limpo, geralmente úmidos e os buritis não formam um dossel. A altura média dos buritis varia de 12 a 15 metros. A ocorrência de vereda condiciona-se ao afloramento do lençol freático. Serve de refúgio, abrigo, fonte de alimento e local de reprodução da fauna terrestre e aquática do Cerrado.	SAVÂNICA
Campo Sujo	Tipo fisionômico herbáceo-arbustivo, com arbustos e subarbustos esparsos cujas plantas são constituídas por indivíduos menos desenvolvidos das espécies arbóreas do Cerrado sentido restrito. Ocorre em solos rasos como os Neossolos litólicos, Cambissolos ou Plintossolos, eventualmente com pequenos afloramentos rochosos de pouca extensão, ou ainda em solos profundos e de baixa fertilidade (álco ou distrófico) como os Latossolos de textura média, e os Neossolos Quartzarenos. Quando o solo é bem drenado, caracteriza-se o Campo Sujo Seco e, quando o solo é pouco drenado, ocorre o Campo Sujo Úmido ou com Murundus.	CAMPESTRE
Campo Rupestre	Ocorre geralmente em Neossolos Litólicos ou nas frestas dos afloramentos rochosos. São solos ácidos, pobres em nutrientes e a disponibilidade de água é restrita. A fitofisionomia é herbáceo-arbustiva, com presença eventual de arvoretas pouco desenvolvidas de até 2 metros de altura. O ambiente propício é em altitudes superiores a 900 metros, em áreas onde há ventos constantes, dias quentes e noites frias. A composição florística varia em função do substrato (profundidade do solo, fertilidade, disponibilidade de água, etc.). indivíduos lenhosos concentram-se nas fendas das rochas, enquanto que outras espécies podem crescer diretamente sobre as rochas, sem que haja solo, como é o caso de algumas Aráceas e Orquídeas.	CAMPESTRE
Campo Limpo	Fitofisionomia predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores. Ocorre em diversos ambientes de diferente topografia, variação no grau de umidade, profundidade e fertilidade do solo. Entretanto, é encontrada com mais frequência nas encostas, nas chapadas, nos olhos d'água, circundando as veredas e na borda das Matas de Galeria, geralmente em Neossolos litólicos, Cambissolos ou Plintossolos. Quando ocorrem em áreas planas contíguas aos rios e inundadas periodicamente, também é chamado de "Campo de Várzea", "Várzea" ou "Brejo".	CAMPESTRE

**Fonte:** Ribeiro & Walter. In: Cerrado: Ambiente e Flora. Sano, S.M.; Almeida, S.P., 1998.

Este bioma, presente em 23% do território nacional, desempenha um importante papel no balanço de energia, água e carbono da região, atuando como um sumidouro de gases de efeito estufa, tal como o CO, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (MONTEIRO, 1995). Sua elevada biodiversidade, atualmente estimada em seis mil espécies vegetais vasculares (MENDONÇA et al., 1998), é favorecida pela presença de três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Tocantins, São Francisco e

Paraná), além de uma extensa diversidade de solos, geologia e queimadas naturais (EITEN, 1972).

Estudos sobre a composição e a distribuição da flora do Cerrado indicam que a ocorrência de espécies é bastante heterogênea e, portanto, a sua conservação é complexa e depende da identificação de grupos fitogeográficos que agrupam espécies de distribuição genérica e restrita (EITEN, 1972; 1994). Como primeira recomendação feita pelo estudo do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002), a criação de Unidades de Conservação deve levar em conta as variações locais e regionais dos diferentes mosaicos do bioma Cerrado.

Dessa forma, como mostra o estudo da Universidade de Brasília acerca da biogeografia do bioma Cerrado na região da Chapada dos Veadeiros (FELFILI et al., 2007), o PNCV sendo a única unidade de conservação na área, não inclui toda a diversidade de plantas desta unidade geomorfológica, colocando algumas delas em risco. Estudos para a indicação de áreas prioritárias para a conservação no sentido de se criar corredores ecológicos entre essas unidades, formando um mosaico de unidades de conservação, são sugeridos por este trabalho a fim de se manter a heterogeneidade genética dos ambientes ali presentes.

A caracterização, delimitação e o manejo das áreas prioritárias para a conservação deste bioma pode ser potencializada pela utilização da tecnologia de sensoriamento remoto produzida atualmente através de sensores orbitais que reduzem o tempo de análise e observação dos fenômenos terrestres, oferecendo dados com qualidade cada vez mais acurada, como é o caso do sensor MODIS descrito a seguir.

## **2.2 . Características Gerais do Sensor MODIS**

Entre os mais recentes sistemas sensores lançados pela NASA/EUA, está o “*Earth Observing System*” (EOS), financiado pelo programa “*Earth Science Enterprises*” (ESE). O objetivo principal do ESE é determinar como a Terra está mudando e quais as conseqüências para a vida neste planeta, desenvolvendo um entendimento de seu funcionamento como um sistema único e interligado. Este programa entende que os estudos sobre o planeta Terra são formados por diferentes componentes – terra, oceanos e atmosfera - de um sistema que funciona como um só ecossistema – o próprio planeta Terra. Dessa forma, a aquisição de dados provenientes deste

sistema sensor é direcionada para estudos de diversos fenômenos terrestres tais como: desmatamento, poluição atmosférica, atividade dos vulcões, expansão urbana, cálculo de biomassa, etc. (JUSTICE et al., 2002).

No projeto EOS, estão previstos os lançamentos de diversos satélites, e o primeiro, o satélite TERRA, foi lançado em dezembro de 1999, começando a coletar dados em fevereiro de 2000. O segundo satélite lançado foi o AQUA, em maio de 2002. Atualmente, existem três outros satélites do projeto EOS em órbita, e mais 15 estão previstos para serem lançados nos próximos quatro anos. Juntas, estas plataformas espaciais vão ajudar os cientistas a desvendar os processos climáticos e de mudanças ambientais, bem como seus impactos.

O principal instrumento desenvolvido para os satélites TERRA e AQUA foi o MODIS por apresentar, segundo Barker et al. (1992), inúmeras características, entre elas:

- Ampla cobertura espacial e espectral;
- Continuidade nas tomadas de medidas, em regiões espectrais mais finas, que as disponíveis em outros sistemas sensores até o momento, vindo a complementar estas informações. Como exemplo, o conjunto de dados adquiridos pelo *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), usado para a meteorologia e monitoramento da temperatura da superfície do mar, gelo e vegetação; e pelo *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS), usado para monitorar a biomassa oceânica e os seus padrões de circulação;
- Ser a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas de mudanças globais.

O MODIS é um dos cinco instrumentos do satélite TERRA, formalmente conhecido como EOS-AM. Os outros sensores a bordo deste satélite são: CERES, ASTER, MISR e MOPITT. O sensor MODIS foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para estes objetivos e uma cobertura global quase diária - a cada 1-2 dias - (JUSTICE et al., 2002).

As 36 bandas espectrais estão localizadas em comprimentos de onda que finalizam observar as propriedades das nuvens, a dinâmica e as propriedades da vegetação na cobertura terrestre e a

temperatura da superfície dos oceanos no mundo (SALOMONSON & TOLL, 1990). Foram projetadas para evitar as bandas de absorção atmosférica, além de outras feições - linha de Fraunhoffer - (SALOMONSON & BARKER, 1992; STRAHLER et al., 1999).

Observa-se que, as primeiras 19 bandas são da porção refletida do espectro eletromagnético (405 nm a 2155 nm), onde as bandas 1-7 são direcionadas para as aplicações terrestres (**Tabela 3**), as bandas 8-16 para as observações oceânicas e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36 (**Tabela 4**), à exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro (3660nm a 14385nm) e podem ser utilizadas por distintos campos das ciências naturais (BARKER et al., 1992). As imagens com resolução espacial de 250 metros compreendem as bandas 1 e 2, as de resolução espacial de 500 metros as bandas 3 a 7 e as de resolução espacial de 1 km compreendem as bandas de 8 a 36.

Conseqüentemente, o MODIS tende a aperfeiçoar sistemas como o AVHRR, uma vez que possui a capacidade de rastrear um amplo conjunto de sinais vitais da Terra, melhor do que qualquer outro (KING et al., 1992). Como exemplo, cita-se a capacidade deste sensor em medir o percentual da superfície do planeta coberto por nuvens em quase todos os dias. Esta ampla cobertura espacial irá permitir ao sensor, juntamente com o *Multi-angle Imaging Spectroradiometer* (MISR<sup>1</sup>) e o *Cloud and Earth's Radiant Energy System* (CERES<sup>2</sup>), determinar o impacto das nuvens e aerossóis no balanço energético da Terra (STRAHLER et al., 1999).

---

<sup>1</sup> MISR—Um dos cinco sensores que compõem o satélite Terra, juntamente com o MODIS, com a finalidade de coletar medidas sobre as propriedades das nuvens, uso da mudança cobertura da terra.

<sup>2</sup> CERES- Sensor que compõe o satélite Terra, com a finalidade de coletar medidas de fluxo de energia e radiação (atmosfera).

**TABELA 3: ESPECIFICAÇÕES DAS BANDAS 1 A 19 DO SENSOR MODIS – PORÇÃO REFLETIDA DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO (405NM A 2155NM)**

Uso Primário	Banda	Largura da Banda (nm)	Rad. Espectral	Resolução Espacial	SNR <sup>3</sup>
Superfície terrestre/nuvem	1	620 - 670	21,8	250	128
				1000	
				1000	
	2	841 - 876	24,7	250	201
				1000	
Propriedades da Superfície/Nuvens	3	459 - 479	35,3	500	243
	4	545 - 565	29	500	228
	5	1230 - 1250	5,4	500	74
	6	1628 - 1652	7,3	500	275
	7	2105 - 2155	1	500	110
Cores dos Oceanos Fitoplâncton Bioquímica	8	405 - 420	44,9	1000	880
	9	438 - 448	41,9	1000	838
	10	483 - 493	32,1	1000	802
	11	526 - 536	27,9	1000	754
	12	546 - 556	21	1000	750
	13	662 - 672	9,5	1000	910
	14	673 - 683	8,7	1000	1087
	15	743 - 753	10,2	1000	586
Vapor d'água Atmosférico	17	890 - 920	10	1000	167
	18	931 - 941	3,6	1000	57
	19	915 - 965	15	1000	250

Fonte: Latorre et al. (2003).

<sup>3</sup> “Signal-to-noise ratio”.

**TABELA 4: ESPECIFICAÇÕES DAS BANDAS 20 A 36 DO SENSOR MODIS – PORÇÃO TERMAL DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO – COM EXCEÇÃO DA BANDA 26 - (3660NM A 14385NM)**

Uso Primário	Banda	Largura da Banda (nm)	Rad. Espectral	Resolução Espacial	NEAT <sup>4</sup>
Temperatura Nuvens/Superfície	20	3.660 - 3.840	0,45	1000	0,05
	21	3.929 - 3.989	2,38	1000	2
	22	3.929 - 3.989	0,67	1000	0,07
	23	4.020 - 4.080	0,79	1000	0,07
Temperatura Atmosférica	24	4.433 - 4.498	0,17	1000	0,25
	25	4.482 - 4.549	0,59	1000	0,25
Cirrus	26	1.360 - 1.390	6	1000	150(5)
	27	6.535 - 6.895	1,16	1000	0,25
Vapor d'água	28	7.175 - 7.475	2,18	1000	0,25
	29	8.400 - 8.700	9,58	1000	0,25
Ozônio	30	9.580 - 9.880	3,69	1000	0,25
Temperatura Nuvens/Superfície	31	10.780 - 11.280	9,55	1000	0,05
	32	11.770 - 12.270	8,94	1000	0,05
Altitude Topo da Nuvem	33	13.185 - 13.485	4,52	1000	0,25
	34	13.485 - 13.785	3,76	1000	0,25
	35	13.785 - 14.085	3,11	1000	0,25
	36	14.085 - 14.385	2,08	1000	0,25

Fonte: Latorre et al. (2003).

Os dados MODIS são disponibilizados na forma de 44 diferentes produtos, os quais são utilizados para as mais diversas aplicações atendendo à comunidade de usuários de três diferentes disciplinas: terra (MODLAND), oceano e atmosfera (**Tabela 5**). Para maiores dados sobre as duas últimas disciplinas, consultar <http://edcdaac.usgs.gov/modis/dataproduct.htm>. Uma visão geral dos produtos para aplicações terrestres é dada a seguir.

<sup>4</sup> “Noise-equivalent temperature difference” é a medida de desempenho de um sensor termal (BARKER *et al.*, 1992).

**TABELA 5: FINALIDADES DOS PRODUTOS MODIS**

<b>Balanco de Energia e Radiação da Superfície</b>	<b>Produtos de Vegetação e Ecologia</b>	<b>Cobertura e Uso da Terra</b>
Reflectância – MOD09	Índices de vegetação – MOD13	Cobertura/mudanças na cobertura – MOD12
Temperatura da superfície – MOD11	IAF/FPAR – MOD15	Cobertura vegetal/campos contínuos/conversões – MOD44
Fator de reflectância bidirecional/albedo – MOD43	Produtividade primária – MOD17	Anomalias termais/fogo – MOD14
Avaliação física de processos superficiais – MOD10 e 29	Caracterização e funcionamento de ecossistemas; padrões de produtividade sazonais – MOD17	Estimativas de carbono/desenvolvimento sustentável – MOD44

**Fonte:** Ferreira (2003).

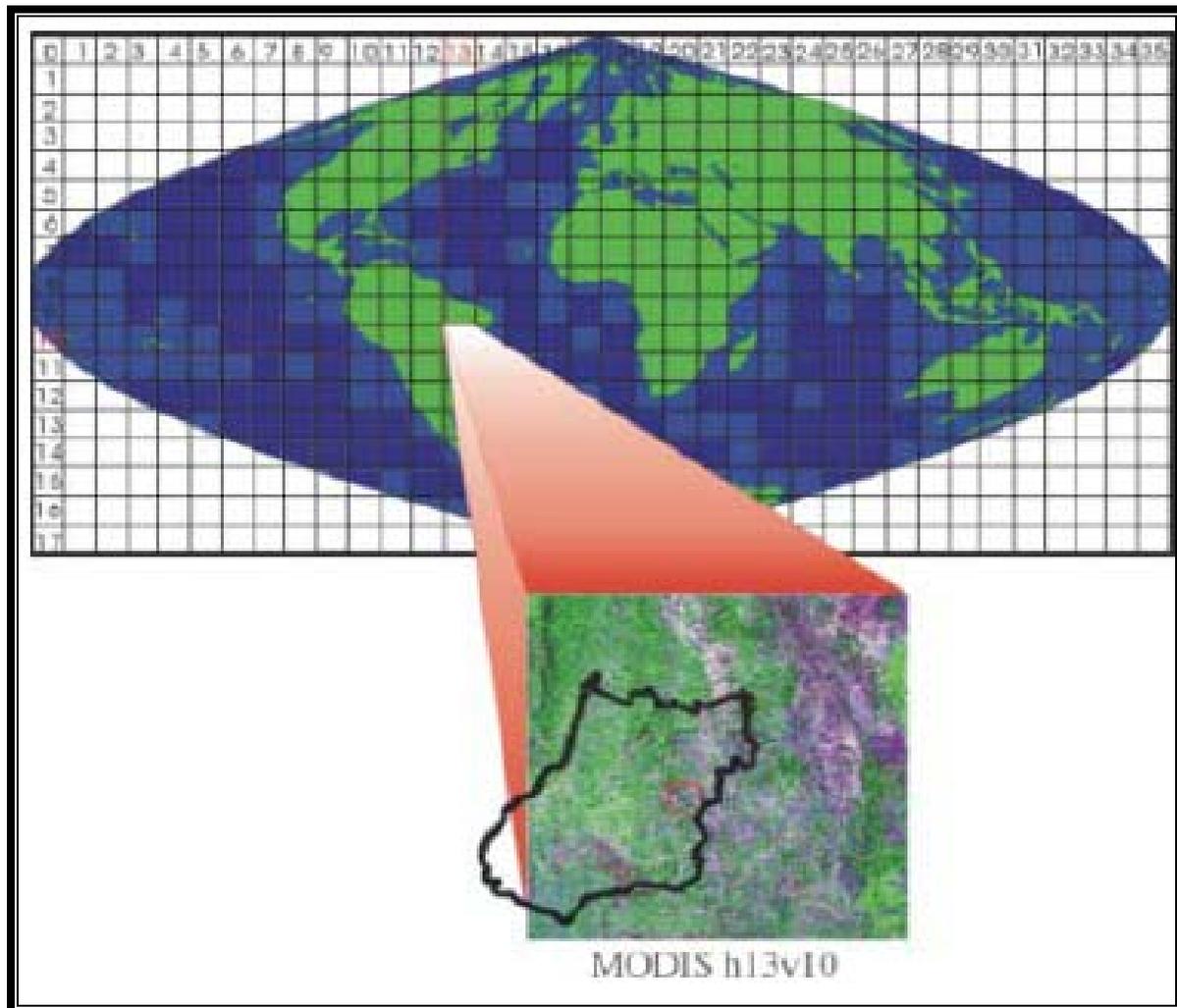
O produto reflectância da superfície (MOD09) é o input para a geração de vários produtos para aplicações terrestres tais como os índices de vegetação, BRDF, anomalias termais, neve/gelo, fPAR e IAF. O MOD09 é construído a partir de um algoritmo de correção atmosférica que usa informações sobre aerossóis e vapor d'água derivados dos dados MODIS, corrigidos para efeitos adjacentes, e leva em conta a propriedade direcional da superfície observada (JUSTICE et al., 1998).

Diversos trabalhos vêm sendo escritos em função desta grande variedade de aplicações – atmosféricas, oceânicas e terrestres – do sensor MODIS, como por exemplo, detecção de queimadas (PASTOR, 2005) e monitoramento da cobertura vegetal com dados multitemporais (ANDERSON, 2004). No Brasil, em virtude da estrutura fundiária quase sempre ser baseada em grandes extensões de áreas agrícolas – latifúndios – a utilização de imagens MODIS para classificação e quantificação das lavouras de soja tem mostrado bons resultados, como no trabalho de Rudorff et al. (2007), proporcionando a estimativa da produção.

### **a) - Geometria do sensor MODIS**

O sensor MODIS é constituído de um instrumento eletro-óptico de varredura mecânica (*Whiskbroom*) que utiliza o movimento do satélite para fornecer um imageamento na direção de vôo (*along track*). A radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida da superfície terrestre é direcionada para um telescópio pela rotação de um espelho de duas faces. Meia revolução do espelho leva aproximadamente 1,477 seg, produzindo o movimento de imageamento *across-track*. A energia é então focada para os diferentes detectores cobertos por estreitos filtros espectrais. O MODIS imagea, simultaneamente, em cada banda, 10 fileiras de *pixels* para os

detectores de 1Km; 20 para os detectores de 500m; e 40 para os detectores de 250m (**Figura 6**) de resolução espacial. Cada fileira, por sua vez, corresponde a uma simples linha imageada dos dados MODIS, a qual é nominalmente composta de 1354, 2708 e 5416 observações dos dados de 1km, 500m e 250m, respectivamente (WOLFE et al., 2002).



**Figura 6:** Sistema de Referência dos produtos MODIS, onde cada tile é designado por uma referência horizontal e vertical. **Fonte:** Adaptado de Silva (2005).

Os detectores do MODIS são agrupados em quatro planos focais (SALOMONSON et al., 1990): infravermelho termal (LWIR- *Long Wave Infrared*); infravermelho médio (SWIR/MWIR- *Short/Medium Wave Infrared*), infravermelho próximo (NIR- *Near Infrared*) e visível (VIS – *Visible*). Estes são distribuídos nos planos focais na direção de vôo, de modo a obter a mesma localização da Terra ao ser amostrada em diferentes bandas e horários.

### **b) - Geolocalização do sensor MODIS**

A geolocalização (georeferenciamento) do MODIS foi estabelecida através do uso de uma técnica paramétrica, onde pontos de controle foram aplicados, somente, para remover as direções tendenciosas. Sua orientação em relação à Terra é obtida através de sensores à bordo do satélite. Sua altitude é medida por um giro inercial e por um sensor “*star-tracking*”, onde a posição é medida por um TDRSS (*Tracking Data Relay Satellite System*) a bordo de um sistema de navegação (TONS) (TELLES et al., 1995).

Os produtos de georeferenciamento do MODIS definem as coordenadas geodésicas, altitude, ângulos zenitais solar e azimutal para cada amostra de 1 km do sensor. Estes dados são fornecidos como parte do banco de dados das radiâncias calibradas no nível 1B e os dados do nível 2, para permitir um processamento posterior, ou seja, estes dados serão, subseqüentemente usados para reamostrar espacialmente e compor temporariamente os produtos MODIS em grades georeferenciadas.

Segundo Wolfe et al. (2002), alguns progressos na precisão da geolocalização do MODIS têm sido obtidos através do ajuste de parâmetros internos do sensor, com planejamentos futuros para remover os erros sistemáticos de medidas de orientação externa.

Os cálculos de geolocalização do MODIS são realizados a partir de uma banda hipotética ideal conhecida como banda 0. Esta banda é modelada como sendo localizada no meio dos quatro planos focais do MODIS e usada como uma referência, a partir da qual as posições de qualquer banda são calculadas aplicando os *offsets* apropriados.

### **c) - Níveis de processamento dos dados**

Como nos demais instrumentos a bordo do satélite TERRA, os dados MODIS são transferidos para estações terrestres em *White Sands*, Novo México, através de um sistema denominado *Tracking and Data Relay Satellite System* (TDRSS). Estes são então, enviados para os dados de pesquisa EOS e os sistemas de operações no *Goddard Space Flight Center*. Neste centro começam os processamentos dos dados propriamente ditos. São divididos em cinco níveis (0 a 4), que irão variar em função do grau de processamento realizado (**Tabela 6**).

Vale ressaltar que, após o processamento do nível zero pelo sistema operacional, o centro de arquivos denominado *Goddard Space Flight Center Earth Sciences Distributed Active Archive Center* (GES DAAC) irá produzir os níveis 1A e 1B e os produtos de geolocalização. Os produtos de níveis mais elevados são, inicialmente, produzidos pelo Sistema de Processamento Adaptativo do sensor MODIS (*MODIS Adaptive Processing System - MODAPS*), e então distribuídos entre três outros centros de DAACs (JUSTICE et al., 2002). Resumindo, todos os produtos MODIS são gerados, segundo Justice et al. (2002) em um determinado nível hierárquico, que são:

**TABELA 6: NÍVEIS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS MODIS**

Nível	Características
0	Imagem no estado bruto. Não disponível ao usuário.
1	Correção geométrica (radiâncias espacialmente localizadas).
2	Produtos derivados do Nível 1, sem reamostragem geométrica.
2G	Dados reprojatados (sinusoidal) e sem reamostragem.
3	Produtos reamostrados, com base na localização dos pixels (composited).
4	Produtos derivados de múltiplas fontes (modelagem).

**Fonte:** Ferreira (2003).

- Nível 0 – este nível retrata a imagem em seu estado bruto, sem tratamento de espécie alguma. Não é disponível ao usuário, não constando, portanto, das listas de produtos padrões do sensor MODIS.
- Nível 1 (1A): contém uma base de dados de 36 canais do MODIS, utilizado como dado de entrada para geolocalização, calibração e processamento. Indicadores de qualidade são adicionados aos dados para indicar a perda ou *pixels* ruins. Medidas no visível, infravermelho próximo e médio são feitas apenas durante o dia, enquanto que as medidas na faixa do infravermelho termal são feitas tanto de dia, quanto de noite.
- Nível 1 (1B): os produtos contém os dados de calibração e geolocalização para as 36 bandas geradas pelo nível 1 A. As radiâncias são em  $w(m^{-2} \cdot \mu m^{-1} \cdot sr^{-1})$ . Em adição, o BRDF (reflectância bidirecional) pode ser determinado para bandas reflectivas solares (1-19, 26) através do conhecimento da irradiação solar (por exemplo, determinação de dados

MODIS e a geometria de iluminação do alvo). Dados adicionais são fornecidos, incluindo as estimativas de qualidade, de erro e dados de calibração.

- Nível 2: os produtos deste nível são derivados de radiâncias calibradas de prévios produtos MODIS. Os produtos conhecidos como nível 2G (L2G) são gerados a partir de um conjunto de dados de um simples dia do nível 2, reorganizados e armazenados em uma grade baseada na Terra (*earth-based grid*), preservando todas as amostras dos dados originais do nível 2. Cabe salientar que a menor quantidade de dados processados em um determinado período é definida nos níveis 1 e 2 como granular (*granule*) e correspondem à aproximadamente 5 minutos de imageamento. O MODIS imagea 288 “grânulos” a cada 24 h, sendo sua cobertura equivalente a uma área aproximada de 2340 Km (*across-track*) por 2030 Km (*along-track*).
- Nível 3: neste nível, os produtos são espacialmente reamostrados e temporariamente compostos para produzir uma simples estimativa das variáveis geofísicas para cada grade de localização. As escalas de tempo dos produtos destes níveis variam de um simples dia para um ano inteiro.
- Nível 4: os produtos deste nível são gerados pela incorporação dos dados MODIS em modelos para se estimar as variáveis geofísicas.

#### **d) - Garantia de qualidade “QUALITY ASSURANCE” dos dados do sensor MODIS**

O “*EOS Data Information System*” (EOSDIS) é designado para o suporte computacional de todas as atividades de pesquisa do EOS, incluindo o processamento, a distribuição e arquivamento dos seus dados, além do intercâmbio de informações e resultados entre as comunidades científicas (JUSTICE et al., 2002).

O EOSDIS *Core System* (ECS) é o setor responsável pelo acompanhamento de todos estes objetivos, ou seja, pelo fornecimento da arquitetura computacional necessária para que estas metas sejam atingidas. A qualidade de seus dados será mantida através de instrumentos de calibração e caracterização, além das atividades de validação e garantia de qualidade dos produtos (QA).

O objetivo da garantia de qualidade é identificar e suspeitar de dados de baixa qualidade, antes que estes sejam disponibilizados para o público. A técnica dos resultados da garantia de qualidade está na coordenação da armazenagem destes para todos os produtos MODIS (MODLAND), bem como a capacidade em inferir quais os produtos de baixa qualidade, retirando-os dos arquivos.

O ECS é o responsável por armazenar os resultados da QA de cada *pixel*, bem como os metadados de cada “grânulo” dos dados MODIS. A QA de cada “*pixel*” é obtida pelo processamento de um determinado “*software*”, através do monitoramento da estabilidade computacional do código, examinando os dados de entrada, suas associações e a documentação do histórico do processamento deste código. A QA dos metadados resume a aplicação dos procedimentos de produção e pós - produção desta garantia.

### 2.3 . Índices de Vegetação

De acordo com Ponzoni (2001), a “aparência” da cobertura vegetal em determinado produto de sensoriamento remoto é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. O que é efetivamente medido por um sensor remotamente situado, oriundo de determinada vegetação, não pode ser explicado somente pelas suas características intrínsecas, pois inclui também a interferência de vários outros parâmetros e fatores, tais como: a fonte de radiação, o espalhamento atmosférico, as características tanto da folha quanto do dossel, os teores de umidade, a interferência da reflectância do solo, da sombra, entre outros (HUETE et al., 2002).

Para minimizar a variabilidade causada pelos fatores externos, a reflectância espectral da cobertura vegetal tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação. Estes índices são razões entre bandas do sensor, onde o comportamento espectral da vegetação apresenta o maior contraste, possibilitando a maximização da resposta deste complexo alvo da superfície terrestre. Os mais comumente empregados utilizam a informação contida nas reflectâncias de dosséis referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, as quais são combinadas sob a forma de razões<sup>5</sup> entre estas bandas. Eles são denominados de NDVI

---

<sup>5</sup> “As faixas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas, por conter mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação, dessa forma estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma” (ROSA & ROSENDO, 2005).

(*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*), os dois subprodutos encontrados no produto MOD13 aqui analisados (HUETE et al., 2002).

Baixos valores de reflectância no vermelho e altos no infravermelho próximo resultam em um alto NDVI. Este índice de vegetação busca identificar o máximo vigor vegetativo caracterizado pela atividade fotossinteticamente máxima (PONZONI, 2001; ROSA & ROSENDO, 2005). A resposta da vegetação nessa fase é um alto conteúdo de clorofila nas folhas, absorvendo grandes quantidades de energia na região do vermelho. Já no infravermelho, a folha saudável apresenta uma alta reflectância devido ao arranjo dos espaços intercelulares e conteúdo de água nas folhas. A radiação que penetra na folha é espalhada em grande parte devido a combinação da reflexão celular interna, decorrente das irregularidades das paredes externas das células, e da diferença entre os índices de refração ar/água (1 e 1,33 respectivamente) nas células túrgidas (PONZONI, 2001).

Comparativamente, o NDVI, apesar de reter estas propriedades favoráveis de redução de ruídos e incertezas características de fontes externas de ruído (por exemplo, sombra de nuvem), apresenta certas desvantagens em relação ao EVI, como por exemplo, a não linearidade, problemas de saturação do sinal em regiões de alta concentração de biomassa e sensibilidade para expor fundos de solo em áreas de vegetação escassa (RUNNING et al., 1994; JUSTICE et al., 1998). O NDVI é calculado através da fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_{VER}}{\rho_{IVP} + \rho_{VER}} \quad (1)$$

Onde:  $\rho_{IVP}$  = reflectância do infravermelho próximo;  $\rho_{VER}$  = reflectância do vermelho.

O EVI foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além do monitoramento da vegetação através da redução das influências atmosféricas e da influência do solo no fundo do dossel (JUSTICE et al., 1998). O EVI é calculado através da seguinte equação:

$$EVI = G \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C1 * \rho_{red} - C2 * \rho_{blue} + L} \quad (2)$$

Onde:  $\rho_{nir}$  = reflectância do infravermelho próximo;  $\rho_{red}$  = reflectância do vermelho;  $\rho_{blue}$  = reflectância do azul; C1 = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera no vermelho; C2 = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera no azul; L = fator de ajuste para o solo; G = fator de ganho. Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: L = 1, C1 = 6, C2 = 7,5 e o fator de ganho G = 2,5 (JUSTICE et al., 1998).

Huete et al. (2002) analisaram e compararam um ano de dados NDVI do MODIS com resolução de 1 km com dados equivalentes de NDVI do sensor AVHRR, com a mesma resolução. Neste estudo, o NDVI do MODIS e AVHRR descreveram satisfatoriamente o padrão sazonal e a fenologia de uma ampla extensão de biomas. Na estação seca, o NDVI de ambos os sensores mostraram valores idênticos em regiões áridas e semi-áridas. Por outro lado, na estação chuvosa, os valores do NDVI do MODIS foram significativamente maiores em relação aos do AVHRR, resultando em uma maior dinâmica sazonal para cada ponto.

As diferenças nos valores de NDVI foram maiores nos locais mais úmidos e as maiores discrepâncias foram observadas na estação chuvosa. Essas diferenças foram atribuídas à influência do conteúdo de vapor d'água na atmosfera, o qual afeta fortemente as bandas do IVP (Infravermelho próximo) do AVHRR e causa redução nos valores de NDVI, especialmente na estação chuvosa. As bandas estreitas do MODIS, pelo fato de evitarem as regiões de absorção da água no espectro, praticamente não foram afetadas pelas variações sazonais do conteúdo de vapor d'água da atmosfera. O mesmo estudo descreveu que especificamente em relação à discriminação das fisionomias de Cerrado, os índices simulados MODIS NDVI e EVI apresentaram, respectivamente, 75% e 71% de porcentagem de acerto e de 82% quando considerados simultaneamente (FERREIRA et al., 2004).

Esta característica comprova a adequação do produto índice de vegetação do sensor MODIS para avaliação regional de biomas fragmentados como o Cerrado. Complementarmente, ao oferecer os dois índices adequados tanto para a biomassa quanto para a estrutura do dossel – NDVI e EVI – otimiza a análise do comportamento espectral da cobertura vegetal na área de estudo.

## 2.4 . Produto Índice de Vegetação MOD13Q1

O produto índice de vegetação tem como base os dados gerados pela reflectância diária de superfície (série MOD09), nível 2, os quais são corrigidas para espalhamento molecular, absorção de ozônio e aerossóis (VERMOTE et al., 2002). O algoritmo de geração dos índices usa os dados de reflectância da superfície no nível 2G (reprojetados) e faz uma composição temporal desses dados para gerar os índices de vegetação, nível 3, os quais são composições de 16 dias das reflectâncias bidirecionais diárias em 250m, 500m e 1 km. É necessário notar que as composições de 16 dias não coincidem com o começo de cada calendário mensal (SILVA, 2003). O produto MOD13 é gerado a partir de seis diferentes algoritmos descritos a seguir (**Tabela 7**) através das informações obtidas no site <http://edcdaac.usgs.gov/modis/dataproduct.htm>, e aqui sintetizadas:

**TABELA 7: CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS MOD13**

<b>MOD13Q1</b>	Composição 16 dias, 250m com cerca de 528MB. O “Q” refere-se a “Quarter Km” (quarta parte do quilômetro). Esse algoritmo processa as imagens de reflectância da superfície (MOD09) de 250m para produzir as imagens NDVI e EVI 250m.
<b>MOD13A1</b>	Composição 16 dias, 500m com 128 MB. Esse algoritmo gera as imagens NDVI e EVI a partir de imagens reflectância da superfície com 500m de resolução.
<b>MOD13A2</b>	Composição 16 dias, 1km e 32 MB. Esse algoritmo agrega pixels de 250 e 500m de resolução das imagens de reflectância da superfície para produzir NDVI e EVI em 1km de resolução. O input para esse algoritmo é o produto do algoritmo de agregação espacial “MODAGAGG”.
<b>MOD13A3</b>	Composição mensal, 1km. Esse algoritmo processa várias composições 16 dias, 1km (MOD13A2), para produzir uma média mensal.
<b>MOD13C1</b>	Composição 16 dias, CMG (25km). Esse algoritmo processa composições 16 dias, 1km (MOD13A2) para produzir a média da grade de modelo climatológico, por meio de média espacial. A resolução CMG é a média da composição de todos os dados de reflectância 1km, considerados de boa qualidade, a partir dos quais os índices de vegetação são computados.
<b>MOD13C2</b>	Composição mensal, CMG (25km). Esse algoritmo processa composições MOD13C1, para produzir o CMG, por meio de média temporal.

**Fonte:** <http://edcdaac.usgs.gov/modis/dataproduct.htm>

O arquivo padrão de saída gerado pelo algoritmo dos índices de vegetação compreende um conjunto de dados científicos (SDS) com um número de variáveis que inclui: valores de NDVI e

EVI para o período de 16 dias; a qualidade (QA) dos índices EVI e NDVI; valores de reflectância referentes à banda do vermelho (banda 1), infravermelho próximo (banda 2), infravermelho médio (banda 6) e azul (banda 3); além do ângulo de visada, o ângulo zenital solar e o ângulo azimutal solar relativo à cada *pixel* da composição (**Tabela 8**).

**TABELA 8: CONJUNTO DE IMAGENS DISPONIBILIZADAS ATRAVÉS DOS PRODUTOS ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MOD13A1 (500M) E MOD13Q1 (250M)**

	<b>SDS</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor Nulo</b>	<b>Intervalo Válido</b>	<b>Fator de Escala</b>
Índice de Vegetação	NDVI	NDVI	-3000	(-2000-10000)	10000
	EVI	EVI	-3000	(-2000-10000)	10000
Imagens Reflectância	Vermelho	reflectância	-1000	0-1000	10000
	Infravermelho (NIR)	reflectância	-1000	0-1000	10000
	Azul	reflectância	-1000	0-10000	10000
	Infravermelho (SWIR)	reflectância	-1000	0-10000	10000
Metadados	NDVI Quality (QA)	bit field	65535	0-65534	Inexistente
	EVI Quality (QA)	bit field	65535	0-65534	Inexistente
	Ângulo Visada	Grau	-10000	(-9000-9000)	100
	Ângulo Zenital Solar	Grau	-10000	(-9000-9000)	100
	Azimute	Grau	-4000	(-3600-3600)	10

**Fonte:** Adaptado de Silva (2003).

De maneira geral, uma síntese das principais considerações para a análise do algoritmo de composição dos índices MODIS inclui os seguintes parâmetros:

1) Os *pixels* com os menores ângulos de visada têm resolução espacial mais fina, ou seja, 250m para o vermelho e infravermelho próximo. Na realidade, esses *pixels* terão seu tamanho aumentado em 1km nas extremidades da faixa de imageamento (55°);

2) A degradação espacial aumentará significativamente com ângulos de visada fora do nadir e, conseqüentemente, será mais difícil registrar *pixels* em *off-nadir* em comparação àqueles do nadir;

3) Relacionamentos já estabelecidos entre parâmetros biofísicos e índices de vegetação são baseados em ângulos de visada a nadir;

4) Os problemas de saturação nos índices de vegetação tornam-se maiores nas visadas *off-nadir* e com maior ângulo zenital solar (LEEUWEN et al., 1999).

O algoritmo para a composição dos índices de vegetação compreende três componentes utilizadas tanto para correção da degradação espacial resultante dos diferentes ângulos de visada quanto para a correção atmosférica de nuvens residuais, que são: o BRDF-C (função de distribuição das reflectâncias bidirecionais), o MVC (Máximo valor de composição) e o CV-MVC (Ângulo de visada limitado – máximo valor na composição).

A técnica empregada depende do número e da qualidade das observações. O BRDF é uma técnica mais elaborada na qual todas as observações de reflectância bidirecional diária, de aceitável qualidade, são utilizadas para interpolar seus respectivos valores de reflectância para a visada a nadir, dos quais os índices de vegetação são computados e produzidos. Pelo menos cinco boas observações, com ângulo de visada menor ou igual a 45°, são exigidas para inserção no modelo (HUETE et al., 2002).

O BRDF não só tem a desvantagem de exigir cinco *pixels* limpos, mas é também altamente dependente da máscara de nuvens. Uma vez que os valores equivalentes do nadir são interpolados a partir de quatro ou mais *pixels*, apenas um *pixel* contaminado com nuvens residuais, por exemplo, comprometerá a computação final do valor correspondente ao nadir. Por esta razão, o BRDF não é utilizado atualmente, até que se faça uma análise completa e uma avaliação de sua utilidade (HUETE et al., 2002).

O método MVC aumenta significativamente a seleção de *pixels off-nadir*, principalmente sobre dosséis abertos pelo fato de exibirem grandes valores de NDVI quando vistos obliquamente. Este método favorece a escolha de *pixels* livres de nuvens, mas não necessariamente seleciona o *pixel* próximo do nadir ou com menor contaminação atmosférica. Embora o NDVI tenha a tendência de aumentar com dados corrigidos atmosféricamente, isto não significa que o maior NDVI seja uma indicação da melhor correção atmosférica.

O CV-MVC compara os dois maiores valores de NDVI e seleciona as observações mais próximas da visada nadir para representar o período de 16 dias de composição. Tanto o NDVI como o EVI são computados usando a mesma observação do *pixel*, ou seja, não há uma

metodologia específica para selecionar o máximo EVI. Se há somente uma boa observação disponível, então os índices são computados dela. Se nenhuma observação passou pela filtragem inicial, então a técnica MVC é usada como alternativa final para o CV-MVC, tal que o *pixel* com o maior valor de NDVI é selecionado para completar a imagem composição, independentemente da qualidade do dado.

É importante ressaltar que todas as metodologias de geração de composições resultam em descontinuidades espaciais, as quais são inevitáveis e resultam do fato de que adjacentes podem sempre ser escolhidos de dias distintos, durante o período de geração da composição 16 dias. Além disso, *pixels* adjacentes selecionados podem ter geometrias de visada Sol-*Pixel*-Sensor diversas, diferentes tipos de contaminação atmosférica, como nuvens residuais e fumaça.

Uma outra limitação para a utilização das metodologias de geração de composições está associada ao fato de que a vegetação é muito mais ativa durante a estação chuvosa, quando justamente a cobertura de nuvens é maior, até mesmo em desertos. Isto limita a escolha do melhor *pixel* e afeta ainda mais fortemente o modelo de inversão BRDF. Esse método seria adequado apenas para áreas com baixa cobertura de nuvens e para períodos secos. Na análise multitemporal aqui proposta, o ambiente de Cerrado apresenta intervalos de chuva e seca bem distintos, sendo possível identificar temporalmente o comportamento espectral da vegetação.

### III . METODOLOGIA

Neste tópico são descritas as etapas de processamento digital dos dados multitemporais. A metodologia adotada para o processamento das imagens pode ser subdividida nas seguintes etapas: (a) confecção de um cubo 3D relativo à série de imagens temporais do índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) e EVI (*Enhanced Vegetation Index* - Índice de Vegetação Realçado), (b) tratamento do ruído e (c) classificação utilizando os espectros temporais NDVI e EVI, através da *árvore de decisão*.

Os produtos MODIS podem ser adquiridos pela rede internacional<sup>6</sup> gratuitamente mediante um cadastro de usuário. Para a análise aqui proposta, foi utilizada uma série temporal de imagens MODIS (produto MOD13Q1) do ano de 2005 – e uma de 2006 - com resolução de 250m do quadrante h13v10, totalizando 14 (quatorze) imagens. Este resultado foi possível após a escolha das imagens que apresentaram melhor qualidade – mínimo de ruídos e presença de nuvens.

Originalmente estas imagens estavam na projeção *integerized sinusoidal*, e precisaram ser reprojctadas para o sistema de projeção geográfica LAT/LONG, utilizando o Datum WGS-84. Este procedimento foi executado através do programa disponibilizado, também gratuitamente, pela NASA - *Modis Reprojection Tool*, para que os dados contidos na imagem pudessem ser processados. Assim, as imagens ficam georreferenciadas de acordo com a projeção e o sistema de coordenadas escolhidos.

Dos onze subprodutos constantes em cada produto MOD13Q1, foram selecionados dois – NDVI e EVI - que foram extraídos diretamente do programa *Modis Reprojection Tools* e reprojctados com o novo sistema de coordenadas. Feito isso em todas as 14 imagens selecionadas, gerou-se um novo arquivo, tanto para o NDVI quanto para o EVI, utilizando os respectivos subprodutos de cada uma das 14 imagens, formando uma só imagem de 14 “bandas”, ou seja, uma imagem multitemporal onde cada “banda” corresponde a uma data no intervalo de tempo aqui selecionado. Na Tabela 9 estão os dados básicos das imagens selecionadas para este trabalho.

---

<sup>6</sup> <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>

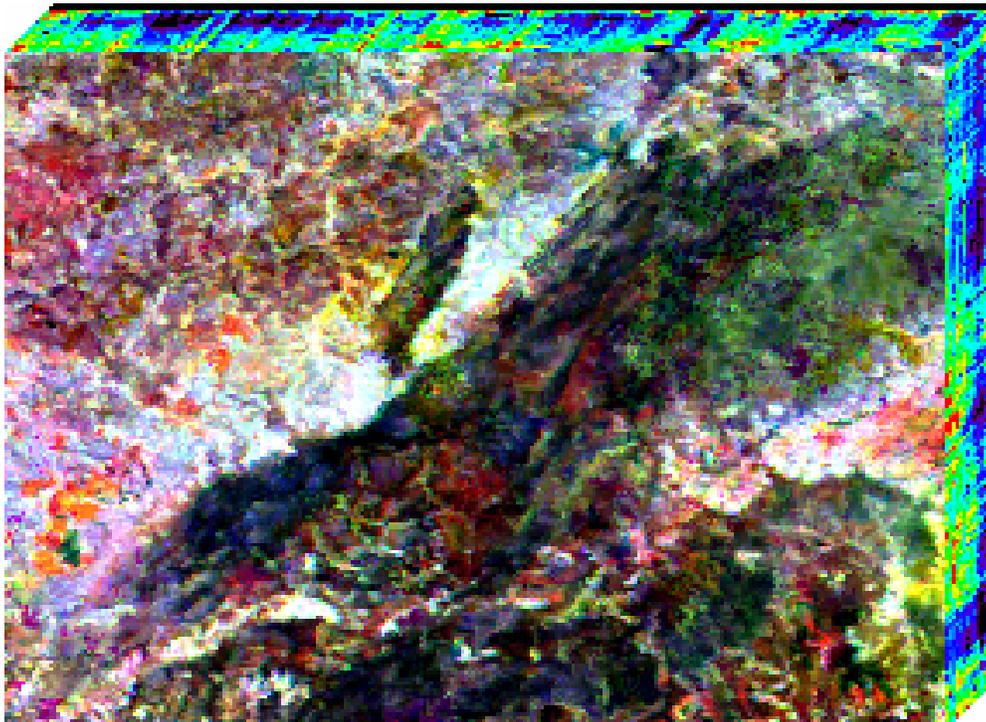
**TABELA 9: RELAÇÃO DAS IMAGENS MODIS ADQUIRIDAS PARA A ANÁLISE MULTITEMPORAL**

Nº	Data Granule ID (Local Granule ID)	Data Inicial	Data Final	Cobert. Nuvens %	Ponto Central
1	<b>SC:MOD13Q1.004:2027810013</b> (MOD13Q1.A2005033.h13v10.004.2005060190900.hdf)	02 Feb 2005, 00:00:00	17 Feb 2005, 23:59:59	6	15.05° Lat, - 46.69° Lon
2	<b>SC:MOD13Q1.004:2027969071</b> (MOD13Q1.A2005049.h13v10.004.2005074030635.hdf)	18 Feb 2005, 00:00:00	05 Mar 2005, 23:59:59	9	15.05° Lat, - 46.69° Lon
3	<b>SC:MOD13Q1.004:2028377130</b> (MOD13Q1.A2005081.h13v10.004.2005101062932.hdf)	22 Mar 2005, 00:00:00	06 Apr 2005, 23:59:59	5	15.05° Lat, - 46.69° Lon
4	<b>SC:MOD13Q1.004:2029005142</b> (MOD13Q1.A2005097.h13v10.004.2005138172508.hdf)	07 Apr 2005, 00:00:00	22 Apr 2005, 23:59:59	1	15.05° Lat, - 46.69° Lon
5	<b>SC:MOD13Q1.004:2029160658</b> (MOD13Q1.A2005113.h13v10.004.2005145043743.hdf)	23 Apr 2005, 00:00:00	08 May 2005, 23:59:59	2	15.05° Lat, - 46.69° Lon
6	<b>SC:MOD13Q1.004:2029360302</b> (MOD13Q1.A2005129.h13v10.004.2005152100652.hdf)	09 May 2005, 00:00:00	24 May 2005, 23:59:59	0	15.05° Lat, - 46.69° Lon
7	<b>SC:MOD13Q1.004:2029549058</b> (MOD13Q1.A2005145.h13v10.004.2005166043839.hdf)	25 May 2005, 00:00:00	09 Jun 2005, 23:59:59	4	15.05° Lat, - 46.69° Lon
8	<b>SC:MOD13Q1.004:2029743673</b> (MOD13Q1.A2005161.h13v10.004.2005179164139.hdf)	10 Jun 2005, 00:00:00	25 Jun 2005, 23:59:59	0	15.05° Lat, - 46.69° Lon
9	<b>SC:MOD13Q1.004:2030356450</b> (MOD13Q1.A2005193.h13v10.004.2005222103338.hdf)	12 Jul 2005, 00:00:00	27 Jul 2005, 23:59:59	0	15.05° Lat, - 46.69° Lon
10	<b>SC:MOD13Q1.004:2030828673</b> (MOD13Q1.A2005225.h13v10.004.2005255232451.hdf)	13 Aug 2005, 00:00:00	28 Aug 2005, 23:59:59	0	15.05° Lat, - 46.69° Lon
11	<b>SC:MOD13Q1.004:2031316665</b> (MOD13Q1.A2005273.h13v10.004.2005293222249.hdf)	30 Sep 2005, 00:00:00	15 Oct 2005, 23:59:59	0	15.05° Lat, - 46.69° Lon
12	<b>SC:MOD13Q1.004:2031553200</b> (MOD13Q1.A2005289.h13v10.004.2005310083334.hdf)	16 Oct 2005, 00:00:00	31 Oct 2005, 23:59:59	3	15.05° Lat, - 46.69° Lon
13	<b>SC:MOD13Q1.004:2032538463</b> (MOD13Q1.A2005353.h13v10.004.2006011002124.hdf)	19 Dec 2005, 00:00:00	03 Jan 2006, 23:59:59	8	15.05° Lat, - 46.69° Lon
14	<b>SC:MOD13Q1.004:2032934534</b> (MOD13Q1.A2006017.h13v10.004.2006038205936.hdf)	17 Jan 2006, 00:00:00.0	01 Feb 2006, 23:59:59.0	1	15.05° Lat, - 46.69° Lon

### 3.1. Confeção do Cubo 3D das Imagens Temporais NDVI e EVI

Para obter os espectros de NDVI e EVI, as imagens relativas às diferentes datas devem ser unidas, sintetizando a informação multitemporal em uma só imagem – um espectro multitemporal NDVI e outro EVI. Dessa forma é possível identificar que cada “banda” da imagem refere-se a um intervalo de tempo na área de estudo e não, como tradicionalmente são as imagens orbitais, um intervalo do espectro da radiação eletromagnética.

Para que a visualização deste processo se torne mais fácil, é possível construir um cubo de imagens em 3D onde os eixos “x” e “y” representam as coordenadas geográficas e o eixo “z” o espectro temporal NDVI ou EVI (**Figura 7**). Os espectros temporais são ordenados no cubo 3D utilizando a seqüência dos dias do ano em ordem crescente. Assim, esta imagem retrata a “fusão”do elemento *tempo* na região de estudo, resultado da junção das imagens MODIS adquiridas anteriormente.

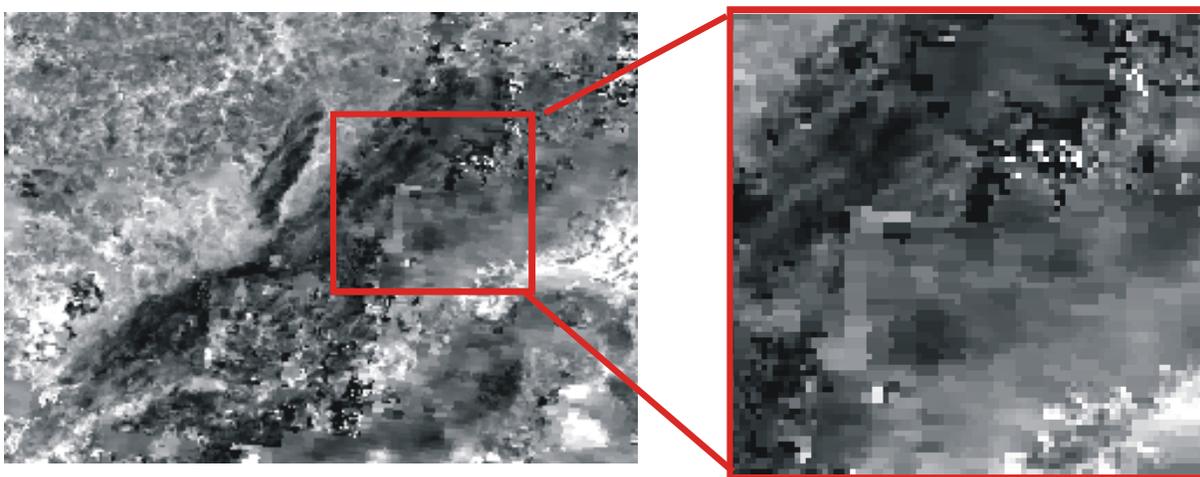


**Figura 7:** Imagem do cubo 3D relativo à série temporal NDVI do sensor MODIS.

### 3.2. Tratamento do Ruído

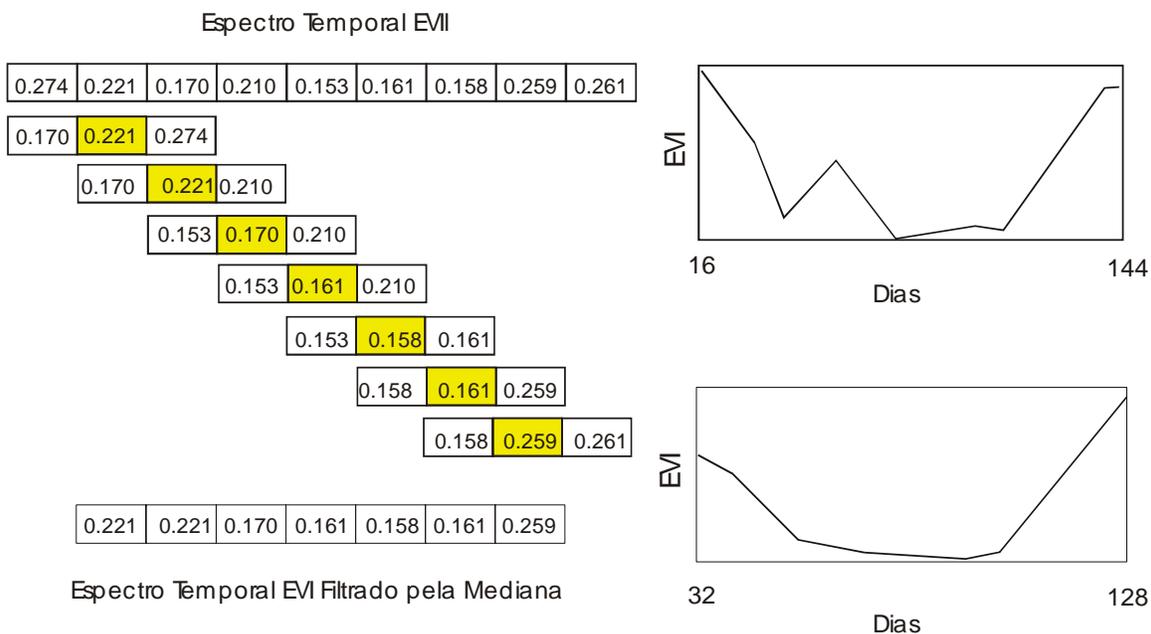
O espectro temporal dos índices de vegetação apresenta uma forte interferência de ruídos, o que ocasiona variações indesejáveis que prejudica a análise espectral e sua classificação. Para obter um espectro temporal mais suavizado foram utilizados os seguintes procedimentos: (a) análise visual da imagem retirando as que apresentam áreas significativas com degradação de sinal, (b) emprego do filtro de mediana ao longo do espectro, e (c) emprego da transformação MNF.

Algumas imagens do índice de vegetação apresentam alta porcentagem de ruído que devem ser excluídas do processamento para não afetar o processo de classificação e análise espectral. A **Figura 8** demonstra exemplos de imagens com uma extensa área degenerada que ocasionaria prejuízos nas etapas seguintes de processamento.



**Figura 8:** Imagem EVI do sensor MODIS com alta porcentagem de ruído.

Para o tratamento do ruído presente no espectro temporal, um filtro convolucional de mediana foi desenvolvido com uma janela de dimensão de 3 bandas que passa pelo espectro com um passo igual a 1, minimizando as variações presentes. Desta forma, o filtro calcula para as três primeiras bandas do espectro o valor de mediana, anda uma banda e calcula o valor das três bandas seguintes e assim sucessivamente (**Figura 9**). O programa foi desenvolvido em linguagem IDL sendo utilizada no programa ENVI.



**Figura 9:** Filtro espectral de mediana.

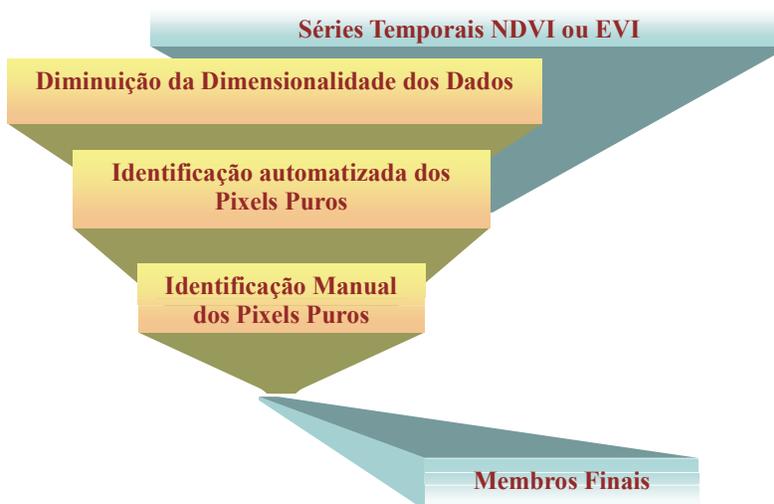
Complementarmente, foi aplicada a transformação MNF (*Minimum Noise Fraction*) desenvolvido para o tratamento de imagens hiperespectrais. No entanto, esse método mostra-se adequado para eliminar ou minimizar a interferência de ruídos de outros conjuntos de dados com riqueza de informações como imagens gamaespectrométrica (DICKSON & TAYLOR, 1988, 2000). No processamento de imagens de séries temporais, este método foi aplicado com sucesso na análise temporal de imagens MODIS sobre região de Mata Seca no ambiente de Cerrado (CARVALHO JÚNIOR et al., 2006).

O MNF é um procedimento estatístico no âmbito da Análise de Principais Componentes (APC) que concilia tanto os procedimentos de segregação da componente ruído como também de redução da dimensionalidade dos dados (GREEN et al., 1988). Uma das grandes limitações da APC para a remoção do ruído é que nem sempre se observa, para as componentes principais, um aumento da razão sinal/ruído de forma crescente em relação aos autovalores (GREEN et al., 1988; LEE et al., 1990; CARVALHO JÚNIOR et al., 2002). Desta forma, a vulnerabilidade da APC para a eliminação do ruído é resultante da priorização da variância no ordenamento dos dados, ao invés da razão sinal/ruído como é adotado pela transformação MNF. O procedimento para eliminar os ruídos pelo método MNF possui as seguintes etapas: (a) efetuar a transformação MNF na imagem, (b) identificar, pela qualidade da imagem e pelo gráfico de autovalores, as

bandas relativas ao sinal e ao ruído e (c) efetuar a transformação inversa do MNF utilizando somente as bandas relativas ao sinal.

### 3.3. Identificação dos Membros Finais

Os membros finais consistem nos elementos puros na imagem que, por mistura, formam todos os demais espectros presentes (CARVALHO JÚNIOR et al., 2003). Os métodos desenvolvidos para detectar os membros finais implicitamente ou explicitamente assumem a geometria do conjunto convexo (BATENSON et al., 2000; BATENSON & CURTIS, 1996; BERMAN et al., 2004; WINTER, 1999; TOMPKINS et al., 1997). Um dos métodos mais utilizados é o proposto por Boardman & Kruse (1994) composto por três etapas: (a) redução da dimensão espectral (Minimum Noise Fraction - MNF), (b) redução da dimensão espacial (Purity Pixel Index - PPI), e (c) identificação manual (utilizando um visualizador n-dimensional). Essa metodologia é amplamente utilizada no processamento de imagens hiperespectrais (CARVALHO JÚNIOR et al., 1999; KRUSE, 1996; 1999; KRUSE & BOARDMAN, 1999; KRUSE et al., 1996; RICHARDSON, 1996; RICHARDSON et al., 1994) como também de imagens multiespectrais (CARVALHO et al., 2002; BLOISE et al., 2003). Comparação do emprego desse procedimento para sensores de resoluções espectrais diferentes mostra que em ambientes naturais, os membros finais encontrados são similares (CARVALHO JÚNIOR et al., 2006). No presente trabalho esta metodologia é adaptada para imagens multitemporais (**Figura 10**).



**Figura 10:** Sequência metodológica para identificação dos membros finais considerando séries multitemporais de índices de vegetação.

### 3.4. Classificação

A metodologia adotada para a classificação dos dados considerou o emprego de dois métodos: (a) ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) um método de classificação não supervisionado que permite uma análise exploratória dos dados sem a intervenção do usuário (BALL & HALL 1967), e (b) árvore de decisão que permite explorar as características espectrais identificadas nos membros finais onde o operador atua na definição dos critérios de seleção.

O método ISODATA está no âmbito dos métodos de classificação por análise de grupos. A utilização da análise de grupos vem sendo cada vez mais empregada como uma forte ferramenta na investigação científica, contribuindo significativamente para uma análise exploratória dos sistemas existentes. Desta forma, este método estatístico favorece a formulação de hipóteses sobre a estrutura da distribuição interna dos dados. A análise de grupos tem como propósito particionar um conjunto de N entidades (no nosso caso, dados geoquímicos, geofísicos etc..) em subconjuntos distintos e não vazios, que sejam tão homogêneos quanto possível (SAMPAIO, 1990). A classificação dos grupos é definida por intermédio de uma medida de similaridade ou dissimilaridade entre os parâmetros, como por exemplo, o da distância Euclidiana utilizada no ISODATA. No final do processo objetiva-se definir grupos ou clusters que sejam pertinentes e decorrentes naturais da própria estruturação dos dados. O ISODATA e o *K-means* são métodos não hierárquicos, que primeiramente selecionam centros para os agrupamentos denominados sementes e a partir de uma distância pré-determinada agrupa os elementos em sua volta. O algoritmo do ISODATA é similar ao do *k-means*, a principal diferença é que no método ISODATA o número de classes não é definido a priori como no *k-means*, que assume inicialmente um número de classes.

Uma árvore de decisão tem a função de dividir um conjunto de treinamento, até que cada subconjunto obtido desta divisão contenha casos de uma única classe (BREIMAN et al., 1984). Uma árvore é composta pelas seguintes unidades: (a) um nó raiz formado a partir de todos os dados, (b) um conjunto hierárquico de nós internos denominados partições (“*Split*”) responsáveis pela tomada de decisão, utilizando teste lógico, que define o próximo nó descendente ou filho, e (c) nós terminais chamados de folhas (“*leaves*”) caracterizados por não possuírem nó descendente (LATORRE et al., 2007). A árvore de decisão binária divide cada nó intermediário em dois nós descendentes: o nó esquerdo (quando os dados satisfazem o teste lógico) e o nó direito (quando

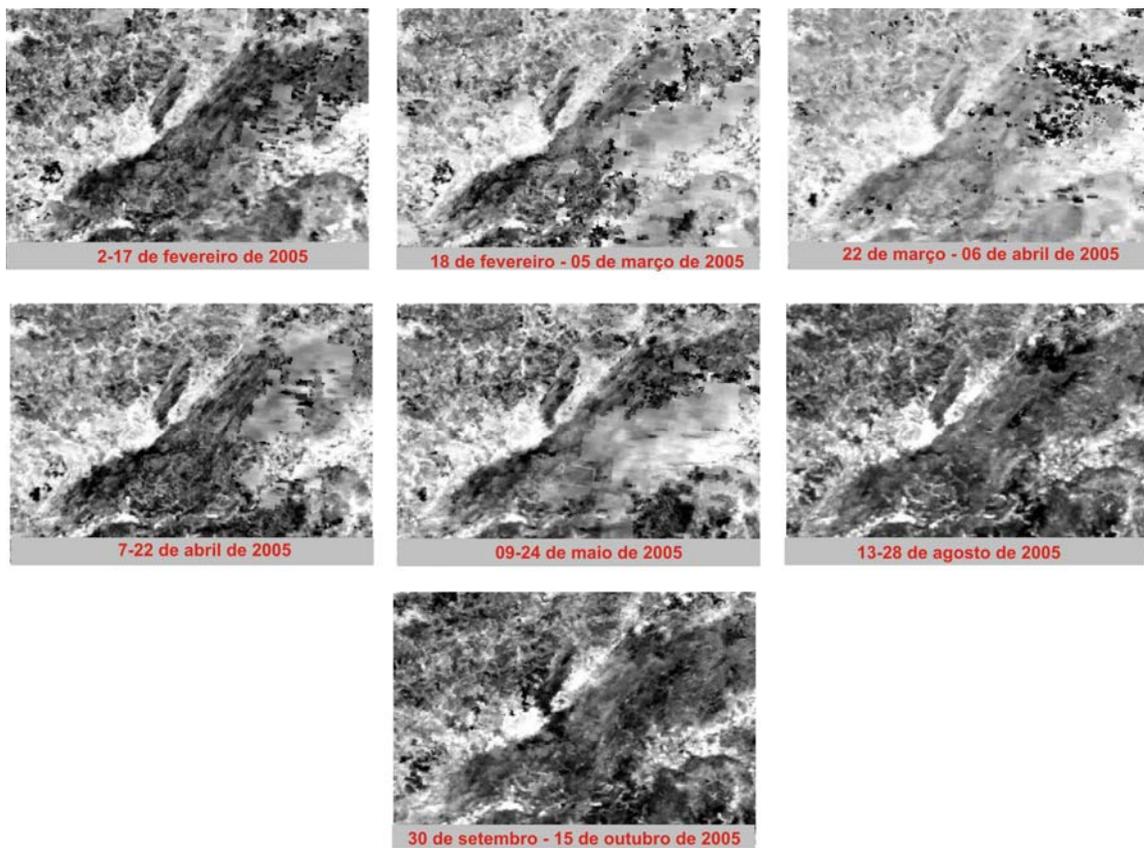
não satisfazem). A divisão em cada nó interno de uma árvore é definida por critérios estabelecidos pelo usuário ou por procedimentos estatísticos. No presente trabalho, a partir das características espectrais dos membros finais, foram estabelecidos critérios para a partição dos dados.

Os métodos de classificação espectral como o *Spectral Angle Mapper* (KRUSE et al., 1993) e o *Spectral Correlation Mapper* (CARVALHO JÚNIOR & MENESES, 2000), baseados em métricas de correlação, apresentam deficiências na classificação dos espectros temporais, como os deste trabalho, devido à presença de classes distintas com alta correlação espectral entre si.

## IV – RESULTADOS

### 4.1. Resultados do Tratamento de Ruído

Um dos principais problemas no tratamento de espectros temporais é a dificuldade de eliminar ou diminuir a presença de ruídos. Desta forma, foram utilizados três procedimentos para minimizar os seus efeitos. Primeiramente, pela análise visual pode-se constatar a presença de cinco bandas com alta porcentagem de área com degradação de sinal (**Figura 11**). Essas imagens concentram-se na época da chuva onde ocorre um intenso recobrimento de nuvens.

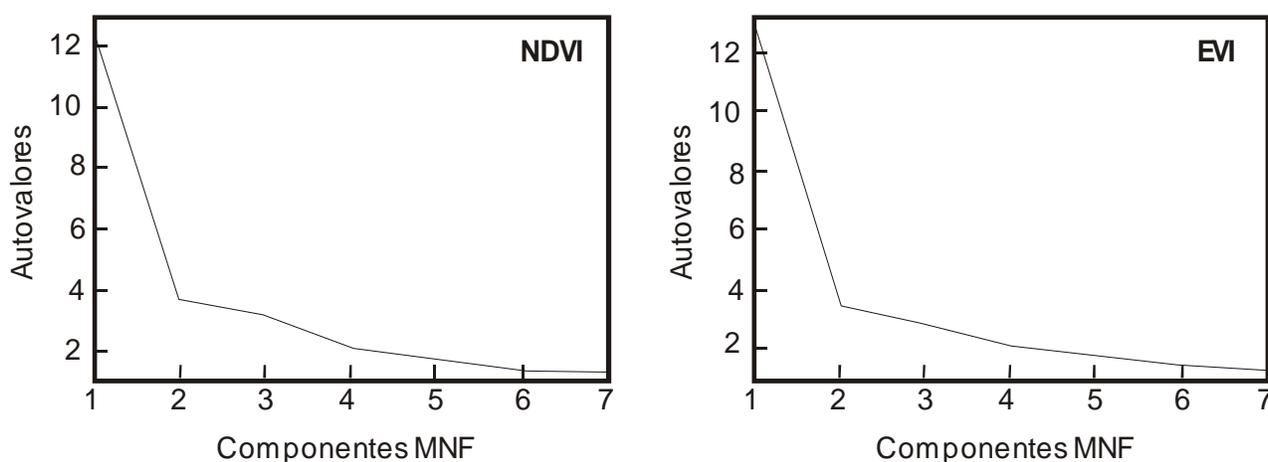


**Figura 11:** Imagens NDVI com presença de áreas extensas com degradação do sinal.

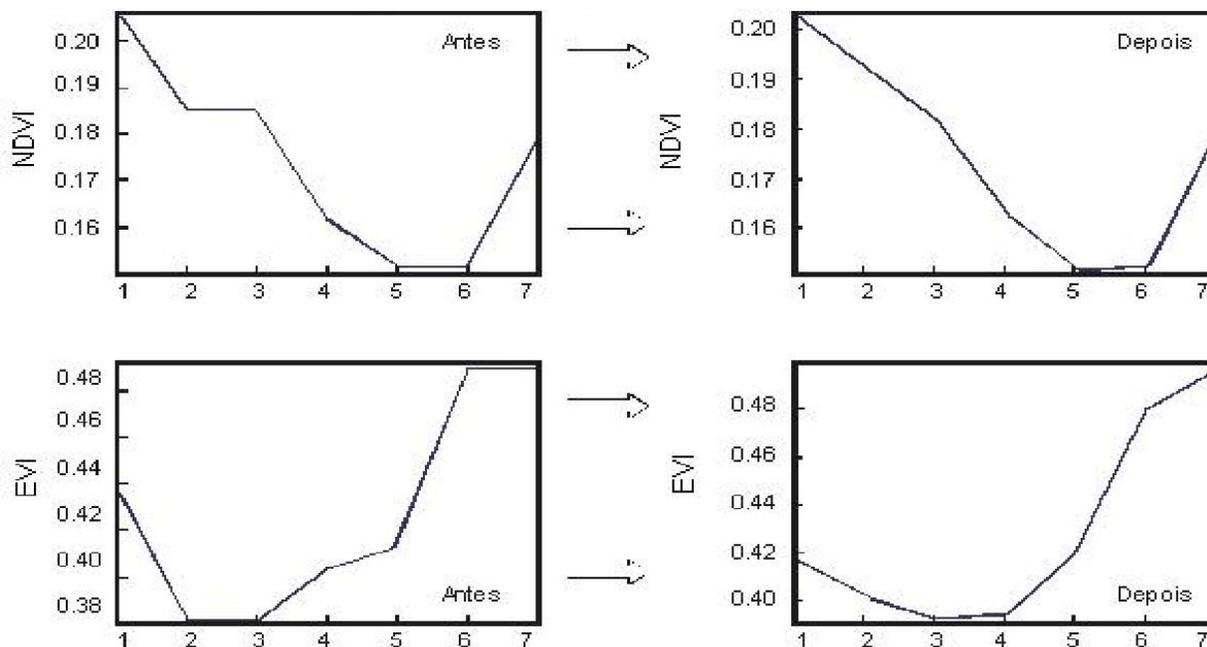
O emprego do filtro da mediana ao longo do espectro temporal dos índices de vegetação permitiu diminuir de forma significativa a presença de ruídos e a variação presente nos espectros. Essa técnica proposta possui uma alta eficiência no tratamento desse tipo de dado.

O emprego da transformação MNF permitiu eliminar os ruídos brancos ainda persistentes. As componentes da transformação MNF são ordenadas de acordo com a razão sinal/ruído, onde

as primeiras componentes representam as bandas relativas ao sinal e as últimas as componentes de ruído. O limite entre esses dois conjuntos de dados pode ser determinado visualmente pela qualidade das imagens ou pela análise da curva de autovalores. A análise do gráfico de autovalores da transformação MNF salienta a alta redundância de informações presentes na série temporal com a concentração de informações nas primeiras componentes (**Figura 12**). Desta forma, os autovalores descrevem uma pronunciada queda de seus valores até a quarta componente quando é definido um patamar de baixos valores. As primeiras três componentes, praticamente, detêm as informações relativas ao sinal, enquanto as demais componentes são referentes ao ruído. A análise complementar da qualidade das imagens também confirma essa distribuição do sinal em relação ao ruído. Considerando apenas as bandas de sinal na transformação inversa do MNF são obtidos espectros NDVI multitemporais suavizados com menor variação de ruídos (**Figura 13**). Esse método é bastante simples e de rápido processamento.



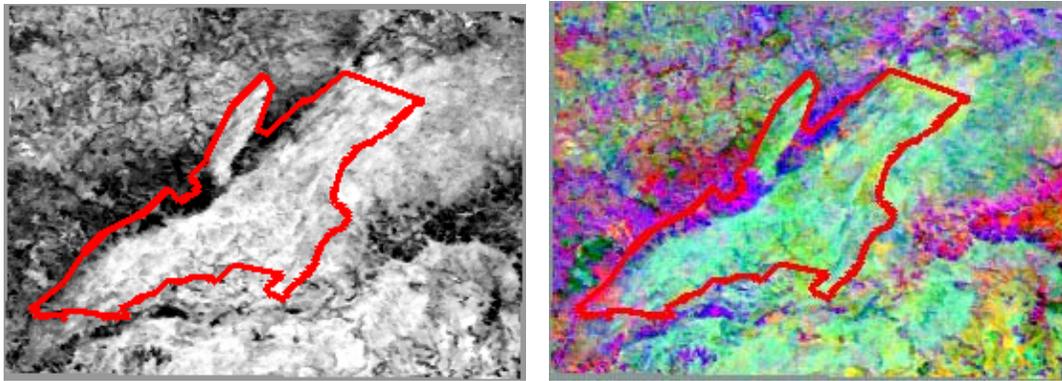
**Figura 12:** Gráfico de autovalores da transformação MNF para imagens temporais (a) NDVI e (b) EVI. Observa-se nos dois gráficos a concentração de informação nas três primeiras bandas.



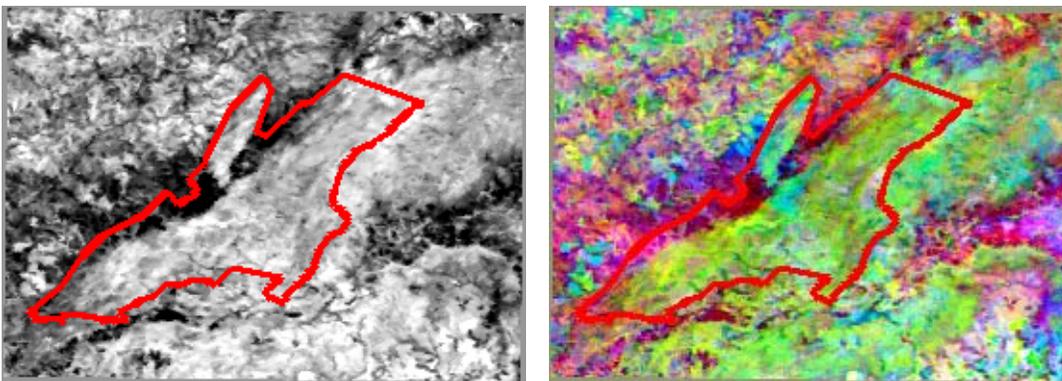
**Figura 13:** Espectros temporais NDVI e EVI (a) original com alta variação e presença de ruído, e (b) espectros suavizados pela transformação MNF.

#### 4.2. Resultados dos Processos para Identificação dos Membros Finais

Nas identificações dos membros finais das séries temporais NDVI e EVI foi utilizado o procedimento seqüencial MNF - PPI – Visualização n-Dimensional. As componentes MNFs para a área de estudo permitem um expressivo realce da vegetação do PNCV em relação às áreas circunvizinhas. O comportamento entre as imagens MNFs da série EVI e NDVI são similares (**Figura 14 e 15**) A primeira componente MNF, responsável pela maior variância dos dados, realça o comportamento fenológico diferenciado da vegetação do PNCV (**Figura 14a e 15a**). A composição colorida das três primeiras componentes MNF, também evidencia a presença de padrões e comportamentos distintos, onde as distribuições tonais refletem distinções de vegetação tanto espacial como temporal (**Figura 14b e 15b**). Estudo análogo de redução espectral de dados multitemporais tem sido realizado utilizando a transformação por Análise de Principais Componentes (BYRNE et al., 1980; INGEBRITSEN & LYON, 1985; FUNG & LEDREW, 1987, FUNG, 1990). As pesquisas com APC enfocam a sua capacidade de detecção de mudança e a sua capacidade para a normalização dos dados.

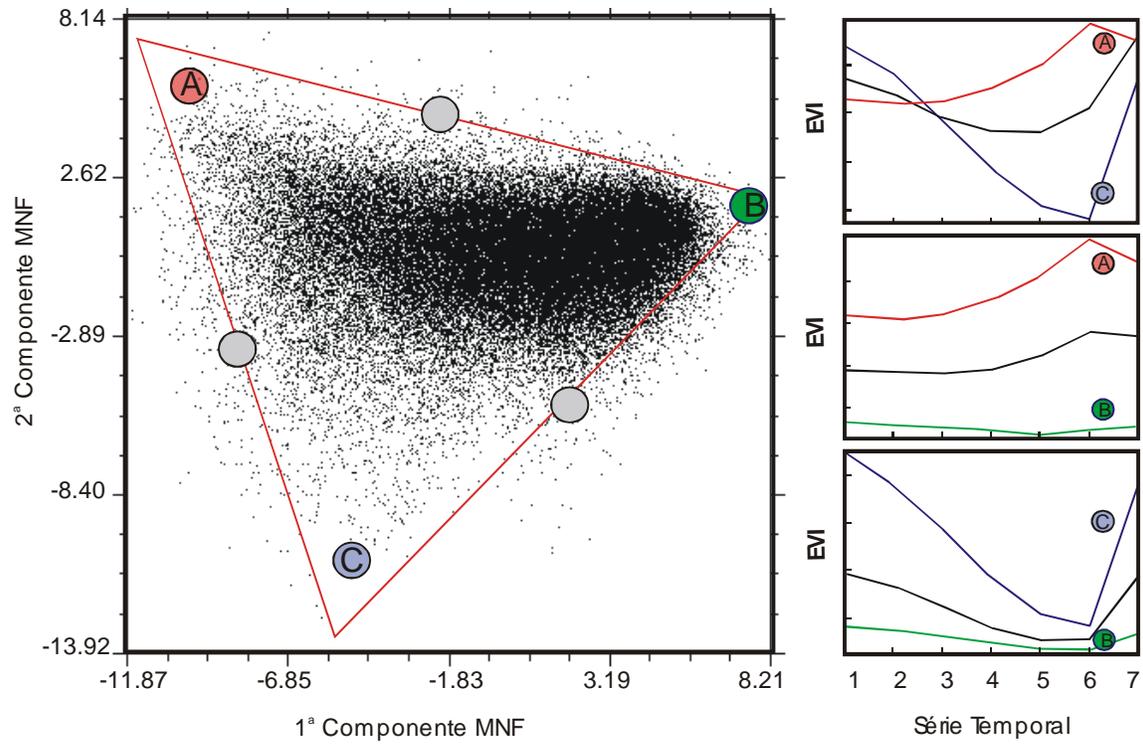


**Figura 14:** Imagens provenientes da transformação MNF para a série temporal EVI: (a) primeira componente MNF destacando a diferenciação da vegetação do PNCV com predomínio de tonalidades mais claras em relação às áreas circunvizinhas, e (b) composição colorida R: 3a MNF/ /G:1a MNF/ B:2a MNF. O limite do PNCV está demarcado em vermelho.

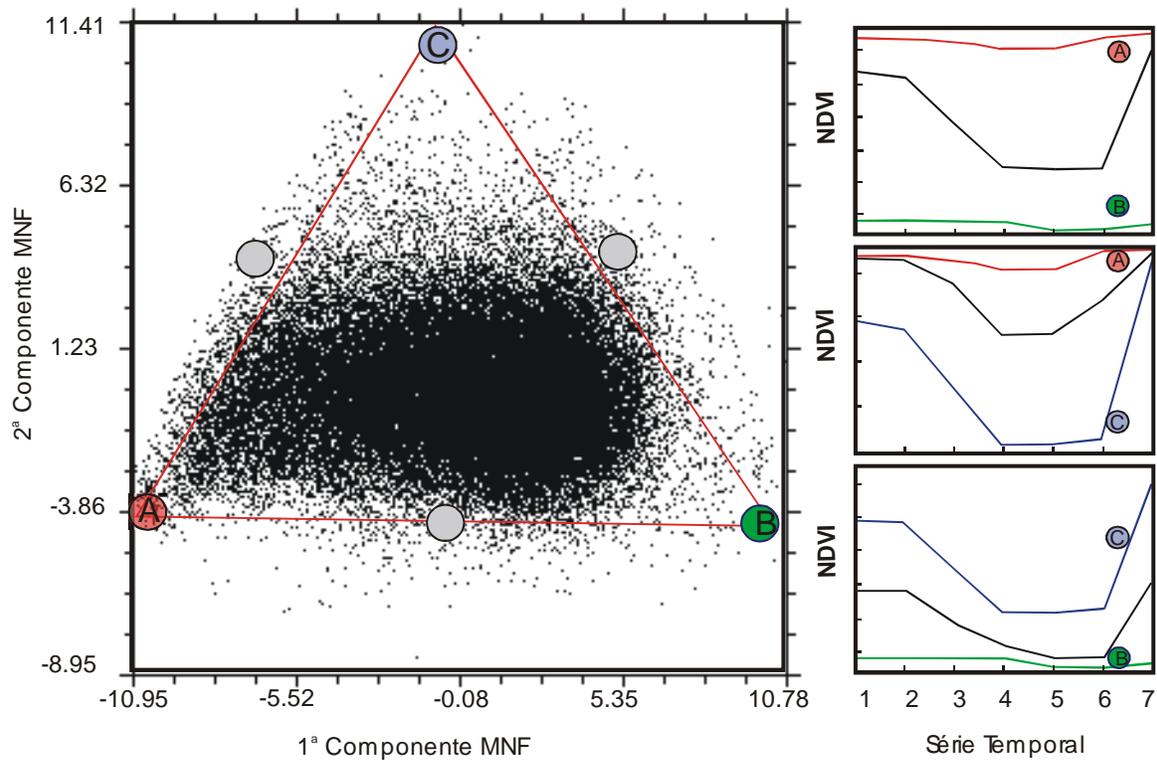


**Figura 15:** Imagens provenientes da transformação MNF para a série temporal NDVI: (a) primeira componente MNF destacando a diferenciação da vegetação do PNCV com predomínio de tonalidades mais claras em relação às áreas circunvizinhas, e (b) composição colorida R: 3a MNF/ /G:1a MNF/ B:2a MNF. O limite do PNCV está demarcado em vermelho.

No espaço de atributos referentes às componentes MNFs, a qual descreve a inerente dimensionalidade dos dados, observa a presença de um conjunto convexo, também denominado de simplex, que descreve os membros finais localizados nos seus vértices (SMITH et al., 1985; BATESON & CURTISS, 1993 e 1996; BOARDMAN, 1993). Desta forma, os gráficos de dispersão da primeira e da segunda componente MNF para a série temporal do índice EVI (**Figura 16**) e NDVI (**Figura 17**) caracterizam-se por apresentar os dados circunscritos dentro de uma figura triangular. Nos vértices ficam as assinaturas temporais referentes aos membros finais da imagem, sendo referentes às seguintes áreas: (a) cerrado denso, caracterizado por apresentar valores mais altos de NDVI e EVI dentro do período estudado, (b) campos, caracterizados por apresentarem valores de NDVI e EVI baixos para o período analisado, e (c) atividade agrícola onde se observa uma alta variação sazonal.

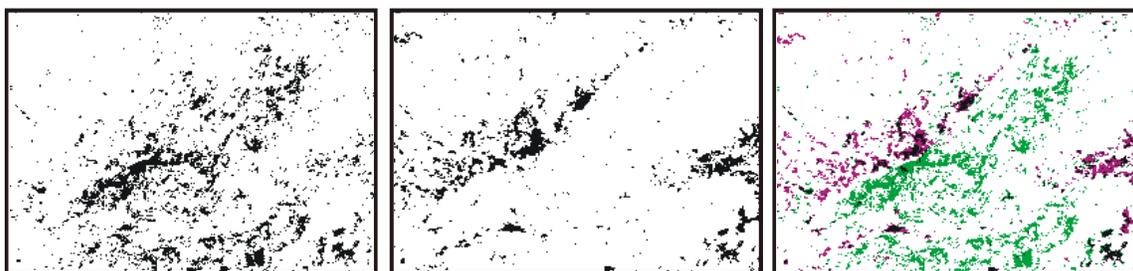


**Figura 16:** Diagrama de dispersão entre a 1ª componente MNF e a 2ª componente MNF da série temporal do índice EVI evidenciando o conjunto convexo na forma triangular.



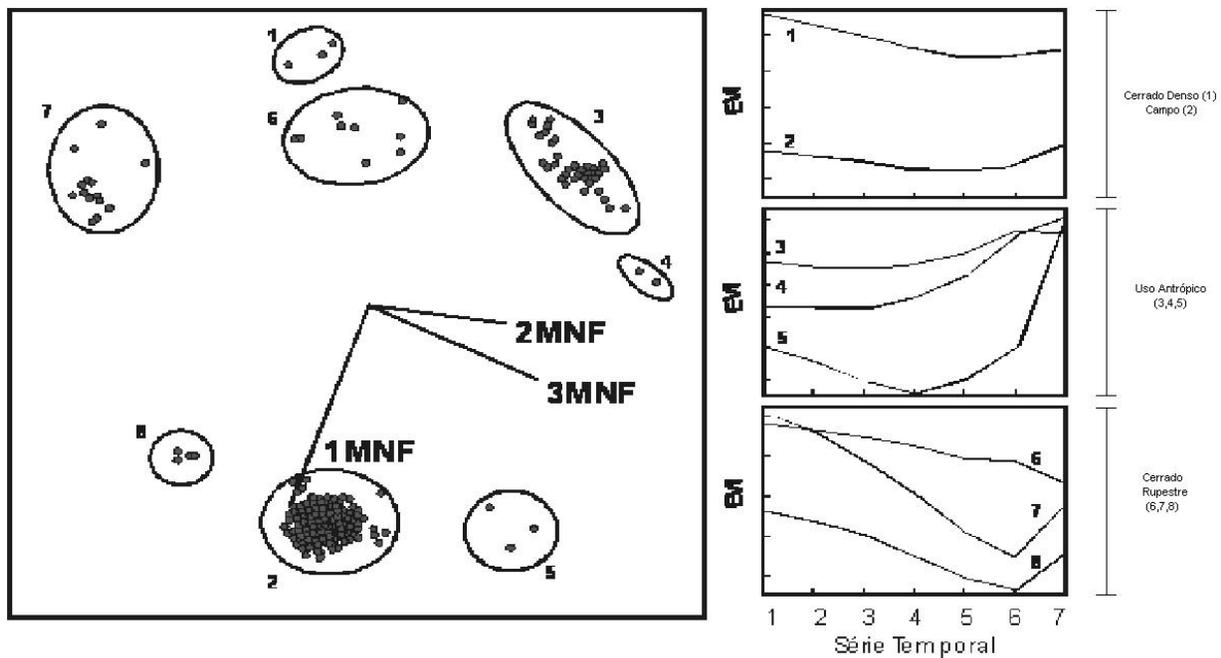
**Figura 17:** Diagrama de dispersão entre a 1ª componente MNF e a 2ª componente MNF da série temporal do índice NDVI evidenciando o conjunto convexo na forma triangular.

O emprego do PPI permite determinar de forma automática os pixels referentes aos membros finais, ou seja, dos vértices do conjunto convexo MNF, anteriormente descritos. Para os pixels com baixos valores de PPI, observam-se diferenças dos membros finais detectados entre as séries NDVI e EVI (**Figura 18**). No entanto, com o aumento do valor do PPI (no caso 300) observa-se um aumento da similaridade dos pixels selecionados. A imagem PPI relativa à série NDVI tende a selecionar maior quantidade de áreas com vegetação fotossinteticamente ativa (VFA). Essa característica é devido à saturação da clorofila do índice NDVI que proporciona uma menor diferenciação entre VFAs e conseqüentemente uma maior aglutinação de dados no vértice relativo ao cerrado denso. Em contraposição a imagem PPI relativa à série EVI tende a selecionar maior quantidade de áreas com baixa quantidade de VFA.



**Figura 18:** Imagens do processamento PPI considerando valores superiores a 2 PPI: (a) proveniente da série EVI (área em preto), (b) proveniente da série NDVI (área em preto), e (c) cruzamento das duas imagens estando em magenta os pixels presentes somente na série NDVI, em verde os pixels somente presentes na série EVI, e em preto os pixels presentes tanto para a série EVI como NDVI.

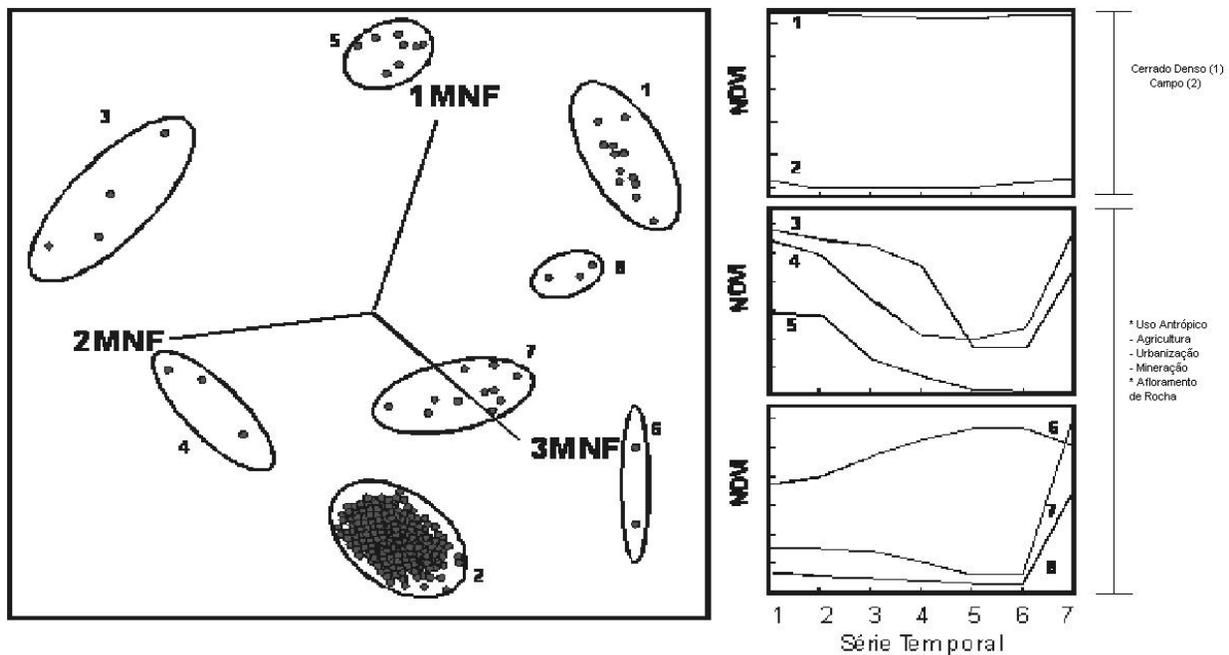
O emprego da técnica de visualização n-dimensional favorece a individualização dos membros finais identificados no processamento PPI. Desta forma, é obtida com maior precisão os diferentes espectros temporais que compõe a cena. Devido à baixa complexidade da geometria do convexo presente neste estudo são acrescentados poucos espectros em relação aos descritos, anteriormente, pelo gráfico de dispersão. A **Figura 19** apresenta os agrupamentos de *pixels* no espaço tridimensional referentes aos membros finais da série temporal EVI.



**Figura 19:** Distribuição dos agrupamentos dos membros finais da série temporal EVI utilizando o visualizador n-dimensional e seus respectivos espectros temporais.

Os conjuntos de espectros 1 e 2 caracterizam os principais espectros presentes na imagem sendo referentes às áreas de cerrado denso e campo respectivamente. Os espectros com maior variação no tempo são referentes às áreas com presença de uso antrópico ou de afloramento de rocha (3,4 e 5). Já os espectros dos conjuntos 6, 7 e 8 apresentam um comportamento espectral no tempo característico da fitofisionomia mais abundante na região do PNCV – o campo rupestre. Esta formação fitofisionômica apresenta alta atividade fotossintética no verão – quando o índice pluviométrico é maior – e baixa atividade fotossintética no inverno, condições atmosféricas bem típicas da região do cerrado. Assim, os espectros apresentam uma queda do índice EVI no tempo 6 – inverno/seco – e alta do índice EVI nos tempos de 1 a 3 – verão chuvoso.

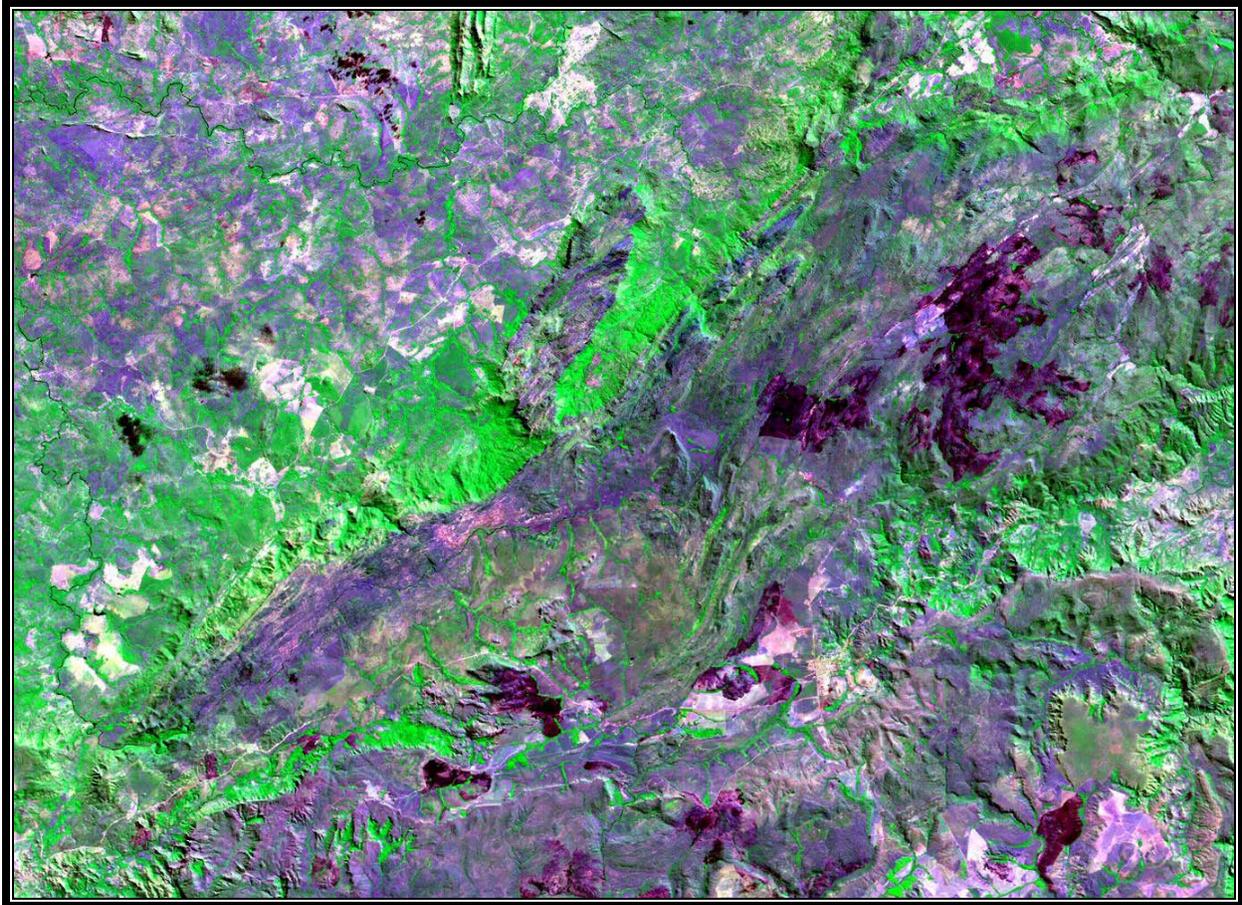
Para a série temporal NDVI observa-se pela análise do visualizador n-dimensional um comportamento similar ao apresentado pelo EVI. Analogamente, os conjuntos de espectros 1 e 2 representam às áreas de cerrado denso e campo, enquanto que os demais conjuntos espectros representam áreas com uso antrópico ou com presença de afloramento de rocha (**Figura 20**).



**Figura 20:** Distribuição dos agrupamentos dos membros finais da série temporal NDVI utilizando o visualizador n-dimensional e seus respectivos espectros temporais.

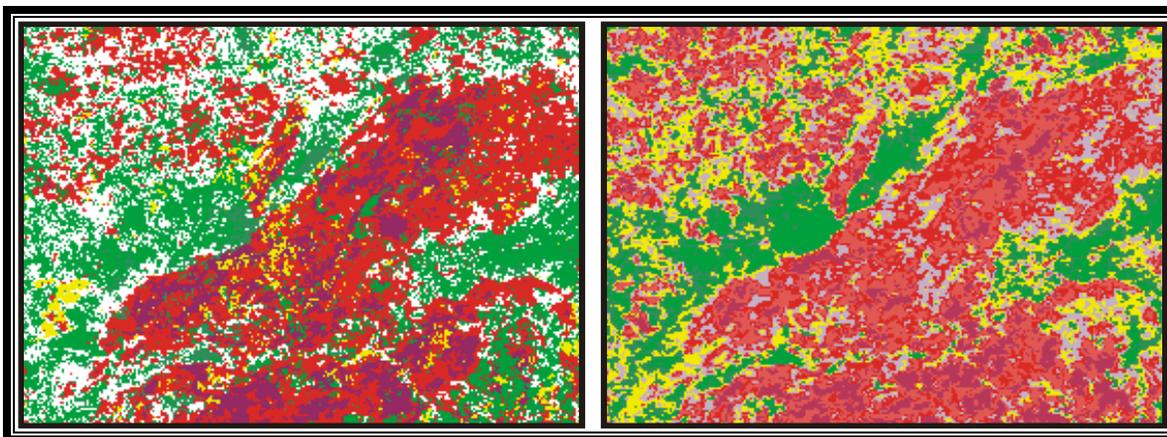
### 4.3. Resultados da Classificação

No presente trabalho, foram utilizados os métodos de classificação ISODATA e o de árvore de decisão. As imagens classificadas foram comparadas com o mapa de vegetação (**Figura 2**) e com imagens do sensor Landsat7/ETM+, do ano de 2003, de maior resolução espacial (**Figura 21**).



**Figura 21:** Imagem do sensor Landsat7/ETM+ relativo à área de estudo.

No método ISODATA foram considerados os seguintes critérios: 10 interações, número máximo de sete classes e mínimo de quatro classes, e um número mínimo de 50 pixels por classe. Os resultados apresentam sete classes e mostraram em geral uma similaridade entre a série temporal EVI e NDVI (**Figura 22**). No entanto, pode-se observar que nas áreas relativas ao cerrado mais denso (classes em verde), com grande atividade fotossintética, a classificação da série NDVI possui uma maior homogeneidade. Esta característica é devido à saturação do NDVI, que aproxima os *pixels* da VFA no espaço de atributos. Em contraposição a classificação ISODATA da série EVI mostra uma melhor diferenciação em áreas de campo (classes em vermelho).



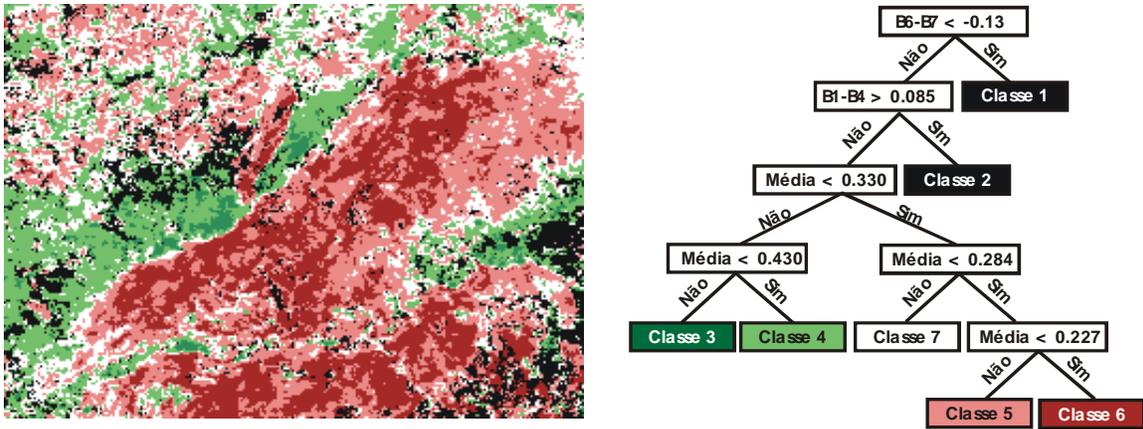
**Figura 22:** Classificação das imagens temporais MODIS pelo método ISODATA considerando: (a) série temporal EVI e (b) série temporal NDVI.

A árvore de decisão foi construída de forma a diferenciar espectros dos membros finais identificados. Na série EVI foram definidos três atributos: (a) o somatório dos valores ao longo do tempo, (b) a subtração entre os tempos  $t_6$  e  $t_7$ , e (c) a subtração entre os tempos  $t_5$  e  $t_6$ . Esses atributos mostram-se bem adequados apresentando uma grande similaridade com as imagens das três primeiras componentes MNF. O arquivo de regra da imagem classificada e a árvore de decisão da série EVI estão apresentados na **Figura 23**.

Inicialmente, na árvore de decisão foram separados os espectros de áreas com atividades antrópicas ou com presença de afloramento rochoso representados pelas classes 1 e 2 (preto). Os espectros da classe 1 caracterizam-se por serem os únicos a apresentarem como ponto de mínima a banda 6. Enquanto que os espectros da classe 2 caracterizam-se por apresentarem uma alta subida entre a banda 6 e a banda 7.

As classes de vegetação com presença de estrato arbóreo caracterizam-se por apresentar um valor médio EVI elevado. Desta forma, são subdivididos dois grupos: classe 3 com os valores mais altos representam o cerrado denso e a classe 4 com valores relativamente mais baixos representa o cerrado (verde escuro e verde).

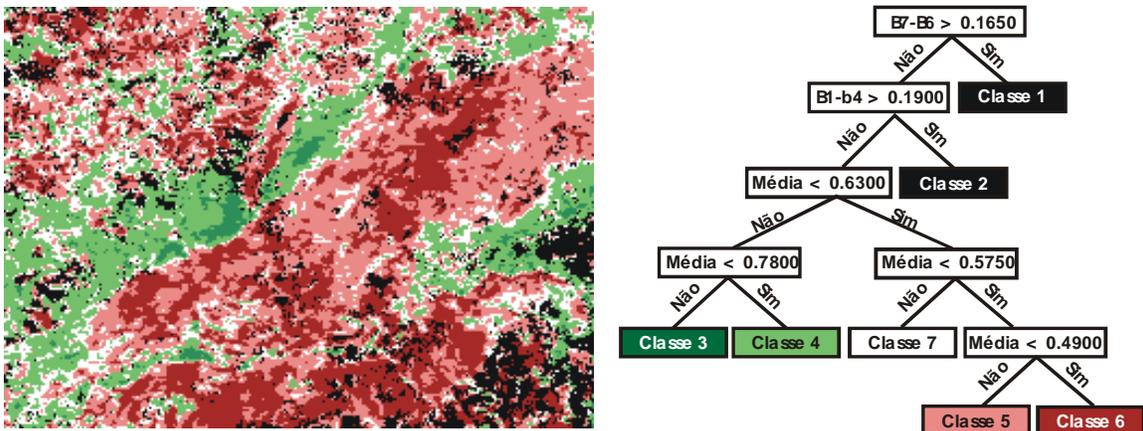
Por fim, são definidas as classes de campo que se caracterizam por possuírem valores médios de EVI baixos. Estes também foram subdivididos em duas classes a 6 e a 7 (vermelho e marrom). A classe 7 é representada pelos espectros provenientes de mistura na transição entre os dois principais ambientes.



**Figura 23:** Imagem classificada pelo método de árvore de decisão relativa à série temporal EVI com seu respectivo arquivo de regra.

A classificação pela árvore de decisão da série temporal NDVI considerou os critérios similares aos adotados pela série EVI. Desta forma, também foram definidos três atributos: (a) média dos valores ao longo do tempo, (b) a subtração entre os tempos t6 e t7, e (c) a subtração entre os tempos t1 e t4. O arquivo de regra da árvore de decisão e a imagem classificada da série NDVI são apresentados na **Figura 24**.

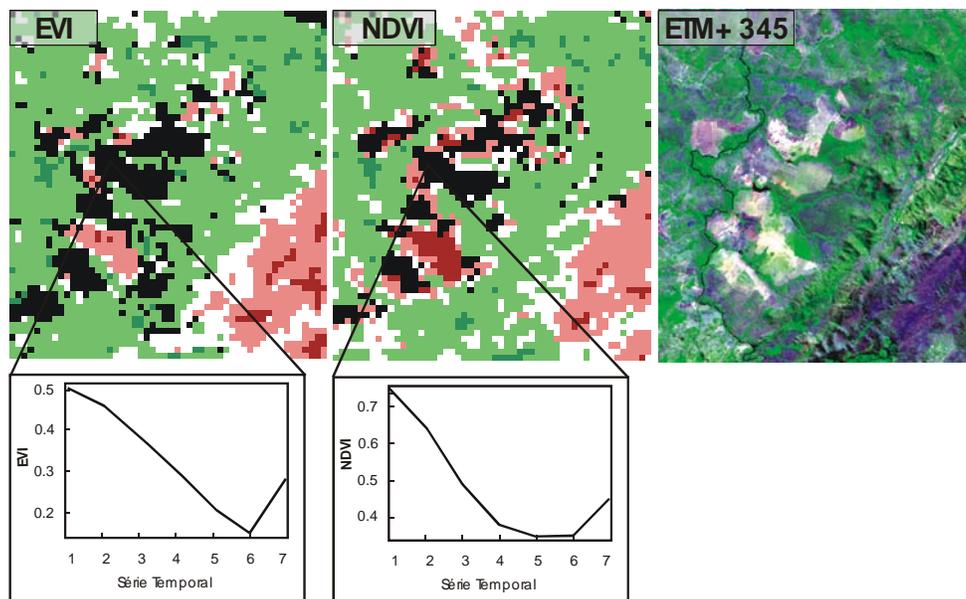
Com o propósito de obter uma classificação análoga a da série EVI, os dados também foram particionados nos três grupos principais: antrópico (classes 1 e 2), vegetação com predomínio de estrato arbóreo (classes 3 e 4) e vegetação com predomínio de estrato herbáceo (classes 5 e 6). A classe 7 representa as áreas de transições entre as classes principais.



**Figura 24:** Imagem classificada pelo método de árvore de decisão relativa à série temporal NDVI com seu respectivo arquivo de regra.

A imagem do sensor Landsat7/ETM+, do ano de 2003, com maior resolução espacial permitiu avaliar a classificação obtida pela árvore de decisão. Dessa forma, foi possível detalhar individualmente as três principais classes: atividade antrópica, campo e cerrado denso.

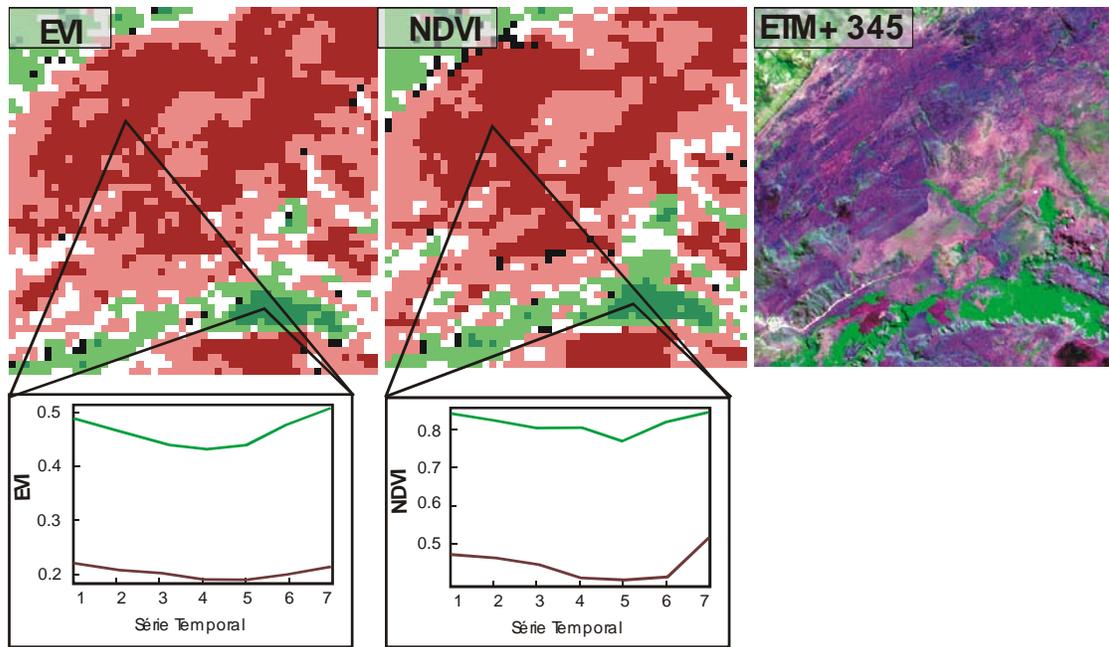
A **Figura 25** detalha a classe de atividade antrópica (em preto), salientando os espectros temporais EVI e NDVI do MODIS que, devido à dinâmica do tipo de uso, caracterizam-se pela alta variação. Na composição colorida ETM+(345), é possível visualizar as parcelas com prováveis atividades agrícolas (em branco).



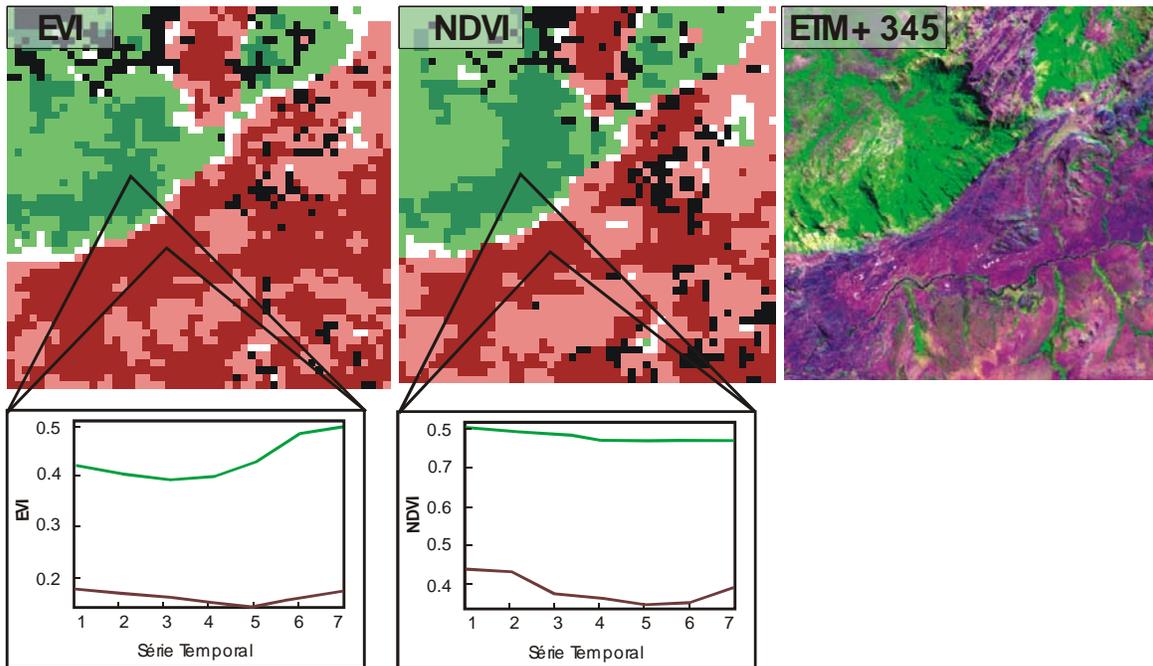
**Figura 25:** Detalhe das áreas com parcelas de cultivo: (a) imagem classificada da série temporal EVI-MODIS pela árvore de decisão (área antrópica em preto), (b) imagem classificada da série temporal NDVI-MODIS pela árvore de decisão (área antrópica em preto), (c) composição colorida ETM+(345). Nas imagens classificadas estão salientados os espectros temporais respectivos das áreas de cultivo.

As **Figuras 26 e 27** detalham os contrastes entre o cerrado denso (verde) e campo (vermelho) nas séries temporais EVI e NDVI do sensor MODIS e na composição colorida ETM+(345). Os espectros do cerrado denso (verde), tanto na série temporal EVI quanto NDVI demonstram altos valores para todo o espectro temporal, que contrastam com os espectros de campo (com cor vermelha) que apresentam baixos valores. A imagem do sensor Landsat7/ETM+ também evidencia o comportamento diferenciado entre as duas vegetações.

É também possível verificar, que o índice NDVI tende a homogeneizar o cerrado denso, em razão da saturação da clorofila que proporciona uma menor diferenciação entre VFAs (**Figura 27**). Por outro lado, o índice EVI aumenta o contraste na classe cerrado denso por não ser tão sensível à atividade fotossintética da planta e, sim, à sua estrutura e forma.



**Figura 26:** Detalhe das áreas de cerrado denso: (a) imagem classificada da série temporal EVI-MODIS pela árvore de decisão (cerrado denso – verde e campo - vermelho), (b) imagem classificada da série temporal NDVI-MODIS pela árvore de decisão (cerrado denso – verde e campo - vermelho), (c) composição colorida ETM+(345). Nas imagens classificadas estão salientados os espectros temporais respectivos das áreas de cerrado denso e campo.



**Figura 27:** Detalhe das áreas de cerrado denso e campo: (a) imagem classificada da série temporal EVI-MODIS pela árvore de decisão (cerrado denso – verde e campo - vermelho), (b) imagem classificada da série temporal NDVI-MODIS pela árvore de decisão (cerrado denso – verde e campo - vermelho), (c) composição colorida ETM+(345). Nas imagens classificadas estão salientados os espectros temporais respectivos das áreas de cerrado denso e campo.

## V – CONCLUSÃO

Os produtos MODIS índices de vegetação EVI e NDVI são atualmente, importantes ferramentas de análise e monitoramento da dinâmica dos diversos biomas na superfície terrestre, em virtude de sua resolução temporal e disponibilidade de imagens. Para o cerrado, bioma fragmentado e muito suscetível a alterações climáticas, o uso de índices de vegetação MODIS, tanto para pesquisas, quanto para monitoramento institucional, tem sido cada vez mais freqüente.

Entretanto, uma das principais limitações para o seu emprego é a baixa relação sinal/ruído. No presente trabalho, foi proposta uma seqüência de métodos para minimizar ou eliminar a presença desses ruídos. A metodologia adotou os seguintes procedimentos: (a) exclusão das imagens com alta percentagem com ruído, (b) emprego de um filtro de mediana ao longo do espectro temporal, e (c) emprego da transformação MNF. O filtro de mediana foi elaborado em linguagem IDL sendo o principal método adotado. Os espectros obtidos, apesar de apresentarem uma significativa suavização de suas características originais, mostram-se adequados para serem submetidos a processos de classificação.

A análise geométrica dos dados evidenciou a presença de um conjunto convexo bem caracterizado com a presença de membros finais bem definidos. Os principais espectros temporais são referentes às áreas de cerrado denso, campo e atividades antrópicas variáveis. A associação destes conjuntos de membros finais a estas respectivas classes foi proveniente da análise do mapa de vegetação obtido do trabalho IBAMA/EMBRAPA. Devido à alta dimensão do *pixel* observa-se a pronunciada existência de misturas dos espectros temporais nas imagens. Desta forma, em um espaço de atributos, referentes às componentes MNFs, observa-se de forma nítida à geometria do convexo. De um membro final para o outro existe uma série contínua que varia proporcionalmente à distância entre eles.

A classificação das séries temporais foi realizada utilizando dois métodos: um automatizado (ISODATA) e outro dependente do usuário (árvore de decisão). Os resultados permitiram separar as fitofisionomias mais contrastantes: (a) cerrado denso composto principalmente por vegetação arbórea e (b) campo constituída principalmente por vegetação herbácea. As áreas com uso antrópico apresentam espectros também característicos com a presença de alta variação do comportamento da VFA ao longo do ano.

A classificação dos espectros que apresentaram esta grande variabilidade do comportamento da VFA como “uso antrópico” decorreu da falta de oportunidade do

indispensável trabalho de campo nesta pesquisa, que proporcionaria a discriminação e individualização dos diversos possíveis usos feitos na região do PNCV. Alguns deles já conhecidos pelo histórico socioeconômico da região – como mineração, agricultura e urbanização – além da própria característica geomorfológica da área com a presença de afloramentos rochosos de origem quartizítica, foram citados como formas de uso das respostas espectrais caracterizadas pela alta variação ao longo do período estudado, sem, no entanto, poder afirmar com maior grau de confiabilidade. Em pesquisas posteriores, recomenda-se a pesquisa de campo para confirmação das variáveis atividades antrópicas relacionadas aos usos da terra na região de estudo com produtos MODIS.

Este trabalho demonstrou que o uso de índices de vegetação MODIS é adequado para o monitoramento temporal das fisionomias de cerrado, bem como de atividades de uso do solo diversas acompanhadas pelo trabalho de campo, desde que haja um processo metodológico de otimização da razão sinal/ruído da imagem. Apesar da suavização das características espectrais originais das classes obtidas, é possível realizar processos de classificação com resultados satisfatórios, considerando a dimensão espacial do pixel da imagem MODIS. O procedimento metodológico aqui demonstrado viabiliza pesquisas em escala regional que se proponham monitorar temporalmente as transformações na superfície terrestre.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AB` SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo, Ateliê Editorial, 2003. 151p.

ANDERSON, O.L. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado de Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. Dissertação de Mestrado, São José dos Campos, INPE, 2004. 247p.

ARRUDA, M. B. **Representatividade ecológica com base na biogeografia de biomas e ecorregiões continentais do Brasil: O caso do bioma cerrado**. 2003. 176 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília.

ASNER, G.P. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, 64:234–253, 1998.

BALL, G. & HALL, D. A clustering technique for summarizing multivariate data. **Behav. Science**. 12: 153-155, 1967.

BARKER, J.L., HARDEN, M. K., ANUTA, E. A., SMID, J. E., HOUGHT, D. **MODIS Spectral Sensivity Study: Requirements and Characterization**. Washington: Nasa, October, 1992. 84p.

BATESON C. A.; CURTISS, B. A method for manual endmember selection and spectral unmixing. **Remote Sensing of Environment**, 55: 229–243, 1996.

BATESON, C. A.; ASNER, G. P.; WESSMAN, C. A. Endmember bundles: a new approach to incorporating endmember variability into spectral mixture analysis. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 38(2): 1083-1094, 2000.

BERMAN, M.; KIIVERI, H.; RYAN, L.; ERNST, A.; DUNNE, R.; HUNTINGTON J. F. ICE: A statistical approach to identifying endmembers in hyperspectral images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 42(10): 1-11, 2004.

BLOISE, P.L.C.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.S.; CARVALHO, A.P.F. & CARVALHO JUNIOR, O.A. 2003. Análise de mistura espectral de imagens ASTER no Campo de Instrução Militar de Formosa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2003, Belo Horizonte (MG). **Anais XI SBSR**. São José dos Campos: INPE, 2311-2318, 2003.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN J.H.; OLSHEN, R.A. & STONE, C.J. **Classification and regression trees**. Belmont, CA: Wadsworth International, 358p, 1984.

BOARDMAN, J.W. Automated spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts. In: Summaries, Fouth JPL Airborne Geoscience Workshop. **JPL Publications**, 93 – 26(1) 11-14, 1993.

BOARDMAN, J.W. & KRUSE, F.A. Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, noth Grapevine Mountais, Nevada. In: Proceedings, ERIM Ten<sup>th</sup> Thematic

Conference on Geologic Remote Sensing, **Environmental Research Institute of Michigan**, Ann Arbor, MI, I: 407-418, 1994.

BOARDMAN, J.W.; KRUSE, F.A.; GREEN, R.O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In: Summaries, Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop. **JPL Publications**. 95 – 1(1) 23-26, 1995.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria-Geral. **Projeto Radambrasil. Folha SD.23**. Brasília. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, (Levantamento de Recursos Naturais, 29). 660p, 1982.

BYRNE, G. F., CRAPPER, P. F. & MAYO, K. K. Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, 10: 175-184, 1980.

CARVALHO, A.P.F. 2005. **Estudo de características foliares de espécies de lenhosas de cerrado e sua relação com os espectros de reflectância**. 2005. 126p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília.

CARVALHO, A.P.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.S.; BUSTAMANTE, M.M.C. Utilização do classificador *Spectral Correlation Mapper* em imagens TM-Landsat. **Espaço e Geografia**, Brasília, 5:(1): 219-232, 2002.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; CARVALHO, A. P. F.; MADEIRA NETTO, J. S.; MENESES, P. R. Mineralogical differentiation in weathering profiles of lateritic Ni using AVIRIS data, in Niquelandia - GO, Brazil. In: JPL Airborne Earth Science Workshop, 8, Pasadena, CA. Summaries, **JPL Publications**, 99-17, 3-11, 1999.

CARVALHO JÚNIOR, O. A., MENEZES, P. R. Spectral Correlation Mapper (SCM): an Improving Spectral Angle Mapper. In: Airborne Earth Science Workshop, 7, Pasadena, CA. Summaries, **JPL Publications**, 00-18, 65-74, 2000.

CARVALHO JÚNIOR, O.A., CARVALHO, A.P.F., MENESES, P.R. & GUIMARÃES, R.F. Classificação e eliminação dos ruídos em imagens hiperespectrais pela análise seqüencial da transformação por fração de ruído mínima. **Revista Brasileira de Geofísica**, Niterói, 20(1): 31-41, 2002.

CARVALHO JUNIOR, O.A.; CARVALHO, A.P.F.; GUIMARÃES, R.F.; MENESES, P.R.; SHIMABUKURO, Y. Mistura espectral: (I) detecção dos membros finais utilizando a geometria do Simplex. **Espaço Geografia**, Brasília, 6(1): 147-173, 2003.

CARVALHO JUNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.S.; CARVALHO, A.P.F.; GOMES, R.A.T. Análise comparativa do processo de identificação automatizada de membros finais a partir de imagens de diferentes resoluções espectrais para a região de Niquelândia (AVIRIS, ETM+ E ASTER). **Revista Brasileira de Geofísica**, Niterói, 23(1): 39-50, 2005.

CARVALHO JUNIOR, O.A.; HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, R.F. Identificação regional da floresta decidual na bacia do rio PARANÃ (GO/TO) a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, Niterói, 24: 319-332, 2006.

CARVALHO JÚNIOR, O.A.; MARTINS, E.S.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO, A.P.F. Compartimentação Geomorfológica do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros Baseada em Técnicas de Geoprocessamento. **Documentos Embrapa Cerrados**, Planaltina/DF, 34: 20p, 2001.

CORREIA, J.R.; BURLE, M.L.; CALDERANO, S.B.; SPERA, S.T.; GOMES, I.A.; SANTOS, R.D.; CAMPOS, J.E.G; SILVA JÚNIOR, M.C.; NASCIMENTO, R.O.; MINELA, G.; REATTO, A.; DUARTE, M.N. Caracterização de ambientes na Chapada dos Veadeiros/Vale do Rio Paranã: contribuição para a classificação brasileira de solos. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2001.

DARDENNE, M.A.; CAMPOS, J.E.G. Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO – Sítio de grande beleza cênica do centro-oeste brasileiro. In: Carlos Schobbenhaus; Diógenes de Almeida Campos; Emanuel Teixeira de Queiroz; Manfredo Winge; Mylene Luiza da Cunha Berbert-Born. (Org.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. 1ª Ed. Brasília: DNPM/CPRM/SIGEP, V.1, p. 323-333, 2002.

DIAS, B. F. S. Cerrados: uma caracterização. In: DIAS, B. F. S. (Org.). **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis**. Brasília: Fundação Pró-Natureza, p. 11-25, 1992.

DICKSON, B. & TAYLOR G. Noise reduction of aerial gamma-ray survey. **Exploration Geophysics**, Collingwood, Victoria, Australian, 29: 324-329, 1988.

DICKSON, B. & TAYLOR G. Maximum noise fraction method reveals detail in gamma-ray surveys. **Exploration Geophysics**, Collingwood, Victoria, Australian, 31: 73-77, 2000.

EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, New York, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

\_\_\_\_\_. Vegetação do cerrado. P. 17-73. In: Novaes Pinto, M. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília/Sematec, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da margem direita do rio Paranã, Estado de Goiás. Rio de Janeiro: Boletim de Pesquisa, 23, **Embrapa SNLCS**, 503 p. 1983.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: **Embrapa Produção de Informação**, 412p. 1999.

FARIA, A. **Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás**. 1995. 199p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

FELFILI, J.M. **Structure and dynamics of a gallery forest in central Brazil**. 1993. 180p. Tese (Doutorado em Ecologia Florestal) - University of Oxford, UO, Inglaterra.

\_\_\_\_\_. Floristic composition and phytosociology of the gallery forest alongside the Gama stream. Brasília, DF in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, 17 p.: 1-11, 1994.

\_\_\_\_\_. Diversity, structure and dynamics of a gallery forest in central Brazil. **Vegetation**. 117p.: 1-15, 1995.

FELFILI, J.M. & SILVA JUNIOR, M.C. A comparative study of cerrado (sensu stricto) vegetation in central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**. 9p.: 277-289, 1993.

FELFILI, JEANINE MARIA et al. Estudo fenológico de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville no cerrado sensu stricto da Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. **Revista brasileira de Botânica**. São Paulo, v. 22, n. 1, 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010084041999000100011&lng=pt&nr=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010084041999000100011&lng=pt&nr=iso)>. Acesso em: 14 Jun. 2007. Pré-publicação.

FELFILI, J.M., REZENDE, A.V., DA SILVA JUNIOR, M.C. (orgs.). **Biogeografia do Bioma Cerrado: vegetação e solos da Chapada dos Veadeiros**. Brasília, Editora da Universidade de Brasília. Finatec, 254p, 2007.

FERREIRA, L.G.; SILVA, A.A.; JESUS, E.T.; SANO, E.E.; SHIMABUKURO, Y.E. Monitoramento sistemático da cobertura vegetal no bioma Cerrado através dos índices de vegetação MODIS. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – 05 a 10 de abril. **Anais INPE**, Belo Horizonte, p. 2729-2736, 2003.

FERREIRA, L.G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E.E. Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the Cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. **Journal of Arid Environments**, v.56, p. 425-447, 2004.

FUNG, T. & LEDREW, E. Application of principal components analysis to change detection, Photogrammetric. **Engineering and Remote Sensing**, 53(12): 1649-1658, 1987.

FUNG, T. An assessment of TM imagery for land-cover change detection. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 28(4): 681-684, 1990.

FURLEY, P.A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology & Biogeography** 8:223-241, 1999.

GALANTE, M.L. & PAES, M.L. **Orientações básicas ao manejo do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros-GO, preliminares ao plano de manejo**. Brasília, IBAMA, 28p, 1991.

GREEN, A.A., BERMAN, M., SWITZER, P. & CRAIG, M.D. A transformation for ordering multispectral data in terms of images quality with implications for noise removal. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 26(1): 65-74, 1988.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.

INGEBRITSEN, S. E. & AND LYON, R. J. P. Principal components analysis of multitemporal image pairs. **International Journal of Remote Sensing**, 6(5): 687-696, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Corredor Ecológico do Cerrado Paraná-Pirineus visto pelo Sistema de Informação Geográfica**. Brasília: Julho, 2005. Projeto de Conservação de Ecossistemas do Cerrado, DIREC/CGECO. 1 CD-ROM, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 1995. **Manual técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, (Manuais técnicos de Geociências, 5). 111p. 1995.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 1995**: Goiás. Rio de Janeiro, 1997.

JUSTICE, C.O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R.; ROY, P.D.; HALL, D.K.SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRHALER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, W.S.; NEMANI, R.R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W.V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO L.; MULLER, J.P.; LEWIS, P.; BARNSLEY, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1247, July, 1998.

JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE E.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.; SALEOUS, N.; ROY, D., & MORISETTE, J. An overview of MODIS land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, 83, 3-15 (this issue), 2002.

KING, M.; KAUFMAN, Y.; MENZEL, W. AND TANRÉ, D. Remote sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS). **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.30, n.1, Jan., 1992.

KRUSE, F. A. **Mapping hot spring deposits with AVIRIS at Steamboat Springs, Nevada**. In: Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, 8, Pasadena, CA. Summaries, JPL Publication 99-17, p. 239-245, 1999.

KRUSE, F. A.; LEFKOFF, A.B.; BOARDMAN, J. W.; HEIEDBRECHT, K.B.; SHAPHIRO, A. T.; BARLOON, P.J. & GOETZ, A.F.H. The Spectral Image Processing System (SIPS) – Software for Integrated Analysis of AVIRIS Data. Summaries of the 4th Annual JPL Airborne Geoscience Workshop. **JPL Publications-92-14**, p.23-25, 1992.

KRUSE, F.A.; LEFKOFF, B. & DIETZ, J.B. Expert System Based Mineral Mapping in Northern Death Valley, California/Nevada, Using the airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). **Remote Sensing Environment**, v. 44, N°2, p. 309-336, 1993.

KRUSE, F. A. & BOARDMAN, J. W. Fifteen years of hyperspectral data: Northern Grapevine Mountains, Nevada. In: Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, 5, Pasadena CA, Summaries. **JPL Publications**, 99-17, p. 247-258, 1999.

LAMBIM, E.F. Modeling and monitoring land-cover changes processes in tropical regions. **Progress in Physical Geography**, v.2, n. 3, p. 375-393, 1997.

LATORRE, M. L., ANDERSON, L.O., SHIMABUKURO, E.Y., CARVALHO JUNIOR, O.A.. Sensor MODIS: características gerais e aplicações. In: **Revista Espaço & Geografia**, Vol.6, nº 1 – Janeiro-Junho, 2003, p.97-126.

LATORRE, M. L. **O desenvolvimento de uma metodologia para a integração de dados de satélites de resolução fina e ampla no monitoramento da mudança da cobertura terrestre na Amazônia**. 2005. 181f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, São Paulo.

LATORRE, M.L.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; SHIMABUKURO, Y.E. & SANTOS J.R. 2007. Integração de dados de sensoriamento remoto multi-resoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação e classificação por árvores de decisão. **Revista Brasileira de Geofísica** (no prelo).

LEE, J.B., WOODYATT, S. & BERMAN, M. Enhancement of high spectral resolution remote sensing data by a noise – Adjusted Principal Components Transform. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 28(3): 295-304, 1990.

LEEWEN, VAN.; W.J.D.; HUETE, A.R.; LAING, T.W. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data. **Remote Sensing of Environment**, v.69, p. 264-280, 1999.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S. M.; Almeida, S.P. ed. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa CPAC, p. 289-556, 1998.

MENESES, P.R. (org.). **Reflectância dos alvos naturais**. Brasília, Editora da Universidade de Brasília, 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, SBF. **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404p.

MONTEIRO, J.M.G. **Fluxo de CO<sub>2</sub> em um Cerrado sensu stricto**. 1995. 61f. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília, Brasília.

MORA, F., & IVERSON, L. R. Dynamic stratification of the landscape of Mexico: analysis of vegetation patterns observed with multitemporal remotely sensed images. **Geocarto International**, 12: 73– 87, 1997.

MORAES, L.F.D. Ecossistemas das terras secas das Américas: questões e perspectivas. **41<sup>a</sup> Reunião anual da sociedade brasileira para o progresso da ciência**, Fortaleza. Resumo, no Suplemento de Ciência e Cultura, 1989.

OTTMAR, R.D., et al. **Stereo Photo Series for Quantifying Cerrado Fuels in Central Brazil**. Volume I: United States Department of Agriculture (USDA), 87p, 2001.

PASTOR, C.Q.; MANSO, A.F.; SHIMABUKURO, Y.E. **Utilización de imágenes MODIS para la cartografía de áreas incendiadas en España**. In: ANAIS XII SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, Brasil. INPE, p.665-667. 16-21 abril, 2005.

PRINCE, J.C. Estimating vegetation amount from visible and near infrared reflectances. **Remote Sensing of Environment**, 41: 29-34, 1992.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: Meneses, P.R., Netto, J.S.M. **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília/DF: Editora Universidade de Brasília/UnB, Embrapa Cerrados, p. 157-199, 2001.

RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: S.M.Sano & S.P. Almeida (eds). **Cerrado Ambiente e Flora**. Planaltina, Embrapa, CPAC, p.89-166, 1998.

RICHARDSON, L. L. Remote sensing of algal bloom dynamics. **BioScience**, 46(7): 492-501, 1996.

RICHARDSON, L. L.; BUISON, D.; LUI, C. J. & AMBROSIA, V. The detection of algal photosynthetic accessory pigments using Airborne Visible-Infrared imaging Spectrometer (AVIRIS) Spectral Data: Marine. **Technology Society Journal**, 28: 10-21, 1994.

ROSA, R.; ROSENDO, J.S. Exemplo de aplicação do Produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS/Terra. In: **Anais XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 16-21, abril 2005. Goiânia, Brasil. INPE, p. 3285-3292.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. & DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, Greenbelt: NASA SP-351, 301–317, 1974.

RUDORFF, C.DE M.; RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T.; SUGAWARA, L.M.; VIEIRA, C.A.O. Superfícies de resposta espectro-temporal de imagens do sensor MODIS para classificação de área de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.1, p.118-125, jan-fev, 2007.

RUNNING, S.W.; JUSTICE, C.; SALOMONSON, V.; HALL, D.; BARKER, J.; KAUFMAN, Y.; STRAHLER, A.; HUETE, A.; MULLER, J.P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z.M.; TEILLET, P.; CARNEGGIE, D. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 17, p. 3587-3620, 1994.

SADER, S. A., STONE, T. A., & JOYCE, A. T. Remote sensing of tropical forests: an overview of research and applications using nonphotographic sensors. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 56: 1343–1351, 1990.

SAMPAIO, C.E.M. **Análise de Grupo Via Programação Matemática**. Dissertação (Mestrado). 1990. 95f. Departamento de Estatística, Instituto de Ciências Exatas, Universidade de Brasília, Brasília.

SALOMONSON, V.V.; BARKER, J.L. EOS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: phase C/D status and comments on calibration and georeferencing approaches. In: ANNUAL AAS GUIDANCE AND CONTROL CONFERENCE, 15. Keystone, CO, Feb. 8-12, 1992. **Proceedings**, Keystone: AAS, 1992. Paper AAS 92-004. 1992.

SALOMONSON, V.V.; TOLL, D.L. Execution phase (C/D) spectral band characteristics of the EOS Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS-N) facility instrument. **Advances in Space Research**, v.2, n.3, p.231-236, 1990.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. O.; BEZERRA, H. S. **Assessing** the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, v. 22, n. 3, p. 2-15, 2001.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina, DF. Embrapa CPAC, xii + 556p, 1998.

SILVA, E. de J. B. **Utilização dos índices de vegetação do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no Cerrado: investigação de parâmetros e estratégias**. 2003. 146p Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília.

SILVA, A.A. Uso de Sensoriamento Remoto para monitoramento ambiental dos Cerrados. In: **Anais XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA – Setembro/2005**. Universidade de São Paulo, 2005.

SMITH, M.O; JOHNSON, P.E. & ADAMS, J.B. Quantitative determination of mineral types and abundances from reflectance spectra using principal components analysis. Proc. 15<sup>th</sup> Lunar Planet. Sci. Conf.Part2. **J Geophys.Res.**, 90, Suppl., pp. C797-C804.1985.

STONE, T. A., SCHLESINGER, P., HOUGHTON, R. A., & WOODWELL, G. M. A map of the vegetation of South America based on satellite imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 60: 541– 551, 1994.

STRAHLER, A.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; LAMBIM, E.; MOODY, A. MODIS land cover and land-cover change products algorithm theoretical basis document (ATBD). Version 5.0, **Center for Remote Sensing, Department of Geography**, Boston: University, May, 72p, 1999.

TELLES, J.; SAMII, M.V.; DOLL, C.E. Overview of TDRSS. **Advances in Space Research**, v.16, p. 1267-1276, 1995.

TOMPKINS, S.; MUSTARD, J. F.; PIETERS, C. M. & FORSYTH, D. W. Optimization of endmembers mixture analysis for spectral. **Remote Sensing of Environment**, 59: 472-489, 1997.

VENABLES, W.W.; RIPLEY, B.D. **Modern applied statistics with S-PLUS**. Springer-Verlag, New York, 1994.

VERMOTE, E.; EL SALEOUS, N.; & JUSTICE, C. Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: First results. **Remote Sensing of Environment**, 83(1-2): 97-111, 2002.

WINTER, M. Fast autonomous spectral endmember determination in hyperspectral data. In: **Anais International CONFERENCE APPLIED GEOLOGIC REMOTE SENSING**, 13, Vancouver, BC, Canada, v. 2, p. 337-344, 1999.

WOLFE, R.E.; NISHIHAMA, M.; FLEIG, A.J.; KUYPER, J.A.; ROY D.P.; STOREY J.C.; PATT, F.S. Achieving Sub-Pixel Geolocation Accuracy in Support of Modis Land Science. **Remote Sensing of Enviroment**, v.83, n.1-2, p. 31-49, Nov., 2002.