



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

LEANDRO GUIMARÃES MARANHA

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPECTRO-TEMPORAL DE DIFERENTES
VEGETAÇÕES NO EXTREMO NORTE DO TOCANTINS**

**ARAGUATINS
2016**

LEANDRO GUIMARÃES MARANHA

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPECTRO-TEMPORAL DE DIFERENTES
VEGETAÇÕES NO EXTREMO NORTE DO TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Agronomia do Instituto Federal do
Tocantins - *Campus* Araguatins, como
exigência à obtenção do grau de Bacharel
em Agronomia.

Orientador: Prof. Msc. Lineardo Ferreira
de Sampaio Melo

Coorientadora: Dr.^a Ieda Del' Arco
Sanches

**ARAGUATINS
2016**

Maranha, Leandro Guimarães

Análise do comportamento espectro-temporal de diferentes vegetações no extremo norte do Tocantins / Leandro Guimarães Maranhão. - Araguatins, 2016.
58 f.

Monografia (Bacharel em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - *Campus* Araguatins, 2016.

Orientador: Prof. Msc. Lineardo Ferreira de Sampaio Melo

Coorientadora: Dr.^a Ieda Del' Arco Sanches

1. Reflectância. 2. Índice de Vegetação. 3. Sensoriamento Remoto. I.Título



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA
FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "Análise do comportamento espectral-temporal de diferentes vegetações no extremo norte de Tocantins"

AUTOR: Leandro Guimarães Maranha

ORIENTADOR: Prof. Msc. Lineardo Ferreira de S. Melo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Agronomia.

Aprovado em 31 de maio de 2016.

Prof. Msc. Lineardo Ferreira de S. Melo
Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Campus Araguatins

Prof. Msc. Thiago de Loiola de Araújo e Silva
Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Campus Araguatins

Prof. Dr. Alcione Talaska
Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Campus Araguatins

Prof. Dr. Raimundo Laerton de Lima Leite
Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Campus Araguatins

Aos meus pais Izídio de Araújo
Maranha e Leóides Guimarães
Maranha.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, fonte primordial da vida e de todo conhecimento.

Aos meus pais, por todo incentivo e apoio dado em todos os momentos.

Ao meu orientador, Prof. Msc. Lineardo Ferreira de Sampaio Melo, pela orientação neste trabalho, que foi um desafio e tanto.

À minha coorientadora, pesquisadora do INPE Dr.^a Ieda Del' Arco Sanches, que com valiosas contribuições o trabalho tornou-se menos árduo.

Ao INMET pela disponibilização dos dados de precipitação.

Aos professores do curso de Bacharelado em Agronomia do IFTO *campus* Araguatins pelo empenho em transmitir seus conhecimentos, em especial a Prof.^a Dr.^a Roberta de Freitas Souza.

À Kamilla Silva Oliveira, que desde o início do curso esteve sempre ao meu lado, compartilhando de todos os momentos da minha vida, sendo amiga, companheira e, sobretudo, a mulher que amo.

Aos amigos e colegas de curso que compartilharam de inúmeros momentos difíceis e alegres durante esses anos.

Ao IFTO *campus* Araguatins, que me proporcionou a oportunidade de ingressar na vida acadêmica, trazendo a esperança de um futuro melhor.

Tudo posso naquele que me fortalece.

Filipenses 4,13.

RESUMO

A vegetação apresenta uma complexa variação associada a diversos fatores ambientais que interferem na sua distribuição espaço-temporal no globo. No Brasil, seis biomas e suas áreas de transições ditam as fitofisionomias vegetais encontradas em todas as regiões; sendo que na microrregião do Bico do Papagaio ocorre zona de transição dos biomas Amazônico e Cerrado. A dinâmica de desenvolvimento das plantas promove variação no comportamento espectral ao longo do tempo, tornando-se passível de monitoramento por sensoriamento remoto. Visou-se neste trabalho a análise multitemporal do comportamento espectral de áreas de Cerrado, Floresta de Eucalipto, Floresta Nativa e Pastagens. A classe Pastagem apresentou-se como a mais variável entre as classes analisadas, mostrando forte relação entre os valores de reflectância e índices de vegetação com a precipitação pluviométrica. A classe Floresta Nativa apresentou comportamento com tendência estável, sendo que os índices de vegetação apresentaram variação mais forte em função dos períodos com maior e menor precipitação. A classe Cerrado apresentou os índices de vegetação mais estáveis ao longo do tempo, podendo estar associado à baixa taxa de crescimento destas fitofisionomias. A classe de Floresta de Eucalipto até 36 meses de idade apresentaram comportamento espectral semelhantes nas bandas 1 a 7 do sensor OLI do Landsat-8, podendo ser explicado pela baixa cobertura do solo até essa idade. Nas áreas com Floresta de Eucalipto acima de 61 meses de idade o comportamento também foi comparável entre si, pois o dossel vegetal nessas áreas permaneceram sempre densos proporcionando altos valores nos índices de vegetação. A metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho foi considerada satisfatória, pois possibilitou alcançar os objetivos e a elaboração dos perfis espectro-temporais das classes analisadas. Com os resultados foi possível visualizar em qual época do ano os diferentes tipos de vegetações possuem maior ou menor similaridade espectral. Para a região estudada, o período compreendido entre julho e outubro apresentou-se como o período com maior possibilidade de diferenciação entre as classes de vegetação analisadas por meio de sensoriamento remoto.

Palavras-chave: Reflectância. Índice de Vegetação. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The vegetation presents complex variation associated with various environmental factors affecting the spatiotemporal distribution on the globe. In Brazil six biomes and their transitions dictate plant vegetation types found in all regions, and in the Micro-region of Bico do Papagaio in the north of Tocantins State is a transition zone of the Rainforest and Savanna. The plant development dynamics promotes variation in spectral behavior over time, making it subject to monitoring by remote sensing. This work aimed to do a multi-temporal analysis of the spectral behavior of Savanna areas, Eucalyptus Forest, Native Forests and Pastures. The class Grasslands was the most variable among the analyzed classes, showing a strong relationship between the values of reflectance and vegetation indices with rainfall. The native forest class recorded behavior with stable trend, and vegetation indices showed strong variation depending on the periods with higher and lower rainfall. The Savanna class presented the more stable vegetation indices over time and may be associated with low growth rate of these vegetation types. The class of Eucalyptus Forests up to 36 months old showed spectral behavior similar in OLI/Landsat-8 bands 1 to 7, that can be explained by the low ground cover to this age. In areas with over 61 months old forests behavior was also comparable with each other because the plant canopy in these areas always remained dense providing high values in vegetation indices. The methodology used in the development of this work was satisfactory, since was possible to achieve the objectives enabling the development of spectrum-time profiles of the analyzed classes. From the results it was possible to see at what time of year the different kinds of vegetations have higher or lower spectral similarity. For the study area, the period between July and October was presented as the period most likely to differentiate between vegetation classes analyzed by means of remote sensing.

Key-words: Reflectance. Vegetation Indices. Remote Sensing.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Assinaturas espectrais de vários tipos de objetos na superfície terrestre.	17
Figura 2. Curvas de reflectância da água nos estados líquido, gasoso e sólido.	18
Figura 3. Curvas de absorção da energia luminosa pelos pigmentos do cloroplasto.	20
Figura 4. Curva de fator de reflectância direcional-hemisférica típica de uma folha verde.	21
Figura 5. Reflectâncias espectrais de três tipos de solo da região de Indiana nos Estados Unidos.	25
Figura 6. Mapa de localização dos pontos amostrais de cada classe analisada.....	34
Figura 7. Ponto amostral da classe Cerrado.	35
Figura 8. Ponto amostral da classe Floresta de Eucalipto de 13 a 24 meses de idade.	35
Figura 9. Ponto amostral da classe Floresta de Eucalipto de 73 a 84 meses de idade.	36
Figura 10. Ponto amostral da classe Floresta Nativa.	36
Figura 11. Ponto amostral da classe Pastagem.	37
Figura 12. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Pastagem.	39
Figura 13. Perfil espectro-temporal dos índices de vegetação NDVI e EVI da classe Pastagem.	40
Figura 14. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta Nativa.....	41
Figura 15. Regiões Fitoecológicas do Bico do Papagaio - TO.	41
Figura 16. Índices de Vegetação da classe Floresta Nativa.	42
Figura 17. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 na classe Cerrado.....	43
Figura 18. Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe cerrado.	44
Figura 19. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de até 12 meses de idade.	44
Figura 20. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto até 12 meses de idade.....	45
Figura 21. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 13 a 24 meses de idade.	45
Figura 22. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto de 13 a 24 meses de idade.....	46

Figura 23. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 25 a 36 meses de idade.	46
Figura 24. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto de 25 a 36 meses de idade.....	47
Figura 25. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 61 a 72 meses de idade.	48
Figura 26. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto de 61 a 72 meses de idade.....	48
Figura 27. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 73 a 84 meses de idade.	49
Figura 28. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto de 73 a 84 meses de idade.....	49
Figura 29. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 85 a 96 meses de idade.	50
Figura 30. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe eucalipto de 85 a 96 meses de idade.	50
Figura 31. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de mais de 96 meses de idade.....	50
Figura 32. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe eucalipto de mais de 96 meses de idade.	51
Figura 33. Valores de EVI para todas as classes de vegetação avaliadas.	51
Figura 34. Valores de NDVI para todas as classes de vegetação avaliadas.	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Datas de aquisição e órbita-ponto das cenas OLI/LANDSAT-8 utilizadas.	32
Tabela 2. Nome, intervalo de comprimento de onda e resolução espacial das bandas do sensor OLI/LANDSAT-8.....	32
Tabela 3. Nome e localização geográfica dos pontos amostrais.....	37

LISTA DE SIGLAS

ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
DAF	Distribuição Angular de Folhas
EVI	Enhanced Vegetation Index - Índice de Vegetação Melhorado
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
FLONA	Floresta Nacional do Tapajós
fPAR	Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation - Fração de Radiação Fotossinteticamente Absorvida
IAF	Índice de Área Foliar
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
IV	Índice de Vegetação
IVP	Infravermelho Próximo
LANDSAT-8	Land Remote Sensing Satellite - 8
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
OLI	Operational Land Imager
PNB	Parque Nacional de Brasília
QGIS	Quantum GIS
SEPLAN	Secretaria do Planejamento e Orçamento
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SR	Simple Ratio - Razão Simples
TM	Thematic Mapper
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversal Mercator
VER	Vermelho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1	O sensoriamento remoto	15
3.2	Interação da radiação solar com a superfície terrestre.....	16
3.2.1	Interação com a água.....	18
3.2.2	Interação com a vegetação	19
3.2.3	Interação com o solo	23
3.3	Índices de Vegetação	25
3.3.1	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).....	26
3.3.2	Índice de Vegetação Melhorado (EVI)	27
3.4	Aplicações em florestas implantadas.....	27
3.5	Aplicações em florestas nativas	29
3.6	Aplicações em pastagens.....	31
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1	Material	32
4.2	Métodos.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A vegetação apresenta uma complexa variação que está associada a diversos fatores que regem sua ocorrência espaço-temporal na superfície terrestre. O tipo de vegetação existente em determinada região é resultado de uma estreita relação dos fatores ambientais, como solo, temperatura, luminosidade e precipitação.

No Brasil existe a presença de seis biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata atlântica, Pampa e Pantanal) que expressam as características edafoclimáticas predominantes em cada região de ocorrência.

No estado do Tocantins existem seis regiões fitoecológicas diferentes, sendo elas: Região do Cerrado (65,23%), Região da Floresta Estacional (13,09%), Região da Floresta Ombrófila (5,30%), Ecótono Floresta Estacional / Floresta Ombrófila (7,07%), Enclave Cerrado / Floresta Ombrófila (0,22%) e Enclave Cerrado / Floresta Estacional (7,73%) (SEPLAN, 2012). Na Microrregião do Bico do Papagaio, localizado no extremo norte do Tocantins, é perceptível a zona de transição entre os biomas Amazônico e Cerrado, desta forma, a presença de todas as seis regiões fitoecológicas supracitadas são verificadas, condição que não ocorre nas demais regiões do estado.

Dentro de uma mesma fitofisionomia, a vegetação apresenta variações (de tamanho, densidade, biomassa verde, etc.) ao longo do tempo, que está relacionada com as estações climáticas e com o estágio de desenvolvimento. Com o advento das geotecnologias, em especial do sensoriamento remoto e do desenvolvimento de metodologias de análise do comportamento espectral da vegetação, estas variações são passíveis de serem identificadas remotamente e avaliadas em função do tempo.

Tendo em vista a dinâmica de desenvolvimento da vegetação, visou-se neste estudo a análise do comportamento espectro-temporal de diferentes alvos naturais, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, numa análise multitemporal para os anos de 2013, 2014 e 2015. A análise foi realizada a partir de imagens OLI/Landsat-8, órbitas/pontos 222/064 e 223/064 com resolução espacial de 30 m. As imagens utilizadas foram obtidas em diferentes épocas do ano, de acordo com a disponibilidade de imagens com baixa incidência de nuvens sobre as áreas de estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento espectro-temporal de quatro diferentes fitofisionomias na região do extremo norte do Tocantins: Floresta de Eucalipto, Floresta Nativa, Cerrado e Pastagem.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Fazer uma análise multitemporal baseada em imagens Landsat-8/OLI para levantar o perfil espectro-temporal de quatro classes de uso: Floresta de Eucalipto, Floresta Nativa, Cerrado e Pastagens;
- ✓ Analisar a variação espectral entre as quatro classes de vegetação, para verificar quão distintos são os perfis espectrais dessas classes;
- ✓ Verificar se as variações do comportamento espectral dos alvos selecionados estão relacionadas com dados climatológicos, como da precipitação pluviométrica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O sensoriamento remoto

Em princípio, o sensoriamento remoto é definido como sendo a tecnologia que permite aquisição de informações sobre objetos sem manter contato físico com eles. De acordo com Novo (1989), sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, entre outros, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as diversas coberturas que compõem a superfície terrestre.

Os sensores de satélite captam as energias eletromagnéticas da superfície do planeta sem contato com ela. A informação é adquirida pela detecção e medição das mudanças que o objeto impõe ao campo na sua redondeza. Esse sinal pode incluir tanto um campo eletromagnético emitido e/ou refletido, ondas acústicas refletidas e/ou perturbadas pelo objeto ou as perturbações do campo de gravidade ou potencial magnético com a presença do objeto. Geralmente a aquisição de informações é baseada na captação dos sinais eletromagnéticos que cobrem o espectro inteiro das ondas eletromagnéticas desde a onda longa de rádio, passando pelas microondas, submilímetro, infravermelho longo e próximo, visível, ultravioleta, raios x até raios gama (MOREIRA, 2011).

Hoje em dia, assumindo uma série de funções anteriormente atendidas pela aerofotogrametria, o sensoriamento remoto multiespectral apresenta uma série de vantagens, a saber: baixo custo por área específica; aspectos diacrônicos (alta frequência de repetitividade da tomada de imagens) e sincrônicos da captação das imagens; aspecto multiespectral das imagens; caráter digital dos dados adquiridos; e facilidade de integração com bases de dados geocodificados, cartográficos ou numéricos, por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) (AZEVEDO e MANGABEIRA, 2001).

As atuais aplicações do sensoriamento remoto via satélite abrangem monitoramento dinâmico de usos de solo e evoluções de biodiversidade, recursos naturais, precipitação, clima, manejo dos recursos hídricos da superfície, inventário e monitoramento das pastagens e das coberturas vegetais, monitoramento de eventos

catastróficos como geadas, enchentes, secas, doenças e pragas das culturas, entre outros (LIU, 2006).

Percebe-se que o sensoriamento remoto é aplicado em diferentes áreas do conhecimento, sendo que nas ciências agrárias e da terra apresenta um grande potencial inclusive na prevenção, controle, manejo e gerenciamento de atividades no intuito da diminuição e agilidade do trabalho, proporcionando ainda uma boa relação de custo e benefício para o usuário.

3.2 Interação da radiação solar com a superfície terrestre

De acordo com Moreira (2011), o sensoriamento remoto possui íntima ligação com medição de alguma forma de energia eletromagnética, em grande parte, emitida pelo sol. A energia incidente na superfície terrestre interage com todos os objetos (alvos), inclusive com a camada superficial da Terra, denominada genericamente de solo. Dessa interação, a energia pode ser fracionada em até três partes: *absorvida*, *refletida* e *transmitida*. O fracionamento é dependente das propriedades físico-químicas e biológicas de cada objeto. A interação pode ser expressa pela equação de conservação de energia, como mostra a equação 1:

$$\phi_i = \Sigma \phi_a + \phi_r + \phi_t \quad (W/m^2) \quad (1)$$

Em que: ϕ_i é a energia incidente, que chega ao alvo; ϕ_a , a fração da energia absorvida; ϕ_r , a fração da energia refletida; ϕ_t , a fração da energia que foi transmitida; e (W/m^2) , a unidade de medida de energia no sistema internacional (SI) (MOREIRA, 2011).

De forma prática, é feita uma normalização da equação de conservação de energia em função da radiação incidente ϕ_i , de tal forma que a soma das três variáveis assumam valores entre 0 e 1, e seja adimensional:

$$\frac{\phi_i}{\phi_i} = \frac{\phi_r}{\phi_i} + \frac{\phi_a}{\phi_i} + \frac{\phi_t}{\phi_i} \Rightarrow 1 = \rho + \alpha + \tau \quad (2)$$

Onde, ρ é a reflectância; α é a absortância; e τ a transmitância. Cada uma das variáveis pode assumir valores entre 0 e 1. Como os valores são o quociente

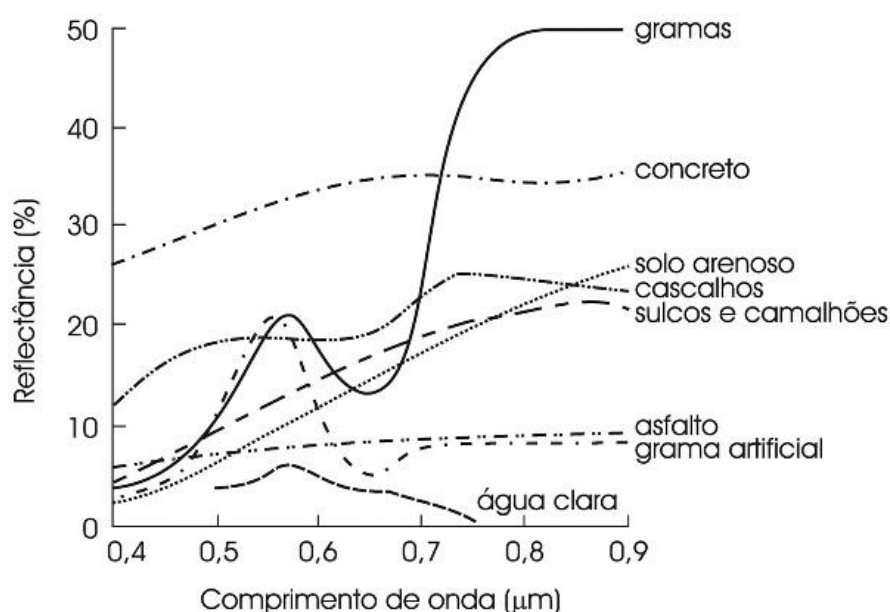
entre duas grandezas da mesma espécie, basta ser multiplicado por 100 para ser expresso em porcentagem (%) (MOREIRA, 2011).

A fração da radiação eletromagnética refletida pelos alvos da superfície terrestre é muito importante para o sensoriamento remoto, pois um grande número de aplicações de imagens e dados de satélite é feito por meio da coleta, processamento e análise da radiação refletida pelos alvos. De forma prática, os três alvos mais importantes no contexto de interação com a radiação eletromagnética são: *solo*, *vegetação* e *água* (MOREIRA, 2011).

Todo objeto com temperatura acima de 0°K (-273°C) apresenta uma energia singular no espectro eletromagnético e pode ser detectado por sensores desenvolvidos para captar essa energia emitida ou refletida pelos objetos. Essa energia pode estar na faixa da radiação solar, sendo refletida ou emitida pelo alvo e então registrada por sensores óticos, ou essa energia pode estar na faixa do microondas, onde se apresentam como energias polarizadas e são registradas por sensores de radar (LIU, 2006).

A curva de energia no espectro eletromagnético particular a cada objeto é conhecido como assinatura espectral. Essa característica pode ser utilizada para identificar e separar objetos utilizando um conjunto de valores de energia (valores físicos) que são registrados em certas bandas dos sensores a bordo dos satélites orbitais (LIU, 2006).

Figura 1. Assinaturas espectrais de vários tipos de objetos na superfície terrestre.

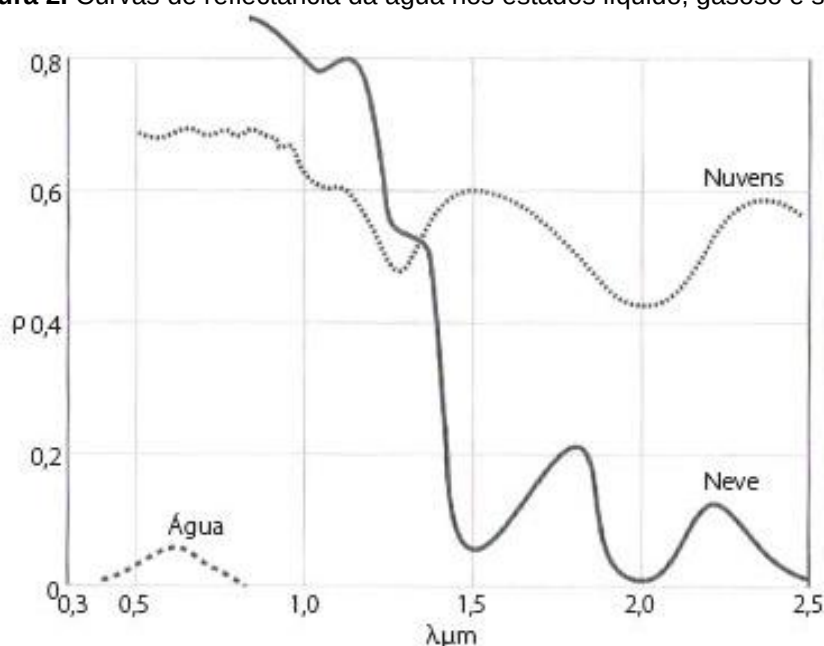


Fonte: Jensen, 1979 *apud* Liu, 2006.

3.2.1 Interação com a água

Por meio de imagens de sensores remotos é possível observar a água existente na natureza em seus três estados físicos, os quais possuem comportamento espectral distinto um do outro. Na Figura 2 é possível observar as assinaturas espectrais da água na forma de nuvens (gasoso), neve (sólido) e líquida (MOREIRA, 2011).

Figura 2. Curvas de reflectância da água nos estados líquido, gasoso e sólido.



Fonte: Moreira, 2011.

De forma geral, a água líquida apresenta uma baixa reflectância (<10%) na faixa espectral entre 0,38 e 0,7 μm e máxima absorção acima de 0,7 μm. As nuvens apresentam alta reflectância (≈70%) em todo o espectro óptico (0,4 a 2,5 μm) e apresentam picos de absorção nos comprimentos de 1,0, 1,3 e 2,0 μm. A neve apresenta assinatura espectral com maiores valores de reflectância que as nuvens na faixa entre 0,4 e 1,2 μm, tendo decaimento acentuado no intervalo entre 0,8 e 1,5 μm, indicando grande absorção de radiação nessa faixa. Esses valores de reflectância voltam a crescer até atingir valores máximos de reflectância em torno de 20% nas faixas aproximadas de 1,75 e 2,25 μm, sendo que próximo a 2,0 μm a reflectância é praticamente nula (STEFFAN et al., 1996).

A assinatura espectral de um corpo d'água resulta dos processos de absorção e espalhamento da radiação solar no seu interior. Desta forma, a radiância registrada por um sensor é capaz de fornecer informações sobre as características físico-químicas e biológicas (STEFFAN et al., 1996). Este mesmo autor afirma que

as propriedades físico-químicas das moléculas de água promovem o aumento da absorção da radiação à medida que se afasta da faixa do azul, sendo então o estudo do comportamento espectral da água limitado aos limites do espectro visível.

O fitoplâncton, a matéria orgânica e a matéria inorgânica particulada presente nos ecossistemas aquáticos possuem relação bastante estreita com a água, pois sua distribuição é totalmente dependente da movimentação e densidade das massas hídricas (MANTOVANI, 1993). Esses elementos são responsáveis pela absorção e espalhamento da radiação e determinam as propriedades ópticas da água (STEFFAN et al., 1996).

Segundo Cabral et al. (1990), o fitoplâncton é responsável pela produção da matéria orgânica presente na água por meios fotossintéticos. Essa matéria orgânica dissolvida é o fator determinante na coloração amarelo-marrom da água.

3.2.2 Interação com a vegetação

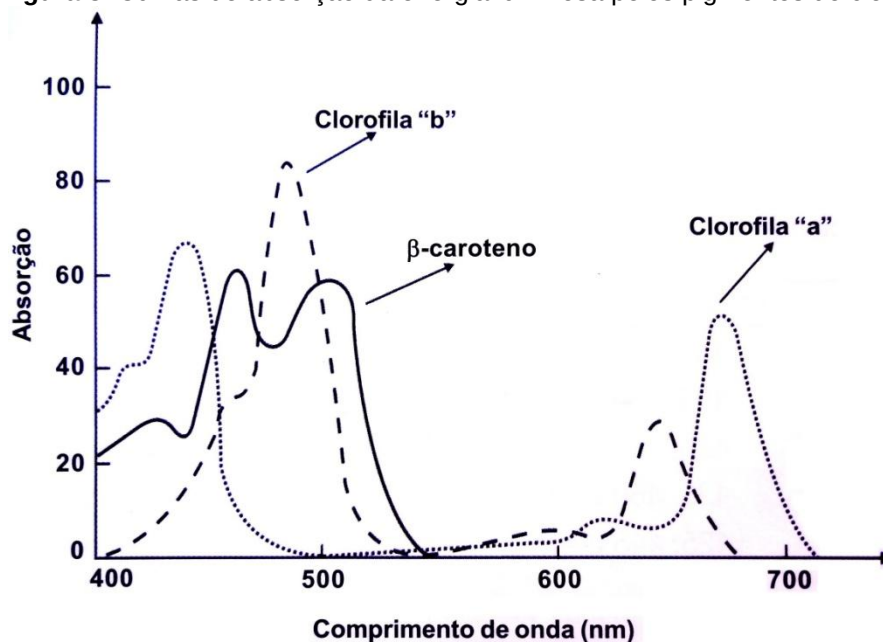
Para se entender a interação da radiação eletromagnética com a vegetação, seja uma floresta, uma pastagem ou uma cultura agrícola, primeiramente é necessário entender o indivíduo que constitui a comunidade vegetal, ou seja, a planta, pois é nela que ocorrem todas as atividades físico-químicas e biológicas, além de ser a menor unidade da vegetação a interagir com a radiação solar (MOREIRA, 2011).

Dentre todos os órgãos da planta, as folhas são os elementos que mais influenciam a radiação detectada pelos sensores óticos, sendo que as propriedades espectrais de uma única folha são função de sua composição química, morfologia e estrutura interna (STEFFAN et al., 1996). Nos vegetais, as folhas desempenham funções muito importantes para os processos vitais, tais como fotossíntese, respiração e transpiração (MOREIRA, 2011). Entre todos os órgãos da planta, as folhas são os que têm como função principal viabilizar a interação com a radiação eletromagnética, especificamente na região do visível (0,4 a 0,72 μm) (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

De acordo com Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), na região do visível (0,4 μm - 0,72 μm), os pigmentos (clorofila, carotenos e xantofilas) presentes nas folhas dominam a reflectância, definindo a forma da curva. Estes mesmos autores afirmam que os pigmentos predominantes absorvem radiação na região do

azul (próximo a $0,445\ \mu\text{m}$), mas somente a clorofila absorve na região do vermelho ($0,645\ \mu\text{m}$), conforme pode ser observado na Figura 3.

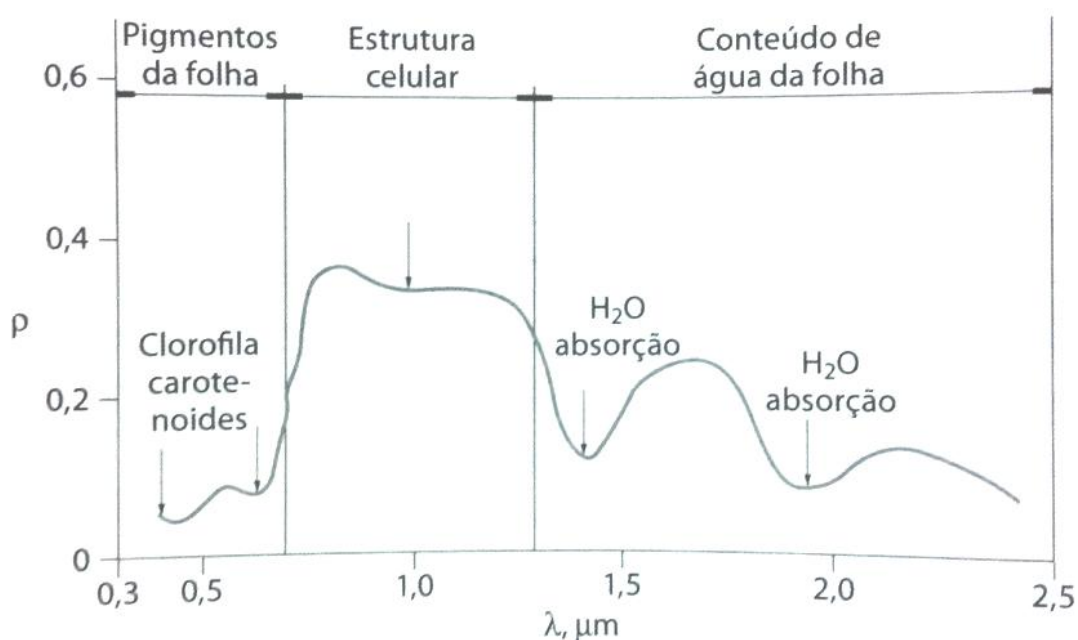
Figura 3. Curvas de absorção da energia luminosa pelos pigmentos do cloroplasto.



Fonte: Moreira, 2011.

Na região do visível ($0,4\ \mu\text{m} - 0,72\ \mu\text{m}$), a reflectância é dominada pelos pigmentos foliares, que absorvem bastante radiação na região do azul ($0,445\ \mu\text{m}$) e do vermelho ($0,645\ \mu\text{m}$). A maioria das plantas são moderadamente transparentes na região do verde ($0,540\ \mu\text{m}$). Na região do infravermelho próximo - IVP ($0,72\ \mu\text{m} - 1,1\ \mu\text{m}$), ocorre pequena absorção de radiação e considerável espalhamento interno da radiação na folha. A absorção da água é geralmente baixa, e a reflectância é praticamente constante. Gates et al. (1965) concluíram que a reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo, sendo que a relação água-ar no mesófilo pode alterar quantitativamente a reflectância da folha nessa região. Na região do infravermelho médio - IVM ($1,1\ \mu\text{m} - 2,5\ \mu\text{m}$), a reflectância das folhas é dependente da quantidade de umidade, pois nessa região a absorção da radiação é decorrente da água líquida. A água absorve consideravelmente a radiação incidente em $1,1\ \mu\text{m}$; $1,45\ \mu\text{m}$; $1,95\ \mu\text{m}$ e $2,7\ \mu\text{m}$, conforme pode ser observado na Figura 4 (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

Figura 4. Curva de fator de reflectância direcional-hemisférica típica de uma folha verde.



Fonte: Novo, 1989.

Segundo Gates et al. (1965), três são os principais mecanismos que influenciam a reflectância pelas folhas de um dossel: quantidade de pigmentos, espaços ocupados por água e ar, e estruturas celulares com dimensões compatíveis com as ondas da radiação incidente.

Gausman (1985), comenta que além dos três mecanismos citados por Gates et al. (1965), existem ainda outros fatores que interferem na energia refletida pelas folhas, como conteúdo de água, maturação ou idade da folha, posição nodal, condição de iluminação, pubescência e senescência.

Para Bernardes (1987), os fatores que diretamente influenciam a absorção da radiação solar podem ser classificados em dois grupos: fatores morfológicos e fatores fisiológicos. Moreira (2011) afirma que dentre os fatores morfológicos que interferem na absorção da radiação solar, o Índice de Área Foliar (IAF) têm sido o melhor e mais utilizado parâmetro para se estimar a cobertura vegetal.

A idade da planta, conteúdo de água na folha e o teor de nutrientes constituem os principais fatores fisiológicos que influenciam no comportamento espectral da planta. Moreira (2011) descreve que a capacidade fotossintética das folhas aumenta desde a emergência da plântula até a maturidade fisiológica, a partir da qual se inicia forte declínio até a completa maturação (senescência). Em relação ao conteúdo de água, afirma que a planta quando submetida a um déficit hídrico, várias reações internas ocorrem para evitar a perda d'água, como o fechamento dos

estômatos, porém, ocorre também a menor absorção de CO_2 e consequente redução da taxa fotossintética. Quanto ao teor de nutrientes na planta, Bernardes (1987), diz que o principal fator que induz o envelhecimento precoce da folha é o déficit nutricional, pois nutrientes contidos nas folhas mais velhas deslocam-se para as folhas mais novas e ocasionam a morte prematura das folhas mais velhas.

Todos esses processos abordados até o momento referem-se à interação da radiação eletromagnética com folhas isoladas. No entanto, para se avaliar uma cobertura vegetal por meio de sensoriamento remoto é necessário considerar a interação da radiação com toda a comunidade vegetal, ou seja, os diferentes dosséis vegetais (florestas, culturas agrícolas, etc.).

De acordo com Ponzoni (2002), quando se compara a curva de reflectância de uma folha verde sadia com curvas espectrais de dosséis constata-se que as formas são semelhantes. Essa semelhança permite que em imagens multiespectrais os padrões de reflectância dos dosséis sejam previstos, pois se espera que na região do visível a tonalidade desses dosséis sejam mais escuras, enquanto que na região do IVP a tonalidade seja mais clara e, em imagens do infravermelho médio os tons de cinza apresentem valores intermediários entre as imagens do visível e do IVP.

A arquitetura do dossel vegetal é definida pela distribuição espacial, densidade e orientação dos elementos. A distribuição espacial depende do arranjo de plantio (caso cultivado), do tipo de vegetação e do estágio de desenvolvimento das plantas. Em modelos de reflectância da vegetação, um dossel é considerado composto por vários subdosséis arranjados de forma regular ou aleatoriamente no solo. Para um dossel homogêneo, considera-se que a densidade dos elementos é uniforme, podendo ser caracterizado pelo IAF, que representa a razão entre a área do elemento (folhas) e a área do solo. O IAF é um dos principais parâmetros da vegetação e é utilizado em modelos de crescimento vegetal, evapotranspiração e biomassa (PONZONI, 2002).

Outro fator que influencia a arquitetura do dossel vegetal é a Distribuição Angular de Folhas (DAF), que é definido como uma função densidade de distribuição $f(\Theta, \Psi)$, onde Θ e Ψ são a inclinação e o azimute da folha, respectivamente. O DAF varia consideravelmente entre os tipos de vegetação. Normalmente os dosséis podem ser descritos por um dos seis tipos de distribuição: planófila (ângulos de inclinação menores que 30°), erectófila (ângulos maiores que 60°), plagiófila

(ângulos entre 30° e 60°), extremófila (ângulos entre 30° e 60° inclinadas para baixo), uniforme (ângulos próximos a 45°) e, esféricas (diferentes ângulos, sem predominância) (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012a).

Segundo Goel (1988), as características da reflectância do dossel vegetal é dependente dos seguintes fatores: os elementos da vegetação, principalmente as folhas; geometrias de iluminação e de visada; e, das características do solo onde a vegetação se desenvolve.

3.2.3 Interação com o solo

O solo pode ser definido como um corpo natural da superfície terrestre, onde suas propriedades são definidas pelos efeitos integrados do clima e dos organismos vivos sobre o material de origem, condicionado pelo relevo ao longo tempo. Na região amazônica, devido às altas temperaturas e alta precipitação pluviométrica, a água que é percolada favorece as reações químicas no solo, o transporte de compostos solúveis e a mineralização da matéria orgânica. Nessa região, normalmente os solos são bastante intemperizados, profundos, muito pobres e com elevada acidez (MOREIRA, 2011).

Segundo Moreira (2011) os parâmetros do solo que influenciam a radiação refletida ou emitida da superfície são vários, porém os mais importantes são os óxidos de ferro, a umidade, a matéria orgânica, a granulometria, a mineralogia da argila e o material de origem.

De acordo com Epiphanyo et al. (1992), os sesquióxidos, típicos de regiões tropicais, apresentam espectro de reflectância dominado por feições devidas ao ferro férrico (Fe^{3+}). A hematita, limonita e goetita apresentam de forma bem definidas nas bandas de absorção próximas de 0,9 μm . Contudo, de forma geral, quando há presença de magnetita ocorrem baixas reflectâncias no visível e no infravermelho próximo e médio.

É de fácil observação que a maioria dos solos apresentam-se mais escuros quando estão úmidos que quando estão secos. Esse escurecimento é resultado do decréscimo da reflectância da radiação do espectro visível, conforme relatado por Epiphanyo et al. (1992). De acordo com Hoffer e Johannsen (1969) *apud* Epiphanyo et al. (1992), os solos úmidos possuem uma reflectância geral menor que os secos na região do espectro eletromagnético entre 0,4 e 2,6 μm .

O teor e a composição da matéria orgânica no solo são reconhecidamente fatores de forte influência sobre a reflectância dos solos, sendo que geralmente, observa-se que à medida que o teor aumenta, a reflectância do solo decresce nos comprimentos de onda entre 0,4 e 2,5 μm (HOFFER e JOHANNSEN 1969 *apud* EPIPHANIO *et al.* (1992). Baumgardner *et al.* (1970) observaram que a matéria orgânica desempenha importante papel na determinação das propriedades espectrais dos solos quando o teor excede 2,0%. Quando o teor está abaixo de 2,0% os outros constituintes do solo apresentam maior influência no comportamento do solo.

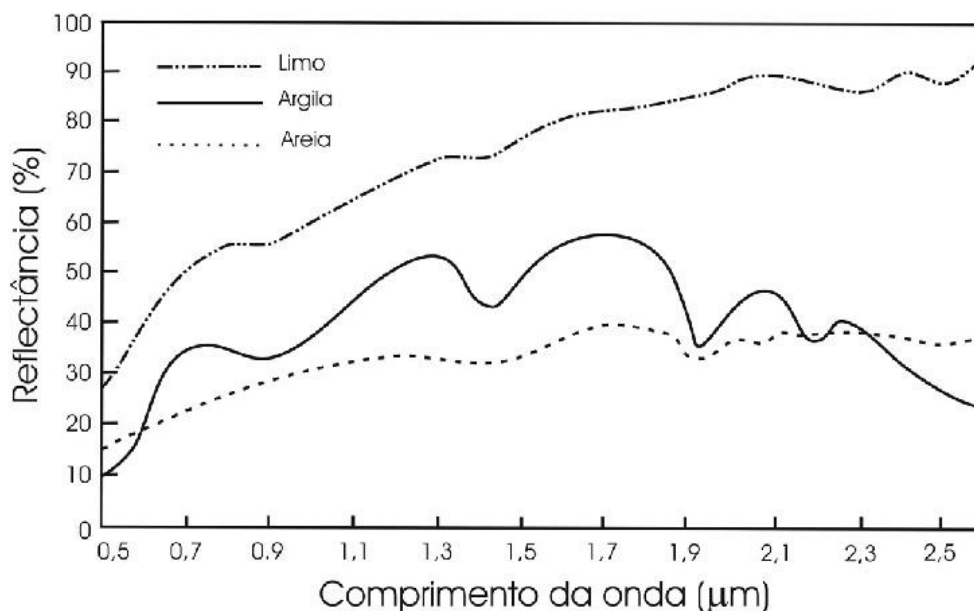
Além da composição química dos constituintes do solo, a reflectância também é influenciada pelo tamanho e arranjo das partículas em relação ao ar e água do solo, ou seja, a textura e a estrutura do solo (EPIPHANIO *et al.* 1992). Para Liu (2006), geralmente os agregados grossos, com formas irregulares, tendem a formar uma superfície irregular e complexa, com muitos espaços porosos, que interferem na reflectância. Mas, em geral, uma superfície mais uniforme, formada por areias mais finas, possuem reflectância mais alta, pois existe maior possibilidade de se formar uma superfície mais suave e com menos espaços vazios que refletem mais a radiação. Entretanto, os solos argilosos possuem baixa reflectância devido os maiores teores de matéria orgânica e umidade. Já os solos com baixo nível de areia (10% a 30%) têm baixa reflectância nas bandas 0,4 a 0,86 μm , enquanto que os solos de areia pura têm alta reflectâncias nessa faixa.

A figura 5 apresenta as reflectâncias espectrais de três tipos de solos da região de Indiana nos Estados Unidos. Para os três solos as condições de umidade eram semelhantes. O solo de limo tem mais de 90% de limos (silte) e quase 0% de matéria orgânica, apresentando alta reflectância espectral na faixa de 0,4 a 2,5 μm . O solo argiloso com 60% de argila apresenta uma curva distinta com alta reflectância no visível e alguns picos de absorção de água nas faixas de 1,45 e 1,95 μm . Já o solo arenoso tem reflectância variando linearmente de 20 a 30% nas faixas espectrais de 0,4 a 2,5 μm (JOHANNSEN e BAUMGARDNES, 1968 *apud* LIU, 2006).

Em estudos de regressão feitos por Montgomery (1974, 1976) *apud* Epiphanio *et al.* (1992), o teor de silte mostrou-se como o parâmetro isolado mais significativo na explicação de variações espectrais em solos. A significância do teor de silte pode ser atribuída ao tamanho das partículas em relação aos comprimentos

de onda refletivos. Beck et al. (1976), estudando solos siltosos concluíram que a faixa de comprimentos de onda entre 1,5 e 1,73 μm foi a melhor para mapeamento de teores de argila em solos superficiais.

Figura 5. Reflectâncias espectrais de três tipos de solo da região de Indiana nos Estados Unidos.



Fonte: Liu, 2006.

3.3 Índices de Vegetação

Em aplicações do sensoriamento remoto para monitoramento foram desenvolvidos diversos Índices de Vegetação (IV) que permitem quantificar as condições e distribuições espaciais das vegetações utilizando os dados de reflectâncias espectrais da radiação eletromagnética. Os IV's são obtidos por meio de várias combinações matemáticas entre as bandas espectrais com o objetivo de condensar as informações e discriminar o que é vegetação e não vegetação, avaliar as condições de crescimento das culturas, ocorrências de distúrbios e eventos meteorológicos catastróficos (LIU, 2006).

Na literatura têm sido propostos vários índices de vegetação visando explorar as propriedades espectrais da vegetação, principalmente, nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Esses índices relacionam-se a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, entre eles a biomassa e IAF, e ainda minimizam os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição,

nos quais influenciam os valores de reflectância da vegetação (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

3.3.1 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*) foi proposto por Rouse et al. (1973). O NDVI é calculado pela diferença dos valores de reflectância entre as bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (VER). Essa diferença é normalizada pela divisão da soma das bandas IVP e VER, conforme a equação 3.

$$NDVI = \frac{(IVP - VER)}{(IVP + VER)} \quad (3)$$

Onde: IVP = Reflectância no infravermelho próximo; VER = Reflectância no vermelho.

O valor de NDVI varia de -1 a +1. Os valores negativos representam as nuvens e corpos hídricos, valores próximos de zero representam solo descoberto ou sem vegetação. O NDVI mais alto indica o grau de verde da superfície mais alta que pode ser inferido como vegetação mais densa ou em pleno vigor do crescimento (LIU, 2006c).

O NDVI representa uma ferramenta para o monitoramento da vegetação e é utilizado para construir perfis sazonais e temporais das atividades de um dossel vegetal, de forma a permitir comparações interanuais desses perfis. O perfil temporal do NDVI tem sido utilizado para detectar atividades sazonais e fenológicas, duração do período de crescimento, mudanças fisiológicas das folhas, pico de verde e períodos de senescência (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

Apesar de o NDVI ser um índice ainda bastante utilizado nos dias atuais e ter bastante sucesso em estudo sobre vegetação, sua interpretação deve levar em consideração vários fatores limitantes. Esses fatores incluem, por exemplo, os pontos de saturação, que se manifestam de forma diferenciada nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo; a interferência atmosférica, também diferenciada nessas duas faixas; o posicionamento do centro e, por fim, a largura de cada banda, que varia conforme os sensores. Além desses fatores, o usuário deve ainda levar em consideração a resolução espacial do sensor no qual está

trabalhando, pois os resultados para uma mesma imagem e data de aquisição de dados podem variar drasticamente em função dessa variável (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

3.3.2 Índice de Vegetação Melhorado (EVI)

O Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index* - EVI) foi proposto por Huete et al. (1997), com o objetivo de melhorar o sinal da vegetação, sendo mais sensível às variações fisionômicas e estruturais do dossel e, comparativamente ao NDVI, apresenta menor influência das contaminações do substrato (solo) e da atmosfera (FERREIRA et al., 2008). Desta forma, o EVI apresenta maior sensibilidade na diferenciação de vegetações em regiões com altos valores de biomassa, não apresentando o problema de saturação que ocorre no NDVI.

Nesse sentido, o EVI é calculado através da equação 4 (HUETE et al., 1997):

$$EVI = G \frac{(IVP - VER)}{(L + IVP + C1 * VER - C2 * AZUL)} \quad (4)$$

Onde:

L é o fator de ajuste para o solo (igual a 1); G, o fator de ganho (igual a 2,5); C1 e C2, os coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera (igual a 6 e 7,5, respectivamente) (HUETE et al., 1997).

3.4 Aplicações em florestas implantadas

De acordo com Souza et al. (2007), o sensoriamento remoto vem sendo empregado em trabalhos de pesquisas dentro de praticamente todos os ramos da ciência, dentre os quais a ciência florestal.

Devido ao alto dinamismo das atividades florestais e pela grande importância do setor florestal para o país, surge a necessidade de se conhecer e avaliar cada vez mais e com maior frequência os empreendimentos florestais, sobretudo de forma rápida e segura, como passo prévio para seu manejo e exploração eficientes (MOREIRA, 1984).

Soares et al. (2005), apontam que nas empresas do setor florestal, o inventário de suas plantações exige contínuo monitoramento devido a sua dinâmica, que é influenciada pela variabilidade de estágios de desenvolvimento e de espécies, incêndio, pragas, doenças, corte e plantio, dentre outros. Para este mesmo autor, estas características que são próprias aos plantios de *Eucalyptus*, inviabilizam o gerenciamento de suas atividades apenas com um banco de dados descritivo, sendo de capital importância a associação do componente espacial da informação, compondo um SIG. Ribeiro et al. (2000 *apud* SOARES et al. 2005) afirmam que o SIG permitirá processar as informações espaciais, devendo ser capaz de criar abstrações digitais do real, manejar e armazenar eficientemente os dados, de forma a identificar o melhor relacionamento entre as variáveis espaciais, possibilitando a criação de relatórios e mapas que contribuem para a compreensão holística desses relacionamentos.

A realização de mapeamentos utilizando técnicas de sensoriamento remoto em áreas florestais começou no Brasil com a utilização de fotografias aéreas de áreas florestais de difícil acesso, primeiramente utilizando-se da fotointerpretação e da fotogrametria, tornando-se uma ferramenta imprescindível para a ciência florestal. Diferentes tecnologias de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para o mapeamento, atualização de inventários florestais e avaliação de danos florestais, por meio de fotografias aéreas e imagens digitais. A rápida evolução tecnológica de sensores remotos vem proporcionando a obtenção de dados digitais com uma resolução e agilidade espacial cada vez maior (SOUZA et al. 2007).

As imagens provenientes de sensores instalados em satélites orbitais têm apresentado grande potencial para monitorar ou detectar mudanças na cobertura florestal sobre grandes áreas geográficas (SOUZA et al. 2007). Essas imagens quando submetidas a técnicas de processamento digital podem ser avaliadas qualitativa e quantitativamente, revelando maiores detalhes de informação, que dificilmente seriam observados nas imagens brutas. Uma das técnicas mais utilizadas é a razão entre bandas, que de forma simples e de fácil implementação, apresenta grande eficiência na detecção de mudanças na cobertura florestal. Neste sentido, Vogelmann e Rock (1986) utilizando a razão entre bandas conseguiram avaliar e quantificar os danos causados em florestas de *Pinus* sp. nas montanhas de Vermont, EUA. Soares et al. (1998) também utilizaram essa mesma técnica para avaliar as mudanças em plantações de eucaliptos e outras coberturas terrestres no

Vale do Rio Doce, em Minas Gerais. Estes mesmos autores acreditam que as empresas do setor florestal devem utilizar essas ferramentas no monitoramento de suas plantações, devido a grande possibilidade de avaliação do desenvolvimento da floresta, possibilidade de detecção de áreas atacadas por pragas e doenças ou qualquer outro problema que interfira no desenvolvimento da vegetação, visto que áreas submetidas a alguma injúria apresentam mudanças no comportamento espectral em relação às áreas saudáveis.

3.5 Aplicações em florestas nativas

O sensoriamento remoto tem sido utilizado como uma importante fonte de dados para estudos ambientais, tendo em vista a imensidão das florestas brasileiras e a dificuldade de acesso, as imagens de satélite oferecem uma única saída (VERONA, SHIMABUKURO e SANTOS, 2005). As características intrínsecas ao sensoriamento remoto favorecem o uso desse tipo de dado para aplicações em estudos florestais, pois fornecem informações de uma ampla área com alta frequência de repetitividade de imagens do mesmo local, sendo então possível a utilização para o monitoramento ambiental e acompanhamento da fenologia florestal. As preocupações com o desaparecimento de florestas tem incentivado a busca por soluções que viabilizem a redução do desmatamento, da emissão de gases do efeito estufa e também atendam às necessidades de medições do carbono estocado pelas diferentes tipologias florestais (CASSOL, SALDANHA e KUPLICH, 2013). Segundo Houghton (1994), as florestas cobrem cerca de 30% da superfície terrestre e fixam o montante de 85% do carbono orgânico disponível na atmosfera.

Verona, Shimabukuro e Santos (2005) avaliaram a potencialidade do uso de imagens-fração multitemporais para caracterizar as variações fenológicas em uma área pertencente à Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós. Estes autores relacionaram as imagens-fração e o NDVI com a precipitação para verificar a correlação entre os dados e, concluíram que a imagem-fração vegetação apresentou correlação positiva e significativa (0,94) com os dados de precipitação, enquanto que, com as imagens NDVI as correlações não foram significativas (0,04). Os dados apresentados pelos autores mostram que, nessa situação de floresta, trabalhar com a estrutura do alvo (dossel vegetal detectado na imagem-fração vegetação) foi mais eficiente na detecção de variações que o trabalho com assinaturas espectrais

(NDVI). Uma razão para isso pode ser o fato do NDVI saturar rapidamente em ambiente de floresta, conforme apontado por Nicholson e Farrar (1994).

Couto Junior et al. (2015) também fizeram uso do modelo de mistura linear espectral e índices de vegetação para descrever a fenologia interanual e a estrutura do dossel de fitofisionomias do Cerrado. O trabalho foi realizado no Parque Nacional de Brasília (PNB), abrangendo uma área de 42.389 hectares. Os autores observaram que o uso do conjunto das imagens fração e dos índices de vegetação apresentou-se como fonte de informação adicional para a compreensão da fenologia e estrutura do dossel vegetal.

Celes et al. (2013) trabalhando com estimativa de biomassa em floresta tropical no Amazonas buscaram consolidar uma metodologia de mapeamento ou espacialização das variáveis biofísicas da floresta usando dados provenientes de sensoriamento remoto (índices de vegetação, imagens-fração e modelo digital de superfície) e de inventário florestal contínuo. Os autores estimaram valor de biomassa fresca de $578,3 \pm 3,4\%$ ton/ha e por extrapolação, estimaram o valor total de biomassa igual a $662,5 \pm 13\%$ milhões de toneladas na área de estudo, que tinha 11,6 km². A metodologia empregada pelos autores pode ser aplicada em outras áreas de estudo, necessitando apenas que tenham dados de inventário florestal e disponibilidade de imagens de sensoriamento remoto.

Comparando dados oriundos de imagens dos sensores ASTER e TM para estimativa de biomassa em Floresta Ombrófila Mista, Cassol, Saldanha e Kuplich (2013), observaram que os índices de vegetação NDVI e *Simple Ratio* (SR) apresentaram as maiores regressões lineares com a biomassa observada, tanto para o sensor ASTER quanto para o TM. Em relação à estimativa de biomassa por hectare, gerada por meio das regressões lineares, os índices de vegetação NDVI e EVI do sensor TM apresentaram os melhores resultados, sendo que o NDVI estimou valor de biomassa com variação de apenas 1,25% em relação à biomassa observada. Quanto ao sensor ASTER, todos os índices de vegetação apresentaram estimativa de biomassa com variações superiores a 10%. Desta forma, os autores concluíram que existe uma relação linear entre os índices de vegetação gerados pelos diferentes sensores e a biomassa estimada por meio de dados de campo.

3.6 Aplicações em pastagens

Trabalhos de aplicação de sensoriamento remoto em pastagens são direcionados para a caracterização espectro-temporal, metodologias de classificação e detecção de níveis de degradação das diferentes espécies de gramíneas cultivadas para pastejo.

Anjos et al. (2013) avaliando a caracterização espectro-temporal de pastagens da região do triângulo mineiro utilizando dados do sensor MODIS, concluíram que é possível fazer a discriminação de pastagens cultivadas das outras classes de cobertura do solo daquela região. Verificaram ainda que a maioria das pastagens apresentaram assinaturas espectro-temporais distintas, ainda que em todos os pontos amostrados as pastagens eram do mesmo tipo *Brachiaria*.

Segundo Andrade et al. (2013), a caracterização das condições das áreas de pastagens pode ser avaliada por meio de dados provenientes de sensores a bordo de plataformas orbitais, pois fornecem cobertura em diferentes escalas. Estes mesmo autores realizaram mapeamento indicativo de degradação de pastagens no Estado de Goiás a partir de séries temporais de NDVI do sensor *SPOT Vegetation*, e observaram que cerca de 27% das áreas de pastagens plantadas apresentavam algum indicativo de degradação, sendo que em algumas microrregiões valores acima de 30% foram observados.

Nascimento et al. (2006) avaliaram o potencial das imagens provenientes do sensor ASTER na identificação de níveis de degradação em pastagens, e concluíram que as imagens mostraram capacidade satisfatória de discriminar as diferentes classes de uso da terra na área estudada e que foi possível identificar três níveis de degradação (moderado, forte e muito forte) das pastagens de *Melinis minutiflora* na região da Zona da Mata de Minas Gerais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Na pesquisa foi utilizado o seguinte material:

- ✓ Notebook com processador Intel Core I5, 6 GB RAM e HD 500 GB;
- ✓ *Software* QGIS, versão 2.12 Lyon;
- ✓ *Software* SPRING, versão 5.3;
- ✓ *Software* MS Office Excel, versão 2007;
- ✓ Imagens OLI/LANDSAT-8 (Tabela 1);
- ✓ Receptor GPS Garmin, modelo *GPSmap 76CSx*;
- ✓ Câmera Digital Fujifilm modelo FinePix S4200 16 megapixels.

Na Tabela 1 são apresentados as datas de aquisição e a órbita-ponto de cada imagem utilizada no trabalho.

Tabela 1. Datas de aquisição e órbita-ponto das cenas OLI/LANDSAT-8 utilizadas.

	Data de aquisição	Órbita-ponto		Data de aquisição	Órbita-ponto
1	17-05-13	222-064	13	14-05-15	223-064
2	09-06-13	223-064	14	15-06-15	223-064
3	11-07-13	223-064	15	24-06-15	222-064
4	05-08-13	222-064	16	17-07-15	223-064
5	15-10-13	223-064	17	18-08-15	223-064
6	12-06-14	223-064	18	27-08-15	222-064
7	07-07-14	222-064	19	12-09-15	222-064
8	30-07-14	223-064	20	05-10-15	223-064
9	08-08-14	222-064	21	14-10-15	222-064
10	15-08-14	223-064	22	21-10-15	223-064
11	09-09-14	222-064	23	30-10-15	222-064
12	27-03-15	223-064	24	01-12-15	222-064

Fonte: Autor (2016).

A Tabela 2 apresenta as bandas, o intervalo do comprimento de ondas registrado e a resolução espacial do sensor OLI/LANDSAT-8.

Tabela 2. Nome, intervalo de comprimento de onda e resolução espacial das bandas do sensor OLI/LANDSAT-8.

Bandas	Intervalo registrado (micrometros)	Resolução (metros)
Banda 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Vermelho	0.64 - 0.67	30
Banda 5 - IVP	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30

Fonte: Autor (2016).

4.2 Métodos

A seguir é apresentado a sequência metodológica utilizada para determinação das curvas espectrais de cada classe que serviram de base para a análise do comportamento espectro-temporal dos alvos analisados. Os procedimentos seguiram as etapas descritas abaixo:

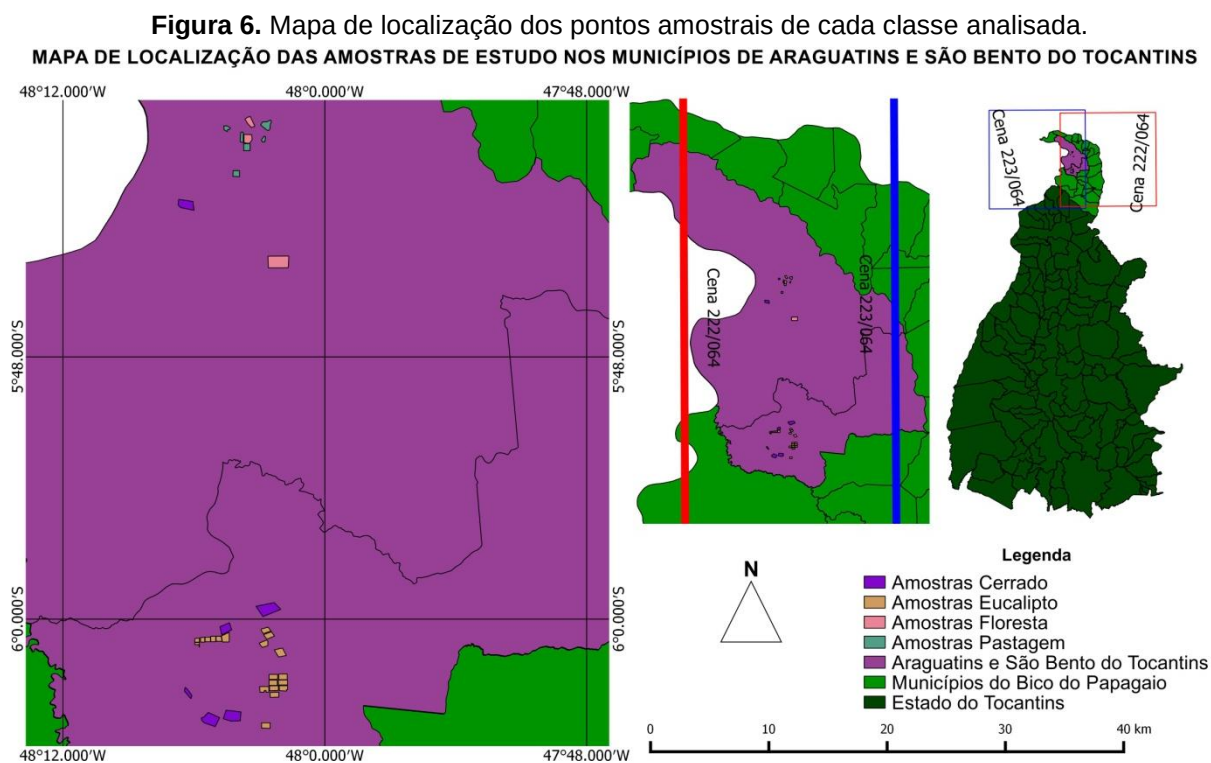
1. Obtenção das imagens OLI/LANDSAT-8 para os anos 2013, 2014 e 2015;
2. Visita a campo para determinação de pontos amostrais;
3. Preparação das imagens no SPRING;
4. Cálculo do Índice de Vegetação EVI com base em todas imagens;
5. Definição das áreas de estudo dentro das órbitas-ponto estabelecidas, para cada classe, e delimitação das áreas nas imagens utilizando o QGIS;
6. Extração dos valores de reflectância médio dos alvos selecionados, de cada classe, nas bandas espectrais 1-7 do sensor OLI e dos índices de vegetação NDVI e EVI, para cada imagem;
7. Tabulação dos dados e obtenção dos perfis espectrais (índices de vegetação e valores de reflectância por banda espectral) dos alvos selecionados;
8. Obtenção de séries de dados climatológicos (precipitação) e correlação desses com os perfis espectro-temporais das classes de uso;
9. Análise dos perfis espectro-temporais das quatro classes de uso;

Para a realização do estudo foram utilizadas vinte e quatro cenas do sensor OLI/LANDSAT-8 nas órbitas/pontos 222/064 e 223/064 com resolução espacial de 30 metros, sendo cinco cenas no ano de 2013, seis em 2014 e treze em 2015.

As cenas utilizadas foram selecionadas por meio do sítio eletrônico <http://earthexplorer.usgs.gov/> e posteriormente adquiridas gratuitamente através da internet na plataforma <https://espa.cr.usgs.gov/>, ambos sites pertencentes ao *United State Geological Survey* (USGS). As imagens disponibilizadas pelo USGS já são pré-processadas, desta forma o usuário não necessita realizar os procedimentos de georreferenciamento, correção atmosférica e definição do sistema de projeção. O

Índice de Vegetação NDVI foi disponibilizado como cortesia pelo *Landsat Spectral Indices - USGS Earth Resources Observation and Science Center*.

Na visita de campo foram utilizados um aparelho receptor GPS para obtenção das coordenadas dos pontos amostrais e uma câmera digital para registro fotográfico das áreas. As áreas das amostras estão representadas na Figura 6.



Os dados de precipitação pluviométrica do município de Araguatins para os anos de 2013 a 2015 foram obtidos por meio da Seção de Armazenamentos de Dados Meteorológicos (SADMET) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As amostras das classes de vegetação estudadas foram escolhidas dentro da zona de sobreposição das duas órbitas/ponto (222/064 e 223/064) que abrangem o município de Araguatins (TO) e São Bento do Tocantins (TO), a fim de ampliar a probabilidade de se obter imagens sem cobertura por nuvens sobre os pontos amostrais, pois desta forma, a resolução temporal (tempo de revisita sobre o local) do satélite é reduzido de 16 para 8 dias.

As amostras da classe Pastagem foram selecionadas dentro da fazenda do IFTO - *Campus* Araguatins e em sua vizinhança, totalizando seis amostras. A Floresta Nativa contou com duas amostras dentro da fazenda do IFTO - *Campus* Araguatins e uma amostra localizada a cerca de 12 km da cidade de Araguatins. Cinco amostras da classe cerrado foram selecionadas dentro da fazenda da

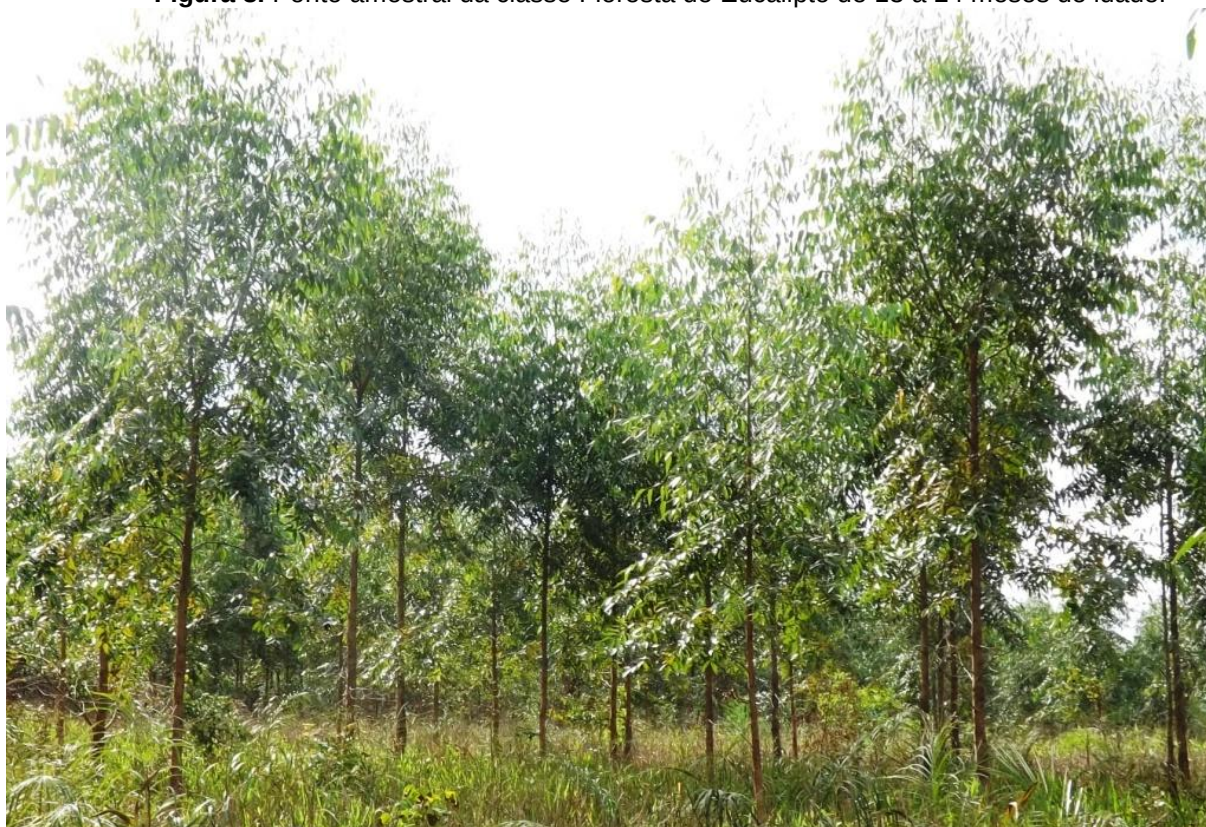
empresa Sinobras Florestal em São Bento do Tocantins e uma próxima à cidade de Araguatins, e por fim, as vinte amostras da classe floresta de eucalipto foram obtidas na fazenda da empresa Sinobras Florestal.

Figura 7. Ponto amostral da classe Cerrado.



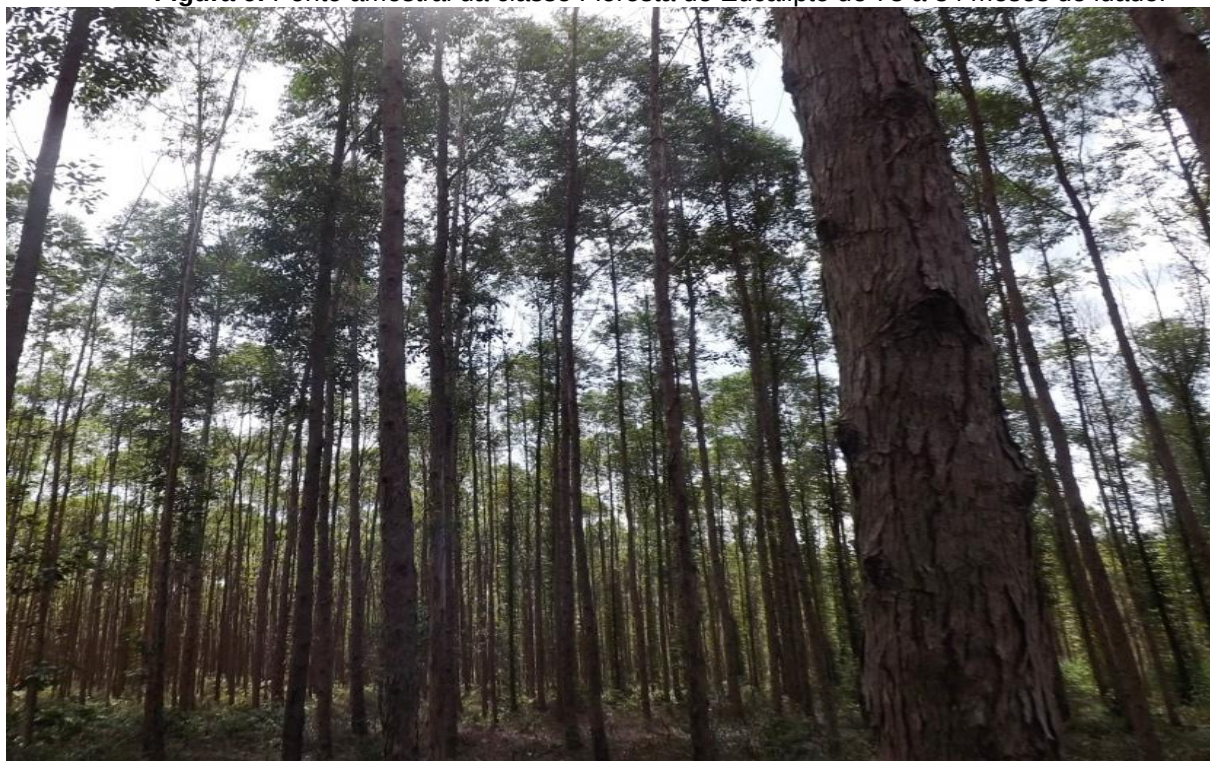
Fonte: Autor (2016).

Figura 8. Ponto amostral da classe Floresta de Eucalipto de 13 a 24 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

Figura 9. Ponto amostral da classe Floresta de Eucalipto de 73 a 84 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

Figura 10. Ponto amostral da classe Floresta Nativa.



Fonte: Autor (2016).

Figura 11. Ponto amostral da classe Pastagem.

Fonte: Autor (2016).

O *software* de processamento de imagens utilizado foi o Sistema de Processamento de Informações Geográficas - SPRING, versão 5.3, licença gratuita, disponibilizado pelo Departamento de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - DPI/INPE, e como *software* de geoprocessamento o QGIS, versão 2.12 Lyon, licença gratuita. O *Microsoft Office Excel* 2007 foi utilizado para a tabulação dos dados e geração dos gráficos com os perfis espectrais de cada classe.

O nome e as coordenadas do centro de cada ponto amostral podem ser verificados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3. Nome e localização geográfica dos pontos amostrais.

UTM ZONA 22 S			UTM ZONA 22 S		
Nome	Longitude (m)	Latitude (m)	Nome	Longitude (m)	Latitude (m)
Pastagem 1	827194.4	9376418.7	Eucalipto T151	822704.9	9334262.5
Pastagem 2	825345.5	9376589.3	Eucalipto T152	823178.2	9334270.7
Pastagem 3	825764.9	9375767.5	Eucalipto T153	821356.2	9333871.7
Pastagem 4	824860.1	9373537.6	Eucalipto T159	823768.0	9334352.4
Pastagem 5	824055.8	9377370.2	Eucalipto T168	827150.1	9334973.8
Pastagem 6	827446.1	9377621.9	Eucalipto T172	827427.1	9334537.8
Floresta 1	825848.1	9376485.5	Eucalipto T176	827011.5	9333833.9
Floresta 2	826041.2	9377893.0	Eucalipto T185	828382.6	9333088.6
Floresta 3	828382.5	9366066.8	Eucalipto T189	828584.9	9331037.5
Cerrado 1	822444.3	9327466.1	Eucalipto T190	828584.9	9330557.5
Cerrado 2	820550.4	9329724.7	Eucalipto T191	828615.9	9330076.8
Cerrado 3	823755.9	9335133.6	Eucalipto T198	827772.9	9331038.6
Cerrado 4	820604.3	9370943.7	Eucalipto T199	827759.9	9330542.5
Cerrado 5	827354.7	9336776.0	Eucalipto T200	827815.3	9330084.9
Cerrado 6	824302.7	9327764.4	Eucalipto T201	827857.2	9329523.9
Eucalipto T148	821343.5	9334169.4	Eucalipto T208	826998.0	9329999.9
Eucalipto T149	821804.9	9334202.5	Eucalipto T237	827118.8	9326934.9
Eucalipto T150	822239.9	9334232.5			

Fonte: Autor (2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados, observou-se pela análise do perfil espectro-temporal a variação dos valores médios de reflectância para as bandas de 1 a 7 do sensor OLI/LANDSAT-8 e dos Índices de Vegetação NDVI e EVI.

A banda 1 do sensor OLI/LANDSAT-8 registra energia eletromagnética no intervalo de 0,435-0,451 μm (ultra-azul) e é chamada de "Coastal / Aerosol" devido a suas aplicações em estudos de águas costeiras e de aerossóis (USGS, 2016), porém em estudos sobre a vegetação esta banda não possui importância significativa, visto que seu comportamento é próximo ao da banda 2.

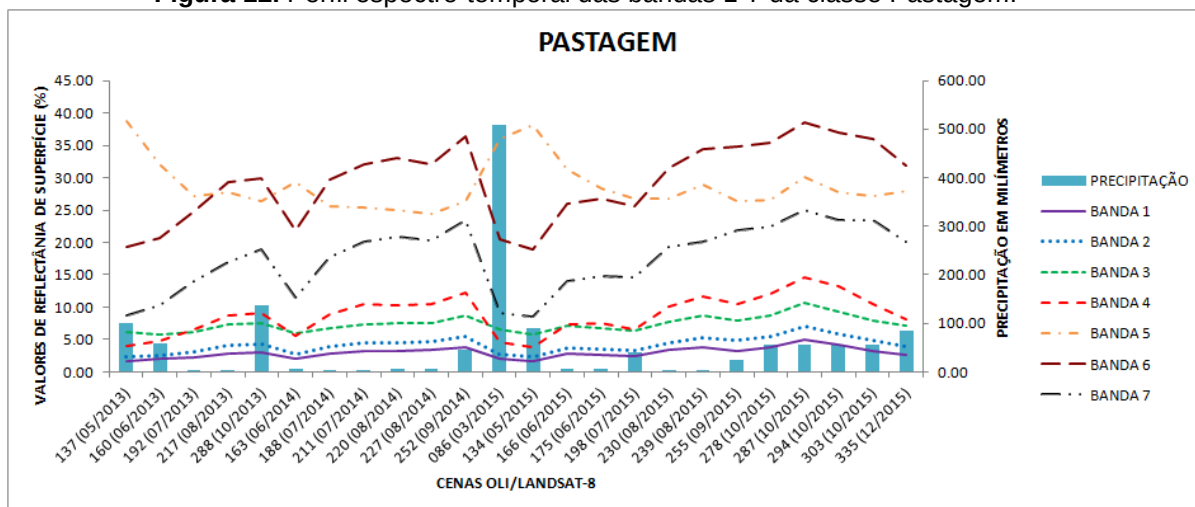
A banda 2 corresponde à faixa de registro entre 0,452-0,512 μm (azul), sendo que a vegetação reflete uma porção muito baixa de energia nessa faixa devido a sua utilização pelos processos fotossintéticos. Desta forma, podemos observar na figura 12 que os valores médios de reflectância na banda 2 são muito baixos devido a alta absorção, chegando no máximo a 5%.

Na banda 3 são registradas energias na faixa de 0,533-0,590 μm , correspondendo à faixa do verde. Nesta banda a reflectância tende a ser constante, visto que essa faixa de energia não é utilizada pelos vegetais em processos biológicos. De acordo com Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), a maioria das plantas são transparentes na região do verde (0,540 μm), então esta reflectância é responsável por conferir a coloração verde das folhas vivas saudáveis.

A banda 4 (0,636-0,673 μm) faz o registro da faixa do vermelho. Na planta existem vários pigmentos responsáveis pela captação da energia luminosa, mas somente a clorofila é capaz de absorver a energia na faixa do vermelho (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012). Na Figura 12 observa-se que a banda 4 e a banda 2 apresentam variação ao longo do tempo que pode ser entendida como a variação do processo fotossintético da pastagem. Nota-se que nos períodos de seca os valores de reflectância são maiores que nos períodos de chuva, indicando menor taxa fotossintética (menor absorção da radiação), e conseqüentemente, menor crescimento vegetativo nesses períodos. É possível observar ainda na Figura 12, que nos períodos de baixa precipitação pluviométrica, a reflectância do vermelho (banda 4) superou os valores de reflectância do verde (banda 3), este fato pode ser facilmente associado à pastagem com folhagens secas e com pouca cobertura da

superfície do solo, sendo essas características muito comuns na região de Araguatins durante o período de julho a outubro.

Figura 12. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Pastagem.



Fonte: Autor (2016).

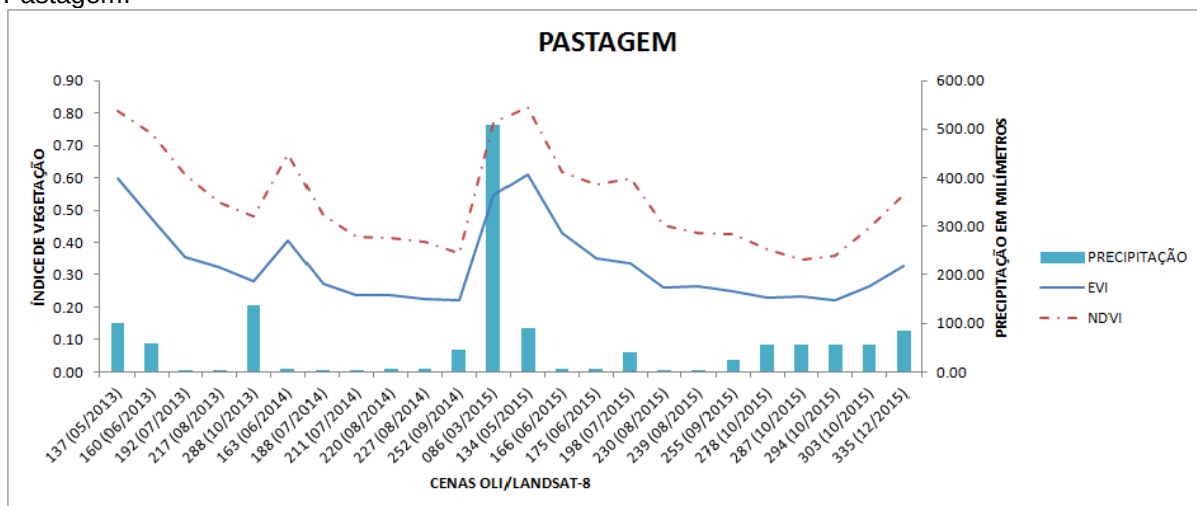
A banda 5 registra a radiação eletromagnética do IVP na faixa de comprimento de 0,851 a 0,879 μm . De acordo com Moreira (2011), na região do IVP o comportamento da vegetação é dependente das estruturas celulares internas e do conteúdo de água presente nas folhas. Nessa região espectral, a absorção é muito baixa (menos de 15%) e a reflectância pode chegar até 50%, dependendo da estrutura anatômica das folhas. A alta reflectância nessa região é decorrente da interação da radiação com a estrutura do mesófilo, podendo ser alterado quantitativamente pela relação água-ar presente na estrutura (GATES et al., 1965). Analisando a figura 12 percebemos que a variação temporal da pastagem na banda 5 apresenta uma relação inversa com a banda 4, ou seja, nos períodos de seca a banda 4 apresenta alta reflectância relativa, e a banda 5 mostra-se com valores mais baixos, e nos períodos chuvosos a recíproca é verdadeira. Este comportamento acontece porque num dossel verde e saudável, a energia da região do vermelho é aproveitada no processo fotossintético (diminuindo a reflectância), enquanto que a radiação do infravermelho próximo interage com as estruturas do mesófilo onde a maior parte é refletida de volta para a atmosfera e outra parte é absorvida pela água líquida presente nas estruturas da folha.

As bandas 6 e 7 são responsáveis por fazer o registro nas faixas de 1,566 a 1,651 μm e entre 2,107 - 2,294 μm , respectivamente. Essas bandas são de grande importância para os estudos da vegetação, pois se encontram na faixa do infravermelho de ondas curtas, o qual possui grande relação com o grau de umidade

do dossel vegetal (vide figura 4). Na figura 12 é possível constatar essa relação entre o grau de umidade do dossel da pastagem e a reflectância apresentada. Tomando como exemplo os valores de reflectância do mês de 05/2013, quando ocorreu precipitação na ordem de 100 mm, verifica-se que para a banda 6 a reflectância encontra-se próxima a 20% e próximo de 10% para a banda 7. Já no mês de 08/2013, não houve chuva a mais de 60 dias, a reflectância na banda 6 aumentou para cerca de 30% e na banda 7 elevou-se para pouco mais de 15%. Para as outras datas os valores de reflectância para estas bandas variaram de acordo a precipitação.

A Figura 13 apresenta os valores médios Dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe pastagem. Nessa figura, pode-se observar que os índices de vegetação NDVI e EVI apresentaram forte tendência em relação aos dados de precipitação, o que de fato é esperado, pois quando os fatores ambientais são favoráveis, o desenvolvimento vegetativo é potencializado e ocorre crescimento do dossel vegetal, consequentemente, os valores dos índices de vegetação tendem a serem incrementados.

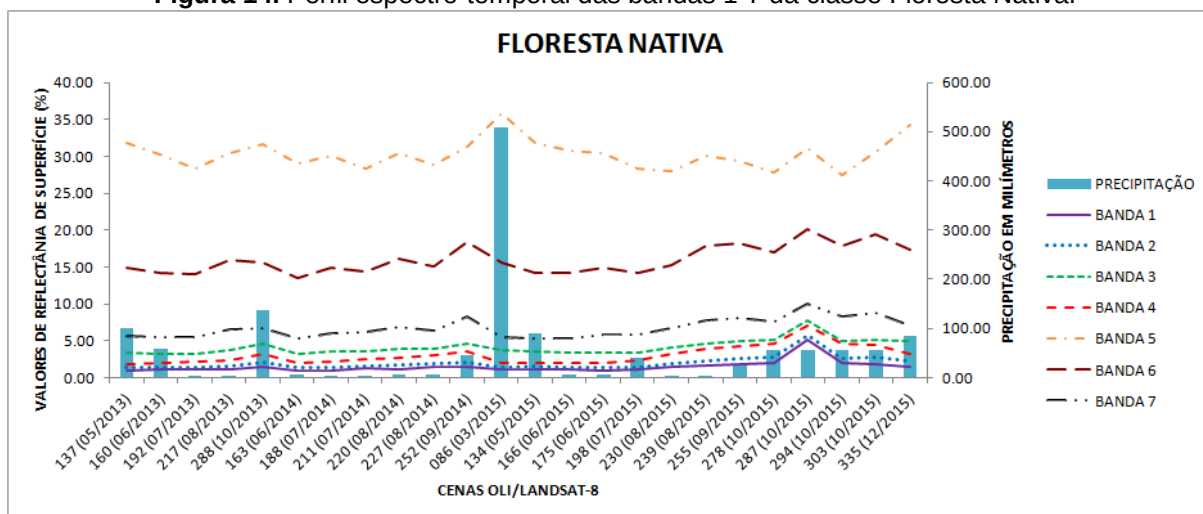
Figura 13. Perfil espectro-temporal dos índices de vegetação NDVI e EVI da classe Pastagem.



Fonte: Autor (2016).

Na análise do perfil espectro-temporal da classe Floresta Nativa (Figura 14), o comportamento espectral em função do tempo para esta classe foi possível verificar que as curvas foram mais estáveis, apresentaram também influência da precipitação assim como na pastagem, porém de menor magnitude.

Figura 14. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta Nativa.

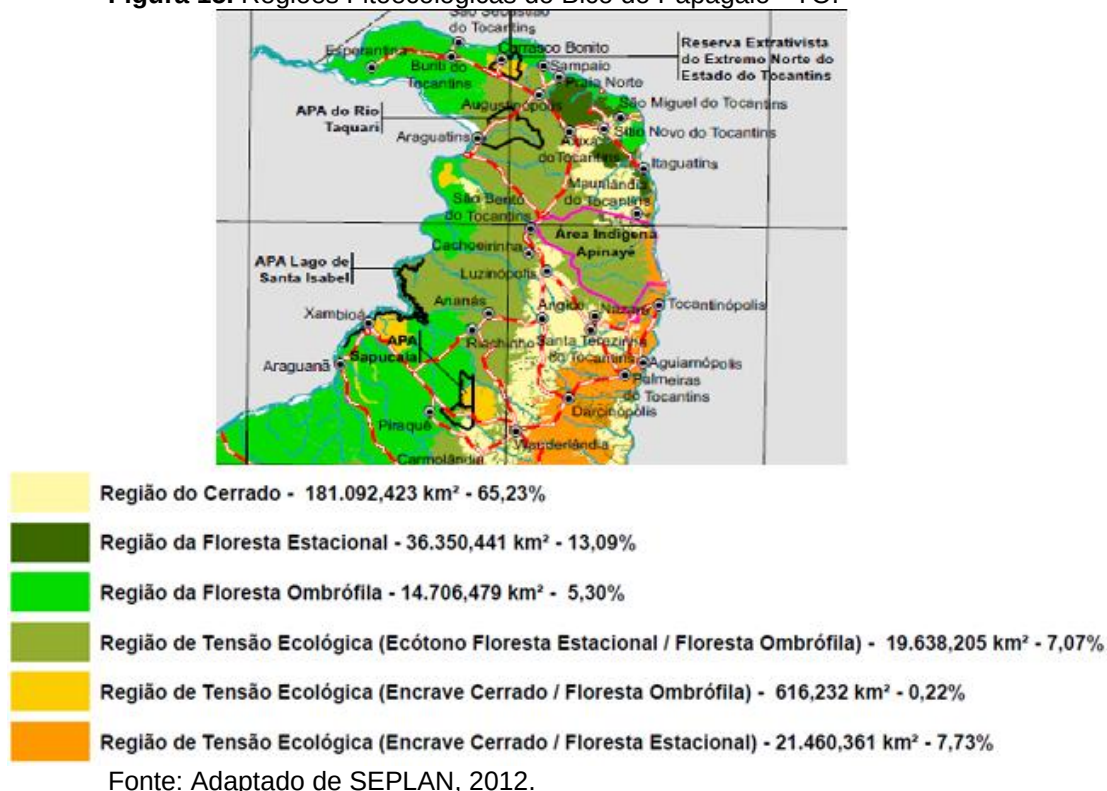


Fonte: Autor (2016).

A variação dos valores de reflectância em cada banda do sensor OLI/LANDSAT-8 no tempo são pequenas, evidenciando o caráter de permanência de folhas verdes no dossel vegetal da floresta mesmo nos períodos de ausência de precipitação.

De acordo com SEPLAN (2012), as áreas de Floresta Nativa amostradas para este trabalho estão localizadas dentro da Região de Tensão Ecológica - Ecótono Floresta Estacional / Floresta Ombrófila (Figura 15), onde ocorre mistura de espécies de floresta estacional e de floresta ombrófila no mesmo ambiente.

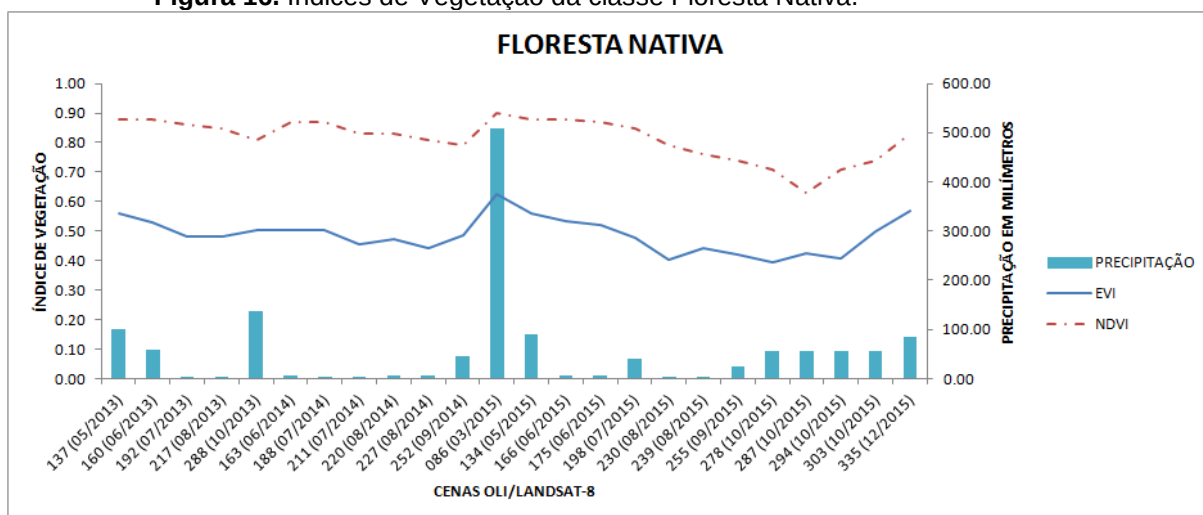
Figura 15. Regiões Fitoecológicas do Bico do Papagaio - TO.



Neste sentido, de acordo com a Figura 14, as amostras da classe Floresta Nativa apresentaram características de florestas ombrófilas pois é evidenciada a manutenção da folhagem durante os meses de seca (ao contrário da floresta estacional que durante o período seco perde suas folhas - caducifólia), conforme pode ser observado analisando a baixa reflectância da banda 3 que indica utilização da radiação na fotossíntese e a alta reflectância da banda 5 que se relaciona com o índice de IAF (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

Analisando o gráfico dos índices de vegetação na Figura 16, podemos observar na linha do NDVI que os valores apresentam tendência estável, ainda assim sofrendo influência em função da precipitação.

Figura 16. Índices de Vegetação da classe Floresta Nativa.



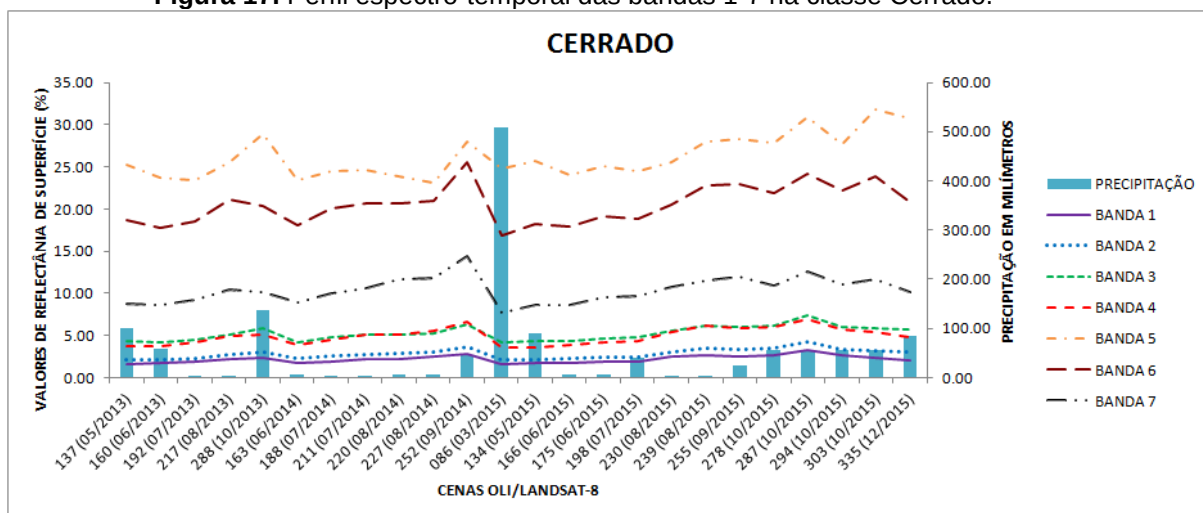
Fonte: Autor (2016).

Os valores de NDVI apresentados estão sempre próximos a 0,88, sendo o valor máximo de 0,9 no mês 03/2015 e o mínimo de 0,63 em 10/2015. Valores altos de NDVI estão relacionados a altos valores de biomassa. No entanto, segundo Ferreira (2008) o NDVI apresenta problemas de saturação em áreas densamente vegetadas e falta de linearidade com o IAF e com a Fração de Radiação Fotossinteticamente Absorvida (fPAR). Por outro lado, o EVI apresenta maior sensibilidade na detecção de dosséis vegetais densos, visto que foi desenvolvido para melhorar o sinal da vegetação aumentando a sensibilidade em regiões de alta biomassa (JIANG et al. 2008). Na Figura 16, se observa ainda valores menos elevados de EVI, que são mais sensíveis às variações climáticas, apresentando valores menores nos períodos secos e maiores nos chuvosos.

A classe Cerrado tem seu perfil espectro-temporal apresentado na Figura 17. Nessa Figura, analisando-se as bandas 3 e 4 foi possível identificar uma

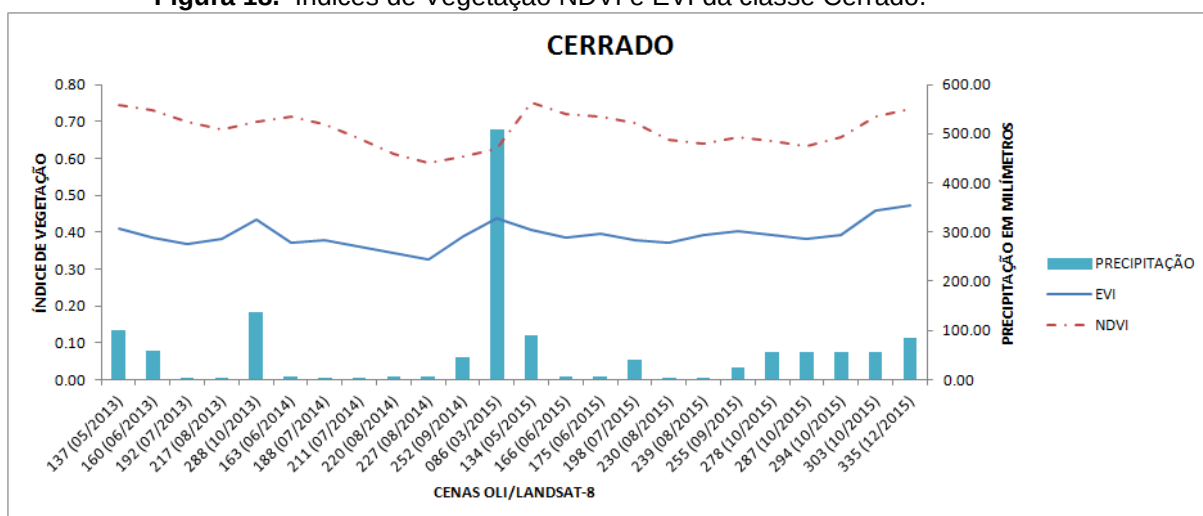
característica bastante inerente ao cerrado: maior exposição da superfície do solo. Esse caráter é evidenciado pela proximidade e até igualdade dos valores de reflectância das bandas 3 e 4. Em vegetações com cobertura total do solo, a banda 4 (região do vermelho) apresenta valores de reflectância menores que os valores da banda 3 (região do verde), como pode ser observado na classe Floresta Nativa, na figura 14. Nos períodos em que a banda 4 apresenta valores superiores aos da banda 3 é possível identificar pelo menos uma das seguintes situações: baixa cobertura do solo pela vegetação; dossel ralo ou vegetação com muitas folhas secas e poucas verdes. Mello et al. (2008) também encontraram maiores valores de reflectância na região do vermelho do que na região do verde em diferentes fitofisionomias de cerrado no Parque Nacional de Brasília (PNB).

Figura 17. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 na classe Cerrado.



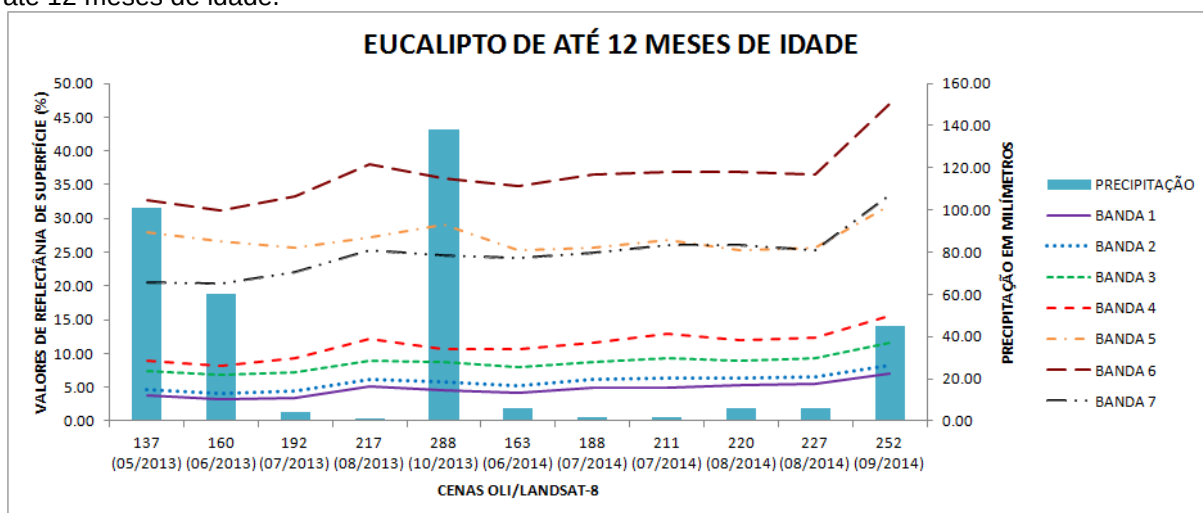
Fonte: Autor (2016).

Observando os comportamentos do NDVI e EVI (figura 17), percebe-se que apesar deste tipo de vegetação não apresentar boa cobertura do solo em determinadas épocas do ano, conforme observado na figura 16, os valores de NDVI são elevados durante todo o período avaliado. A baixa variação na linha do NDVI é resultado de sua baixa capacidade de detectar mudanças da vegetação em áreas com alta biomassa. A linha do EVI apresenta maior variação comparado ao NDVI, sendo as diferenças observadas no comportamento compatível com as condições climáticas (precipitação) que ocorreram no período estudado. A pouca variação nos IV's indica que o dossel vegetal desta classe permaneceu intacto durante o período analisado, não ocorrendo desmatamento, queimada ou outra injúria.

Figura 18. Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Cerrado.

Fonte: Autor (2016).

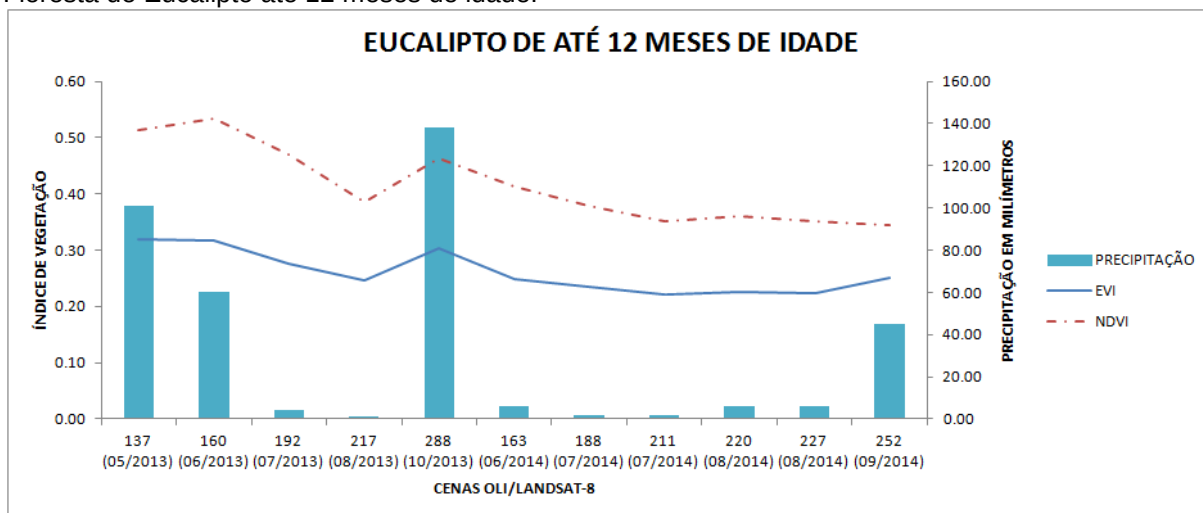
Observando os valores de reflectância das bandas 3, 4 e 5 na Figura 19, pode-se perceber que a classe Floresta de Eucalipto até os 12 meses de idade apresenta cobertura muito baixa da superfície do solo, evidenciado pelos altos valores de reflectância da banda 4, que são superiores aos valores da banda 3 durante todo o período avaliado. Como comentado anteriormente, essa situação ocorre pela influência da reflectância do solo, que reflete muita energia na região do vermelho (banda 4). A banda 5 (IVP) também apresenta baixa reflectância quando comparada às classes que possuem boa cobertura do solo. Os altos valores de reflectância nas bandas 6 e 7 estão relacionadas à baixa presença de folhas verdes e túrgidas, visto que estas bandas apresentam sensibilidade na detecção da umidade dos dosséis vegetais.

Figura 19. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de até 12 meses de idade.

Fonte: Autor (2016).

Na Figura 20 são apresentados os valores de NDVI e EVI para a classe Floresta de Eucalipto até 12 meses de idade. Os valores dos IV's ainda apresentam-se com baixos valores, indicando a baixa cobertura do solo. A variação da curva do NDVI apresenta-se mais acentuada que a curva do EVI, visto que o NDVI apresenta maior sensibilidade às influências do solo.

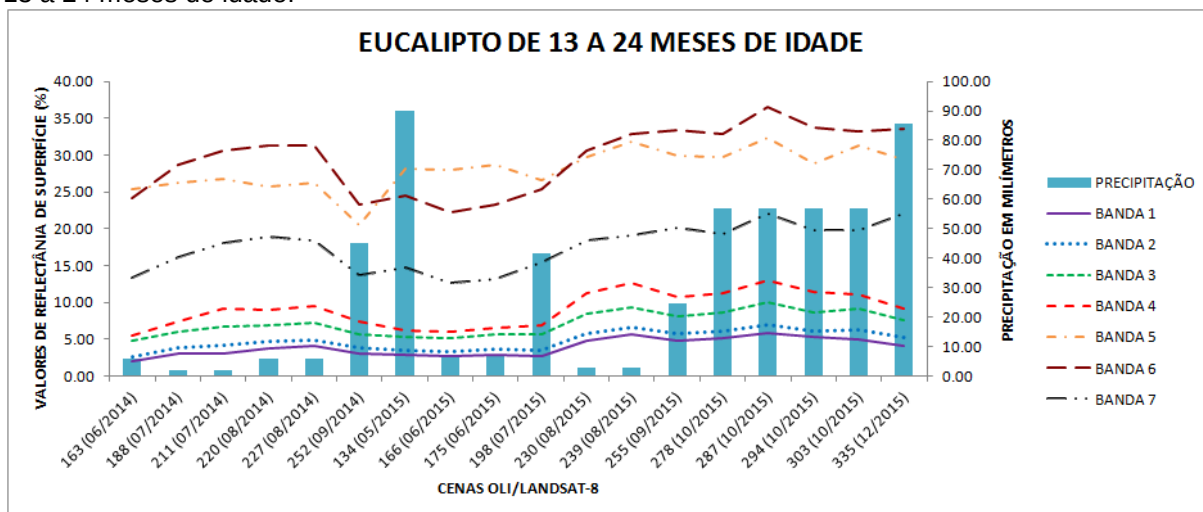
Figura 20. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto até 12 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

Já na Figura 21, observa-se uma situação parecida com a classe anterior, onde a vegetação ainda não apresentou boa cobertura do solo. A cultura do eucalipto nos primeiros anos após a implantação apresenta a copa das árvores ainda pouco desenvolvida. Desta forma, a resposta espectral é influenciada pela reflectância do solo, conforme pode-se observar nos elevados valores de reflectância para a região do vermelho (banda 4).

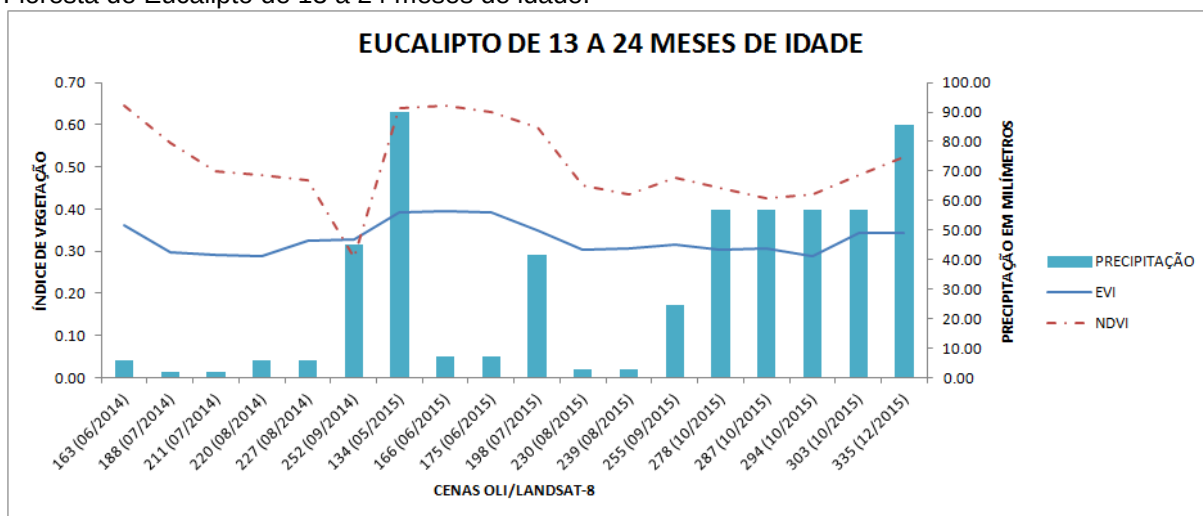
Figura 21. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 13 a 24 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

Na Figura 22 verifica-se que o NDVI mostrou boa sensibilidade na detecção do dossel de eucalipto, apresentando valores elevados (acima de 0,63) nos meses que antecedem o período de estiagem. Os valores de EVI apresentaram variação mais suave que o NDVI devido a suas características de sofrerem menor influência do solo e da atmosfera. Os dois índices apresentaram correlação positiva aos dados de precipitação.

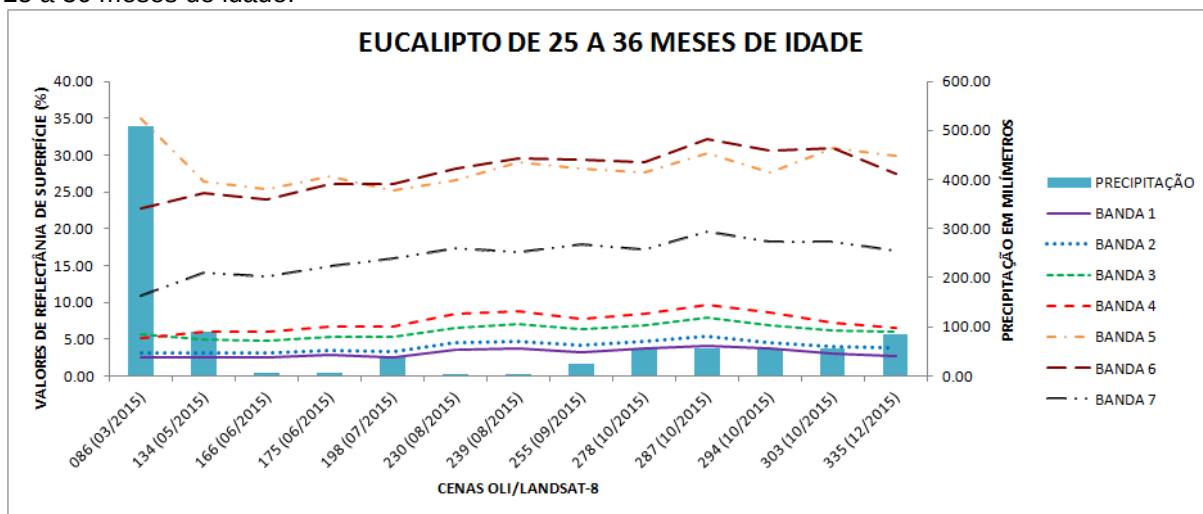
Figura 22. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto de 13 a 24 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

Neste trabalho, observou-se que as classes de Floresta de Eucalipto até 36 meses de idade apresentaram comportamento espectral equiparável entre si nas bandas 1 a 7 do sensor OLI/LANDSAT-8. Esta situação pode ser explicada pelo fato de que as plantas apresentam dossel pouco denso, o que de forma geral promove influência do solo nos valores de reflectância, principalmente das bandas 4 a 7.

Figura 23. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 25 a 36 meses de idade.

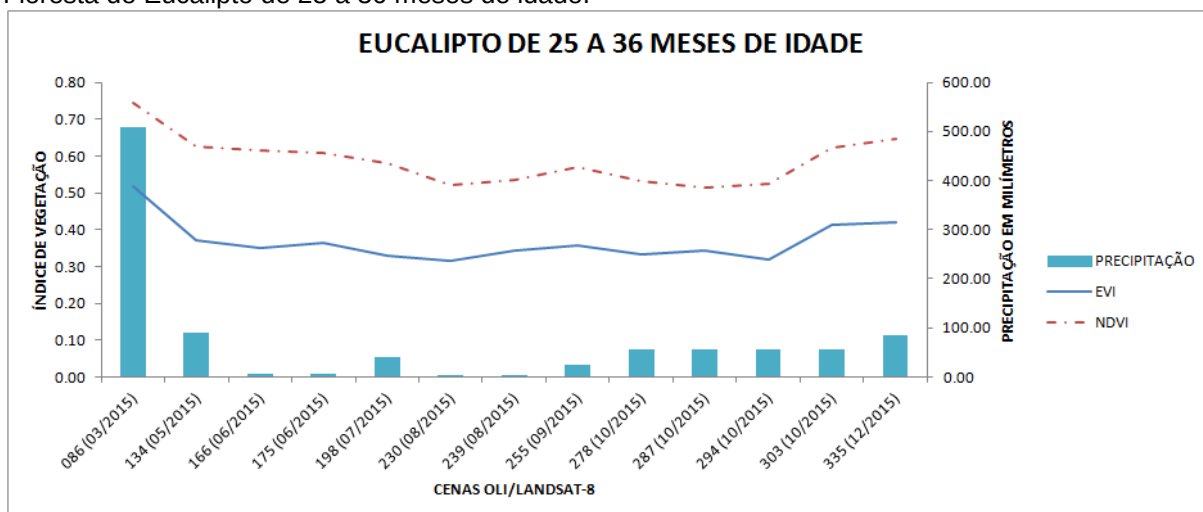


Fonte: Autor (2016).

Outro fato que influencia esses valores é a resolução espacial das imagens do sensor OLI/LANDSAT-8 que é 30 metros, assim, dentro de um pixel (menor elemento unitário da imagem) é registrado o valor médio da reflectância de uma área de 30x30m (900m²), desta forma, a resposta espectral da vegetação poderá ser afetada pela resposta do solo e a intensidade dessa influência dependerá da área relativa ocupada pela vegetação e pelo solo descoberto, sendo que quanto maior for a porção ocupada por solo exposto maior será a interferência no sinal da vegetação, sobretudo naquelas bandas onde os materiais constituintes do solo apresentam maior reflectância. Visando reduzir essas influências, cada ponto amostral utilizado neste trabalho contou com áreas superiores a 100 pixels.

Os Índices de Vegetação (Figura 24) apresentaram valores condizentes com o esperado, ou seja, superiores às classes Floresta de Eucalipto até 24 meses e inferiores os valores das classes Floresta de Eucalipto com idade acima de 61 meses.

Figura 24. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto de 25 a 36 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

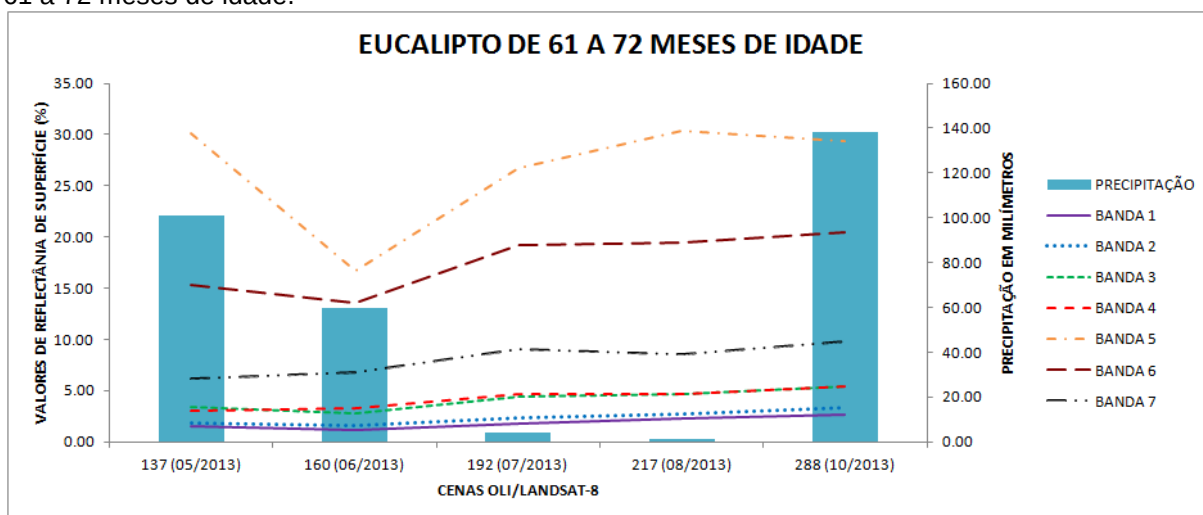
Da Figura 25 a Figura 32 são apresentados os comportamentos espectro-temporais das classes Floresta de Eucalipto de 61 a 72 meses, 73 a 84 meses, 85 a 96 meses, e maior que 96 meses de idade.

Nessas figuras citadas é possível verificar que o comportamento destas quatro classes Floresta de Eucalipto apresentam, de forma geral, semelhanças entre si nas bandas de 1 a 7, pois, nessas faixas de idade a cultura quando bem manejada apresenta boa cobertura da superfície do solo. As variações que ocorrem são decorrentes das condições climáticas e variam de ano para ano, conforme pode ser observado avaliando o comportamento das linhas de cada banda com os dados

de precipitação. A reflectância da banda 4 apresenta os maiores valores sempre nos períodos de seca, pois a planta reduz seu processo fotossintético e deixa de utilizar parte dessa radiação. Nos períodos chuvosos, ocorre os menores valores de reflectância da banda 4 e os maiores valores de reflectância da banda 3 (verde), pois o desenvolvimento vegetativo é maior.

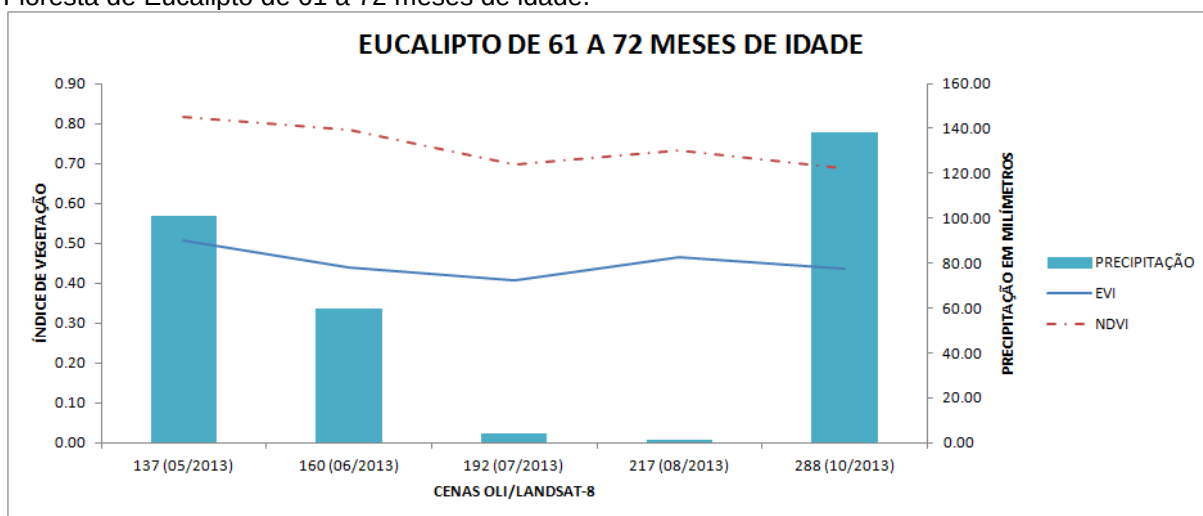
A banda 5 (IVP) apresenta os maiores valores de reflectância em relação a todas as bandas. Altas reflectâncias nessa banda são decorrentes do maior espalhamento interno desta faixa da radiação eletromagnética nas folhas, portanto, quanto maior a quantidade de folhas presentes no dossel vegetal, maiores serão os valores de reflectância nesta banda.

Figura 25. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 61 a 72 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

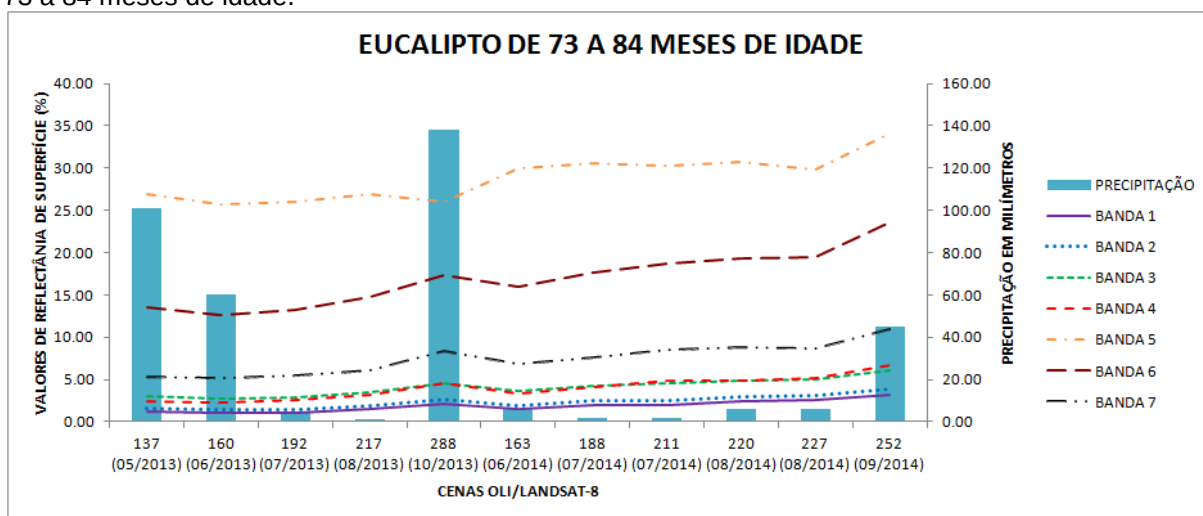
Figura 26. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto de 61 a 72 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

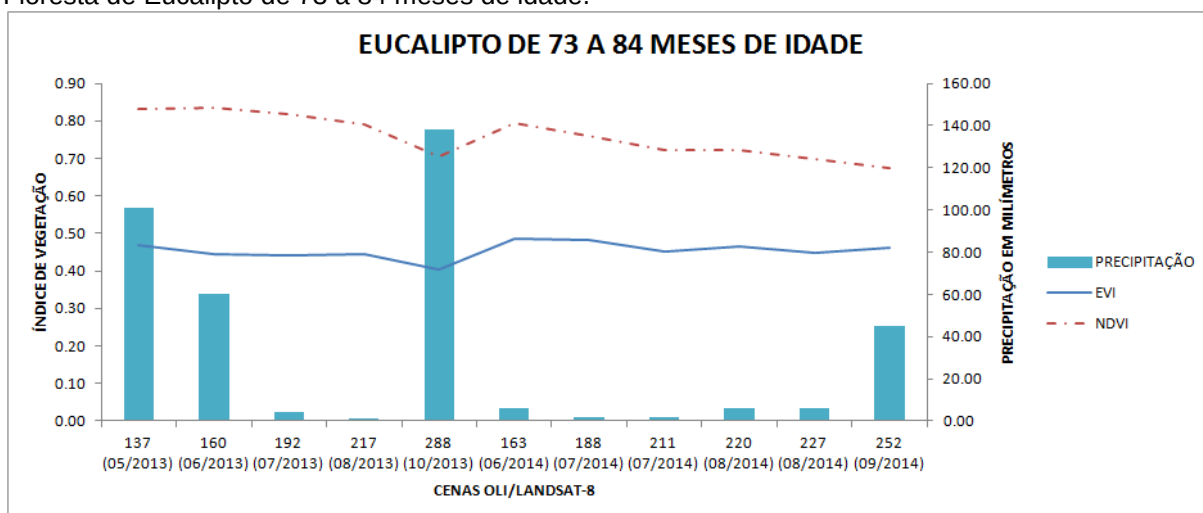
Os Índices de Vegetação NDVI e EVI para estas classes, apresentaram sempre valores elevados e as variações que ocorreram foram em função das variações de precipitação. Áreas com dossel vegetal denso apresentam estabilidade nos IV's ao longo do tempo. Grandes variações nos índices só ocorrem em casos de distúrbios que possam provocar a perda da folhagem ou disfunção fisiológica, como ataque de pragas e doenças, problemas nutricionais, déficit hídrico prolongado, queimadas, etc.

Figura 27. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 73 a 84 meses de idade.



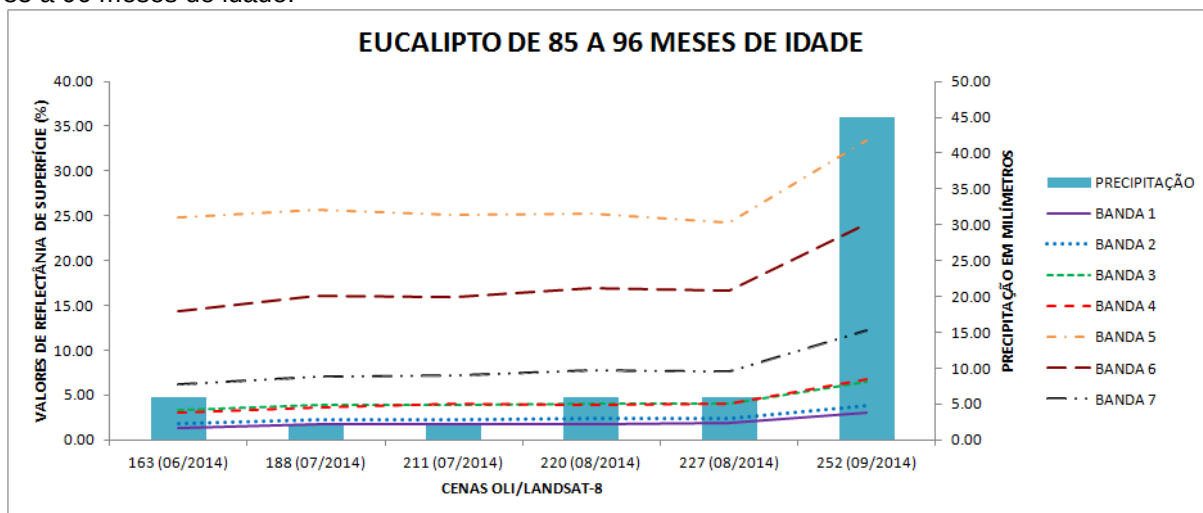
Fonte: Autor (2016).

Figura 28. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe Floresta de Eucalipto de 73 a 84 meses de idade.



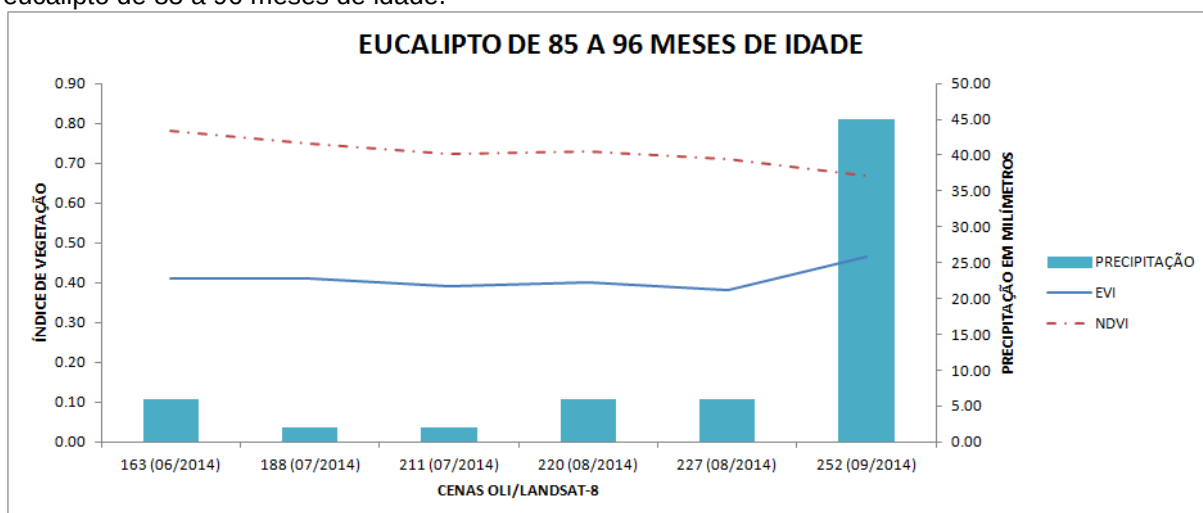
Fonte: Autor (2016).

Figura 29. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de 85 a 96 meses de idade.



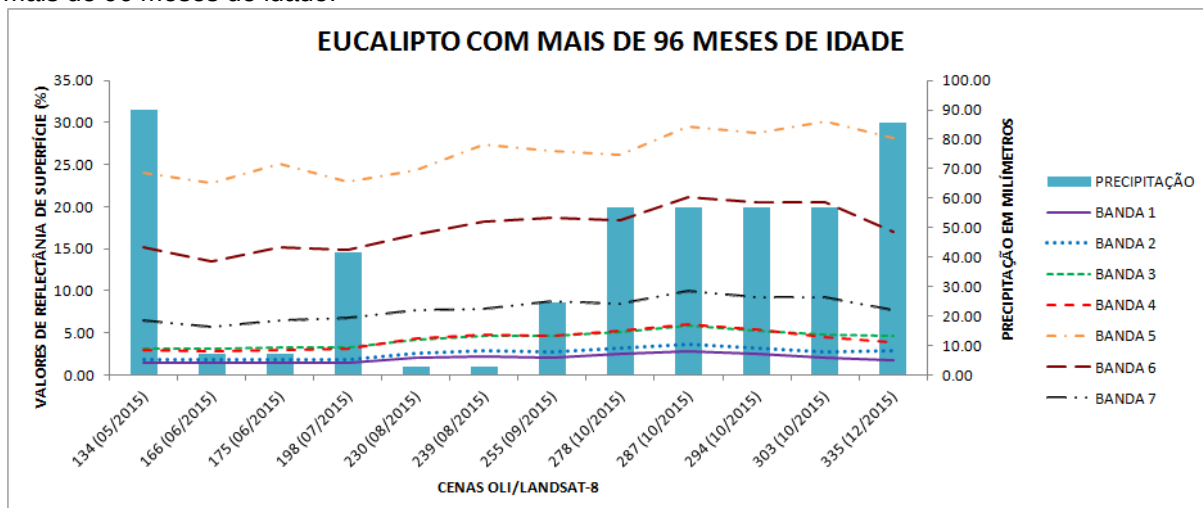
Fonte: Autor (2016).

Figura 30. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe eucalipto de 85 a 96 meses de idade.



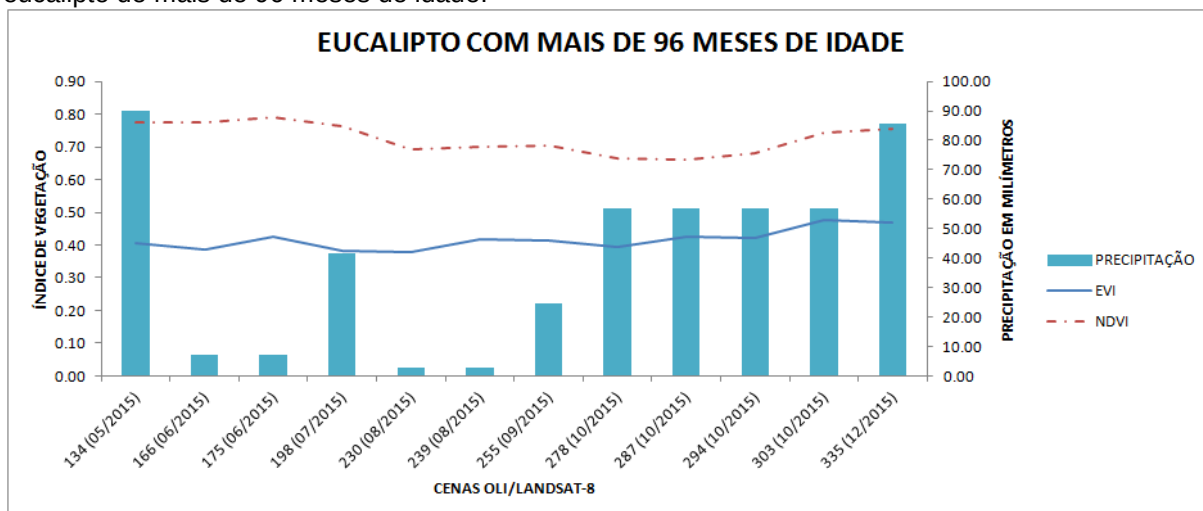
Fonte: Autor (2016).

Figura 31. Perfil espectro-temporal das bandas 1-7 da classe Floresta de Eucalipto de mais de 96 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

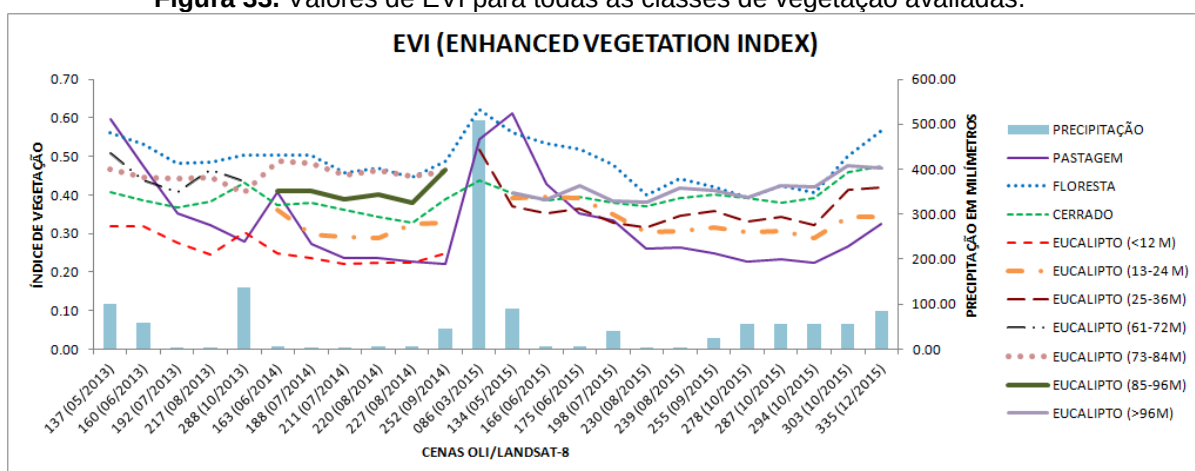
Figura 32. Perfil espectro-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e EVI da classe eucalipto de mais de 96 meses de idade.



Fonte: Autor (2016).

Nas Figuras 33 e 34 são apresentados os gráficos de EVI e NDVI, respectivamente, de todas as classes avaliadas neste trabalho. Estes gráficos permitem a visualização do comportamento espectro-temporal de todas as classes simultâneas.

Figura 33. Valores de EVI para todas as classes de vegetação avaliadas.



Fonte: Autor (2016).

Observa-se que ao longo do tempo cada classe de vegetação possui respostas diferenciadas umas das outras, sendo que algumas classes apresentam maior resposta em função da precipitação. Analisando a classe Pastagem percebemos que essa é a classe que apresenta as maiores variações, cujos valores no período chuvoso chegaram quase ao triplo do valor no período seco ($EVI = 0,22$ em 09/2014 e $EVI = 0,61$ em 05/2015). Os valores de EVI apresentados pela classe Pastagem nos meses de maio de 2013 e maio de 2015 chegaram a superar o valor de EVI da classe Floresta Nativa, evidenciando a grande taxa de crescimento que este tipo de vegetação apresenta quando são supridas as necessidades hídricas.

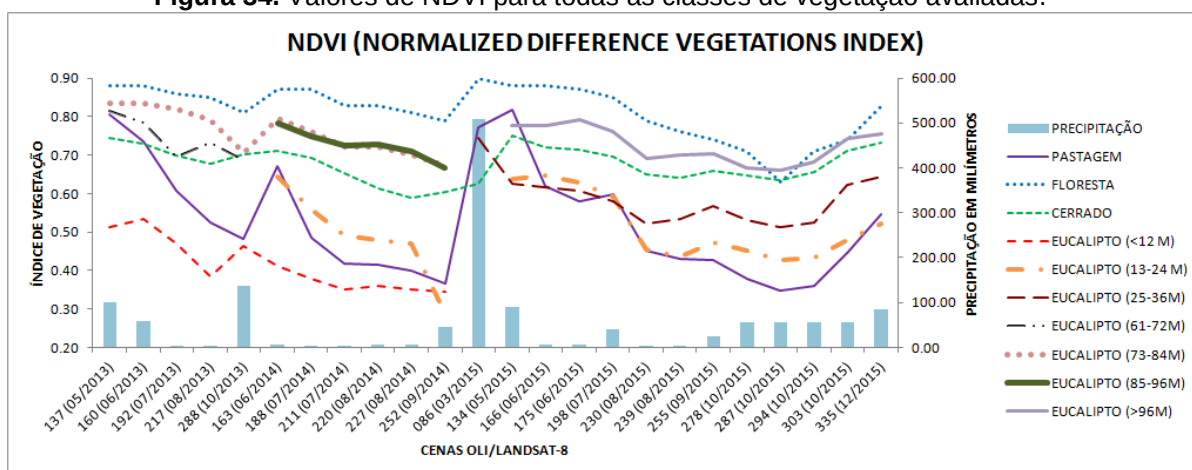
Em relação ao NDVI, a classe Pastagem apresentou comportamento similar ao EVI, porém os valores foram inferiores às classes Floresta Nativa e Floresta de Eucalipto com mais de 61 meses de idade.

Na classe Floresta Nativa foram observados variações de EVI entre 0,39 e 0,62, sendo o maior valor apresentado em 03/2015 e o menor valor em 10/2015. O valor máximo coincidiu com o mês mais chuvoso (511 mm) e o valor mínimo ocorreu no mês em que já estava acumulado grande déficit hídrico, visto que de abril até final de outubro de 2015 a precipitação acumulada foi de apenas (256 mm).

A classe Cerrado mostrou-se com o EVI mais estável durante o período analisado, apresentando valores sempre entre 0,33 e 0,47. A resposta dessa classe à precipitação é comparativamente a menor entre os outros tipos de vegetação aqui apresentados. A baixa resposta pode estar associada ao crescimento vagaroso das fisionomias de cerrado.

De forma generalizada, as classes de Floresta de Eucalipto até 36 meses de idade apresentaram os valores menos elevados de EVI e NDVI para este tipo de vegetação. As Florestas de Eucalipto com idades acima de 61 meses mostraram valores de NDVI acima de todas as classes, exceto da classe Floresta Nativa.

Figura 34. Valores de NDVI para todas as classes de vegetação avaliadas.



Fonte: Autor (2016).

6 CONCLUSÃO

A metodologia adotada neste trabalho foi considerada satisfatória, pois possibilitou alcançar o objetivo proposto de levantar e analisar o comportamento espectro-temporal de quatro alvos de vegetação (Cerrado, Floresta de Eucalipto, Floresta Nativa e Pastagem). Com base no conhecimento do comportamento padrão dos alvos, é possível monitorá-los ao longo do tempo por sensoriamento remoto, e detectar possíveis anomalias no comportamento típico esperado, que podem ser indicadoras de estresse da vegetação, déficit hídrico, degradação, contaminação, etc.

Ainda que não tenha sido possível adquirir imagens livres de nuvens em todos os meses de 2013 a 2015, com os dados obtidos foi possível representar os períodos seco e chuvoso dos anos analisados. A análise multitemporal possibilitou a criação dos perfis espectro-temporais de cada classe e a visualização das diferenças entre cada uma.

Com os gráficos gerados foi possível visualizar em qual época do ano os diferentes tipos de vegetações possuem maior ou menor similaridade espectral. Para a região estudada, o período compreendido entre julho e outubro apresentou-se como o período com maior possibilidade de diferenciação entre as classes de vegetação analisadas por meio de sensoriamento remoto. Essa informação é valiosa para a utilização de sensoriamento remoto para fins de mapeamento de uso e cobertura do solo, visto que indica em qual época do ano as imagens deverão ser obtidas para maximizar o potencial do uso desse tipo de dados. Além disso, esse resultado é motivador, visto que parte desse período do ano (julho a setembro), corresponde a estação seca, quando as chances de obter imagens livres de nuvens são maiores.

Todos os tipos de vegetação analisados apresentaram tendência de correlação positiva com os dados de precipitação, sendo que os maiores valores dos índices de vegetação ocorreram nos períodos de chuva, e os menores nos períodos secos. Isso mostra a necessidade de incorporar dados sobre precipitação nas análises dos perfis espectro-temporais de vegetação, para uma interpretação coerente do que acontece no campo. Isso inclusive pode evitar que mudanças ocasionadas pela precipitação sejam erroneamente relacionadas a outros fatores.

Sugere-se para trabalhos futuros a utilização de imagens com melhor resolução espacial, provenientes de satélites orbitais ou VANTS/Drones, visando melhor identificação e caracterização dos alvos de estudos, tendo a possibilidade de utilizar áreas com menor contaminação espectral dos objetos.

No caso de uso de imagens oriundas de VANTS ou Drones, sugere-se a avaliação de diferentes metodologias que possibilitem a extração e o processamento dos valores de reflectância dos alvos.

Sugere-se também, que em estudos de análise do comportamento espectro-temporal, sejam utilizados o maior tempo (anos) e o maior número de imagens possíveis, de preferência, abrangendo os períodos de chuva e de seca da região de estudo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. G. et al. Indicativo de degradação de pastagens a partir de dados Spot Vegetation. **Anais...** XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu: INPE, 13 a 18 de abril de 2013.
- ANJOS, V. S. et al. Caracterização espectro-temporal de pastagens do triângulo mineiro utilizando dados MODIS EVI2 (2000-2010). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.25, n.1, p.205-215, jan./abr. 2013.
- AZEVEDO, E. C.; MANGABEIRA, J. A. C. Mapeamento de uso das terras utilizando processamento digital de imagem de Sensoriamento Remoto. Campinas, SP: MAPA, **Comunicado Técnico**, 12p. 2001.
- BAUMGARDNER, M. F. et al. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils. **Proceedings of the Indiana Academy of Science**, 79:413-422, 1970.
- BECK, R.H. et al. **Spectral characteristics of soils related to the interaction of soil moisture, organic carbon, and clay content**. West Lafayette, IN, Purdue University, 1976. (LARS Information Note 081176).
- BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. **Ecologia da produção agrícola**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 249 p.
- CABRAL, A. P. et al. Efeitos da concentração e da granulometria na assinatura espectral do material particulado inorgânico em suspensão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 1990. Manaus. **Anais...** São José dos Campos, SP: INPE, 1990. v.2, p. 496-504.
- CASSOL, H. L. G.; SALDANHA, D. L.; KUPLICH, T. M. Comparação dos sensores ASTER e TM para a estimativa de biomassa e carbono em uma Floresta Ombrófila Mista. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 3090-3097.
- CELES, C. H. S. et al. Estimativa de biomassa em uma floresta tropical no município de Maués – AM, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 2827-2834.
- COUTO JUNIOR, A. F. et al. Fenologia e estrutura do dossel de fitofisionomias do Cerrado descritas pelo modelo de mistura linear espectral e índices de vegetação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 1915-1922.
- EPIPHANIO, J. C. N. et al. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo**. INPE-5424-PRP/172. INPE: São José dos Campos, 1992.

FERREIRA, L. G. et al. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. Maringá, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

GATES, D.M. et al. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v.4, n.1, p.11-20, 1965.

GAUSMAN, H. W. Leaf reflectance of near-infrared. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 1725-1734, 1985.

GOEL, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v.4, p.1-212, 1988.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: Seminário Emissão x Sequestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CURD, 1994. p. 38-76.

HUETE, A. R. et al. A comparison of vegetation indices over a global set of TM imagens for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p.440-451, 1997.

JIANG, Z. et al. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112., p. 3833-3845, 2008.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2 ed. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

MANTOVANI, J. E. **Comportamento espectral da água**: faixas de maior sensibilidade do fitoplâncton na presença de matéria orgânica dissolvida e de matéria inorgânica particulada. 1993, 98 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1993.

MELLO, M. P. de. et al. Comportamento espectral de fitofisionomias do Cerrado e desenvolvimento de índices utilizando bandas sintéticas derivadas de Modelos Lineares de Mistura Espectral aplicados na discriminação de fitofisionomias. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 2839-2846.

MOREIRA, M. **Identificação de reflorestamentos por meio da análise quantitativa de imagens orbitais Landsat**. 1984. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.

NASCIMENTO, M. C. et al. Uso de imagens do sensor ASTER na identificação de níveis de degradação em pastagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.196–202, 2006.

NICHOLSON, S.E.; FARRAR, T.J. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semi-arid Botswana. I. NDVI response to rainfall. **Remote Sensing of Environment**, (50):107-120, 1994.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, 1989.

PONZONI, F. J. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica. In: RUDORFF, B. F. T. et al. **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. São José dos Campos: INPE, 2002. 279 p. (INPE-8984-PUD/62).

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2 ed. atualizada e ampliada. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **3rd ERTS Symposium**, NASA SP-351 I, pp. 309–317, 1973.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. SOUSA, P. A. B. de; BORGES, R. S. T.; DIAS, R. R. (Org.). **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 6. ed. revisado e atualizado. Palmas: Seplan, 2012. 80 p.

SOARES, V. P.; BRITES, R. S.; RIBEIRO, C. A. Á. S. Avaliação da mudança da cobertura em áreas reflorestadas usando razão de bandas de imagens de satélite. **Cerne**, Lavras, v.4, n.1, p.22-34, 1998.

SOARES, V. P. et al. Uso de imagens Landsat-7 ETM+ para o mapeamento de plantações de *Eucalyptus* na região norte de minas gerais. **Floresta**, Curitiba, v.35, n. 1, p. 137-149, jan./abr. 2005.

SOUZA, C. C. de. et al. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no Brasil – uma revisão bibliográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 409-417, out-dez, 2007.

STEFFEN, A. C., MORAES, E. C., GAMA, F. F. **Radiometria óptica espectral**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VIII. Salvador, 14-19. Abr., 1996. Tutorial São José dos Campos. INPE, 1996. 43p.

USGS. United States Geological Survey. **Frequently Asked Questions about the Landsat Missions**. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php. Acesso em 11 mai. 2016.

VERONA, J. D.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANTOS, J. R. dos. Potencialidade das imagens-fração multitemporais TM/Landsat na caracterização de variações fenológicas em área de floresta tropical na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 713-720.

VOGELMANN, J. E.; ROCK, B. N. Assessing forest decline in Coniferus forests of vermont using NS-001 Thematic Mapper simulator data. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.17, p.1303-1321, 1986.