



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Rodrigo Cardoso de Arruda

**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DAS FITOFISIONOMIAS DO CERRADO
NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO JARDIM BOTÂNICO DE BRASÍLIA- DF**

Brasília -DF
Novembro/2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DAS FITOFISIONOMIAS DO CERRADO
NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO JARDIM BOTÂNICO DE BRASÍLIA- DF**

Rodrigo Cardoso de Arruda

Projeto de pesquisa a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para aprovação na disciplina Trabalho Final.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Coorientador: Prof. MSc. Yuri Botelho Salmona

Brasília-DF

Novembro/2018



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DAS FITOFISIONOMIAS DO CERRADO
NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO JARDIM BOTÂNICO DE BRASÍLIA- DF**

Estudante: Rodrigo Cardoso de Arruda

Matrícula: 12/0134713

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Menção: SS

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador

Prof. MSc. Yuri Botelho Salmona
Universidade de Brasília – UnB
Co-orientador

MSc. Thais Jacob Mendes
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Brasília -DF, 29 de novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Ao meu pai Jandir Galvão de Arruda e minha mãe Silvia Cristina Cardoso de Arruda, por serem minha base e meus melhores exemplos de vida.

Aos meus irmãos Priscilla e Rafael, ao meu cunhado Gil e minha namorada Júlia, que me proporcionam momentos de muita alegria, companheirismo e apoio em todos os sentidos.

Aos meus caros Orientador e Coorientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi e Yuri Botelho Salmona, pelo total apoio e paciência.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
2. PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA.....	7
3. OBJETIVOS	7
3.1 Objetivo geral	7
3.2 Objetivos específicos	8
4. REFERENCIAL TEÓRICO	8
4.1 Landsat 8 OLI/TIRS	8
4.2 Espectro Eletromagnético	10
4.3 Comportamento espectral da vegetação	13
4.4 Índice de Vegetação.....	15
5. METODOLOGIA	16
5.1 Área de estudo	16
5.2 Aquisição da Imagem	18
5.3 Blocos do experimento	19
5.4 Amostras	21
5.5 Processamento da imagem	21
5.6 Análise Estatística	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
7. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

Lista de Figuras

Figura 1- Comportamento espectral de alvos ao longo do espectro eletromagnético.....	14
Figura 2- Série histórica de chuvas de 1987 a 2017 no Distrito Federal. Fonte: INMET 2018.	17
Figura 3 – Localização da Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília no Distrito Federal.	18
Figura 4 - Blocos do experimento instalado na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília.....	20
Figura 5 - Fluxograma dos processos metodológicos	23
Figura 6 - Uso do Solo da Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília.....	24
Figura 7 - Localização das mostras das fitofisnomias da Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília.....	24
Figura 8 - Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Campo Limpo.	27
Figura 9 - Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Campo Sujo.....	28
Figura 10 - Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Campo Úmido.....	29
Figura 11- Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Cerrado Ralo.....	30
Figura 12 -Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Cerrado Sentido Estrito.....	31

Lista de Tabelas

Tabela 1- Bandas do satélite Landsat 8 OLI/TIRS.....	10
Tabela 2 - Resultado do teste de Shapiro Wilk	26
Tabela 3 - Resultado do teste de Kruskal Wallis.....	27
Tabela 4 - Resultado do Teste de Dunn para Campo Limpo.....	28
Tabela 5 - Resultado do Teste de Dunn para Campo Sujo.....	29
Tabela 6 - Resultado do Teste de Dunn para Campo Úmido.....	30
Tabela 7 - Resultado do Teste de Dunn para Cerrado Ralo.	31
Tabela 8 - Resultado do Teste de Dunn para Cerrado Sentido Estrito.....	32

RESUMO

Em termos nacionais, o monitoramento da ocupação dos solos do Cerrado é um dos mais difíceis de serem obtidos, principalmente pela sua extensão de cerca de 203 milhões de hectares, pela acentuada sazonalidade, pelo rápido avanço das atividades agrícolas, pela elevada diversidade de fitofisionomias e especialmente pela confusão espectral entre algumas classes de uso antrópico e de vegetação natural. Alguns índices de vegetação, em particular, têm sido utilizados para melhorar e quantificar sinal fotossintético “verde” e permitir significativas comparações espaciais e temporais da atividade da vegetação. Estes índices são efetivamente usados no monitoramento da dinâmica sazonal da vegetação, detecção de mudanças e classificação da cobertura terrestre. No presente estudo, foi comparado o comportamento espectral das principais fitofisionomias do Cerrado localizadas na Estação Ecológica do Jardim Botânico em Brasília-DF utilizando imagem de satélite Landsat 8 OLI/TIRS, verificando diferenças estatísticas da variação do EVI - *Enhanced Vegetation Index* em áreas de fitofisionomias distintas. A área de 4.518 hectares foi separada em 5 blocos, a partir da feição morfológica da paisagem. Foram coletadas amostras da reflectância de todas as diferentes fitofisionomias do Cerrado local, utilizando Sistemas de Informação Geográfica - SIG. O índice foi submetido ao teste de normalidade Shapiro-Wilk, análise de variância Kurskal-Wallis e teste comparações múltiplas de Nemenyi–Damico–Wolfe–Dunn. Os resultados indicam diferenças significativas para o EVI nas fitofisionomias: Campo Limpo, Campo Sujo, Campo Úmido, Cerrado Ralo, Cerrado Denso e Cerrado Sentido Estrito. A única fitofisionomia que apresentou comportamento semelhante em relação ao EVI foi a Mata de Galeria, que pode estar relacionado a variação espectral que tem efeito atenuado neste caso, pois em um pixel só se observa a copa das árvores, recebendo pouca interferência de outros elementos da paisagem, especialmente do solo, que é mais exposto em fitofisionomias com dossel mais aberto.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Landsat-8, Cerrado, EVI - *Enhanced Vegetation Index*.

ABSTRACT

National monitoring of soil occupation of Cerrado is one of the most difficult to obtain, mainly due to its extension of about 203 million hectares, the marked seasonality, the rapid advance of agricultural activities, the high diversity of phytophysionomies and especially by the spectral confusion between some classes of anthropic use and natural vegetation. Some vegetation indexes in particular have been used to improve and quantify "green" photosynthetic signal and allow significant spatial and temporal comparisons of vegetation activity. These indexes are effectively used to monitor the seasonal dynamics of vegetation, changes detection and classification of land cover. In the present study, the spectral behavior of the main Cerrado phytophysionomies located at Jardim Botânico Ecological Station in Brasília-DF was compared, identifying if there is a statistically significant difference between EVI - Enhanced Vegetation Index of areas where there is predominantly the same type of phytophysionomy using Landsat 8 OLI / TIRS satellite image. The area of 4,518 hectares was separated into 5 blocks, from the morphological feature of the landscape. Samples of the reflectance of all the different phytophysionomies of the local Cerrado were collected using Geographic Information Systems - GIS. The index was subjected to the Shapiro-Wilk normality test, Kurskal-Wallis variance analysis and multiple comparisons of Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn test. The results indicate significant differences for EVI in the phytophysionomies: Cerrado grassland, Shrub Cerrado, Wet Field, Wooded Cerrado, Cerrado Woodland and Cerrado Strict Sense. The only phytophysionomy that presented similar behavior with respect to EVI was the Gallery Forest, the reason may be related to spectral confusion that has an attenuated effect in this case, because in a pixel only the tree canopy is observed, there is little interference from other elements of the landscape mainly soil, that appears more in open vegetation.

Palavras-chave: Remote Sensing, Landsat 8, Cerrado, EVI - *Enhanced Vegetation Index*.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km², cerca de 23% do território nacional (MMA, 2018). Além disso, é um dos 35 locais do planeta onde estão concentrados 50% de toda biodiversidade (hotspots), o que evidencia a real necessidade da conservação de suas espécies e das áreas ocupadas pelo bioma (Mittermeier et al., 1999, p. 35).

Em contrapartida o bioma vem sofrendo grande pressão antrópica, segundo o estudo de (Sano et al., 2008). O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) divulgou os resultados do projeto PRODES Cerrado que consiste no mapeamento do desmatamento para toda extensão do Cerrado de 2000 a 2017. Por meio do projeto foi construída uma séria histórica bienal da remoção antrópica da vegetação natural para o período de 2000 a 2012 e anual para os anos de 2013 a 2017. Segundo os dados, para polígonos acima de 1 há houve perda de 7407,91 km² e para polígonos a partir de 6,25 há a área desmatada foi de 6.397,09 km² no ano de 2017. Os anos de 2016 e 2017 tiveram os menores valores desde o começo da séria histórica, indicado diminuição da área desmatada.

Em termos nacionais, o monitoramento da ocupação dos solos do Cerrado é um dos mais difíceis de serem obtidos, principalmente pela sua extensão de cerca de 203 milhões de hectares, pela acentuada sazonalidade, pelo rápido avanço das atividades agrícolas em algumas das suas regiões, pela elevada diversidade de fitofisionomias e pela confusão espectral entre algumas classes de uso antrópico e de vegetação natural por exemplo, Campo Limpo e pastagens cultivadas (Sano, 2005).

Estudos na área de sensoriamento remoto podem contribuir para identificação de padrões de comportamento espectral das fitofisionomias, este padrão ou comportamento espectral de um objeto pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto. Estas diferentes interações é que possibilitam a distinção e o reconhecimento dos diversos objetos terrestres sensoriados remotamente, pois são reconhecidos devido a variação da porcentagem de energia refletida em cada comprimento de onda (De Moraes, 2002).

Segundo os autores (Asner, 1998; Carvalho, 2005), os espectros da vegetação do Cerrado apresentam intensa variação entre os períodos de seca e de chuva, tanto em

relação aos constituintes biofísicos como bioquímicos. Este comportamento temporal da vegetação fornece importantes indícios sobre as fitofisionomias presentes através dos diferentes atributos de fenologia das plantas, como a variação da arquitetura da vegetação, presença de pigmentos na planta, entre outros (DeFries & Townshend, 1994; Latorre et al., 2007). Estas mudanças sazonais provocam respostas espectrais distintas e que podem ser capturadas por sensores remotos e comparadas através de índices de vegetação.

Muitos estudos mostraram a utilidade dos dados de sensoriamento remoto para investigar dinâmica e fenologia da vegetação (Schwartz 1998; Reed et al. 1994; Goward et al. 1994; Zhang et al. 2003). Os índices de vegetação (IV), em particular, têm sido utilizados para melhorar e quantificar sinal fotossintético “verde” e permitir significativas comparações espaciais e temporais da atividade da vegetação. Estes índices são efetivamente usados no monitoramento da dinâmica sazonal da vegetação, fenologia, detecção de mudanças e classificação da cobertura terrestre (Townshend 1994; Price 2003).

A extração e modelagem de parâmetros biofísicos com dados de sensoriamento remoto tem sido feita desde 1960, com grande foco, principalmente, nos índices de vegetação (Jensen, 2009). Esses índices são medidas radiométricas adimensionais que envolvem, geralmente, a relação ou combinação linear de porções do espectro vermelho e infravermelho (Tucker, 1979; Huete et al., 1994; Huete, 1988) e indicam abundância relativa, atividade fotossintética da vegetação verde, índice de área foliar (IAF), cobertura, teor de clorofila, biomassa, radiação fotossinteticamente ativa (Tucker, 1979; Sellers, 1985; Goward; Huemmrich, 2011; Jensen, 2009).

Na presente pesquisa buscou-se analisar a variação de valores estimados do índice de vegetação *Enhanced Vegetation Index*- EVI entre as fitofisionomias do Cerrado que ocorrem na Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília, no Distrito Federal (DF). Este índice é resistente aos efeitos de fundo atmosférico e dos dosséis das árvores, desenvolvido para o monitoramento da vegetação (Huete et al., 1994; Liu e Huete, 1995; Justice et al., 1998) e, por isso, tende a ser mais sensível às reflectâncias no infravermelho próximo (Huete et al., 1997). Segundo estudo de (Ferreira, 2004), o EVI pode ser útil na discriminação de pastagens e cerrado arbustivo, pois possui sensibilidade as sombras que se formam por causa da vegetação.

2. PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA

Devido à grande diversidade do bioma Cerrado, sua vasta extensão territorial e acentuado efeito fenológico, a classificação de sua vegetação por imagens de satélite torna-se imprecisa ao olho humano, principalmente quando de um satélite com resolução espacial moderada como o Landsat 8 que possui resolução espacial de 30 metros nas bandas multiespectrais. Outro fator que dificulta a interpretação das imagens é a confusão espectral entre fitofisionomias com respostas espectrais semelhantes quando observadas através de imagens de satélite.

Fica evidente a importância do desenvolvimento de mais estudos na área de reconhecimento de padrões de comportamento espectral da vegetação do cerrado, assim como contribuições para o entendimento da resposta de diferentes elementos da paisagem, contribuindo para classificar a vegetação deste bioma complexo de maneira mais precisa e automatizada. Inúmeros trabalhos e mapeamentos geram mapas de classificação da vegetação com grande incerteza com relação aos resultados. É muito importante que sejam feitos mais estudos para se conhecer os limites da classificação do Landsat para o mapeamento da vegetação.

Este estudo busca contribuir para identificação e sistematização dos padrões espectrais das fitofisionomias do cerrado na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília- DF, utilizando imagem disponibilizada gratuitamente do satélite Landsat 8. Diante desta problemática, o presente estudo foi norteado pelas seguintes questões de pesquisa: Quais as fitofisionomias do Cerrado observadas na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília? Existe diferença significativa entre o EVI *Enhanced Vegetation Index* entre as várias fitofisionomias do Cerrado observadas na área de estudo? As eventuais diferenças são suficientes para discriminar cada fitofisionomia nas imagens de satélite?

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a variação de estimativas do EVI das fitofisionomias do Cerrado que ocorrem na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília utilizando dados do satélite Landsat 8, com o intuito de diferenciar as diferentes fitofisionomias usando imagens de satélite.

3.2 Objetivos específicos

- Gerar informações para o suporte na discriminação de fitofisionomias do Cerrado que ocorrem na área de estudo;
- Verificar a diferenciação das fitofisionomias na imagem de satélite Landsat 8 da área de estudo.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Landsat 8 OLI/TIRS

Em mais de 40 anos, a série de satélites Landsat fornece o mais longo registro temporal de observação da superfície da terra através de uma base espacial. O Landsat 1 foi lançado em 1972 e foi seguido por uma série consecutiva e temporalmente sobreposta, as séries Landsat (2,3,4,5,6 e 7) que forneceram observações de comprimento de onda reflexivo e térmico de cobertura quase global com crescente fidelidade espectral e espacial. (Lauer, Morain, & Salomonson, 1997; Loveland & Dwyer, 2012; Williams, Goward, & Arvidson, 2006; Loveland, 2013).

A série Landsat foi continuada com o lançamento do Landsat 8 da Base da Força Aérea de Vandenberg na Califórnia no dia 11 de fevereiro de 2013. Este novo observatório Landsat foi desenvolvido através de uma parceria interinstitucional entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e o Departamento do Interior dos EUA através do *United States Geological Survey* (USGS) que é uma agência científica do governo dos Estados Unidos, que faz parte do Departamento do Interior dos Estados Unidos (Irons & Loveland, 2013).

O Landsat 8 transporta dois instrumentos de varredura: o *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS). As bandas espectrais do sensor OLI proporcionam aprimoramento de instrumentos Landsat anteriores, com a adição de duas bandas espectrais adicionais: um canal visível azul profundo (banda 1) projetado especificamente para recursos hídricos e investigação de zona costeira, e um novo canal infravermelho de ondas curtas (banda 9) para a detecção de nuvens cirrus (USGS, 2018).

Os dados dos dois sensores, o *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS), são calibrados para uma incerteza melhor que 5% em termos de refletância no topo da atmosfera ou radiação espectral absoluta, e tendo uma precisão geodésica absoluta melhor que 65 metros de erro circular com 90% de confiança. Os

produtos são entregues como imagens de 16 bits (dimensionados para 55.000 níveis de cinza) (USGS, 2018).

O observatório Landsat 8 opera em uma órbita quase circular, quase polar e síncrona com uma altitude de 705 km no equador. O observatório tem um ciclo de repetição de 16 dias com uma travessia equatorial às 10:11 (+/- 15 min), hora local média durante o nó descendente. Nesta órbita, o observatório Landsat 8 segue uma sequência de trilhas terrestres fixas (também conhecidas como caminhos) definidas pelo segundo Sistema de Referência Mundial (WRS-2). O WRS-2 é um sistema de coordenadas *path / row* usado para catalogar todos os dados de imagens científicas adquiridos dos satélites 4 - 8 do Landsat (USGS, 2018).

Segundo (Ferreira, 2013) imagens Landsat, com uma resolução espacial de 30 m e largura de faixa de 185 km, produziram mapas relativamente precisos da distribuição da área de pastagem sobre o Cerrado e também podem fornecer boas estimativas biofísicas. O estudo de (Li, 2015) também utilizou imagens Landsat, a pesquisa foi voltada para o reconhecimento de padrões espectrais, trabalhou na classificação de culturas baseada em objetos com dados de séries temporais aprimoradas do Landsat-MODIS.

Em um estudo feito por (Simonneaux, 2008), foi utilizado séries temporais de oito imagens Landsat para identificar quatro classes principais (solos descobertos, vegetação anual, árvores em solo nu e árvores em sub-bosque anuais). A série de satélites Landsat tem sido amplamente utilizada no estudo da vegetação por autores em muitos países. Os trabalhos aqui citados, baseiam este estudo na escolha do satélite Landsat 8 para verificar diferenças entre as fitofisionomias do Cerrado na EEJBB.

Tabela 1- Características do sensor OLI do satélite Landsat 8

Bandas Landsat 8 OLI/TIRS	Comprimentos de onda (μm)	Resolução (m)
Banda 1 - Azul distante	0.435 - 0.451	30
Banda 2 – Azul	0.452 - 0.512	30
Banda 3 – Verde	0.533 - 0.590	30
Banda 4 – Vermelho	0.636 - 0.673	30
Banda 5 - Infravermelho Próximo	0.851 - 0.879	30
Banda 6 - Infravermelho de Ondas Curtas 1	1.566 - 1.651	30
Banda 7 - Infravermelho de Ondas Curtas 2	2.107 - 2.294	30
Banda 8 – Pancromática	0.503 - 0.676	15
Banda 9 – Cirrus	1.363 - 1.384	30
Banda 10 - Infravermelho Termal (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Banda 11 - Infravermelho Termal (TIRS) 2	11.5 - 12.51	100

4.2 Espectro Eletromagnético

O Sol constitui-se na mais importante fonte de radiação natural para a Terra; a radiação eletromagnética (REM) é definida como sendo a forma de energia que se move à velocidade da luz, sendo em forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas, não necessitando de um meio material para se propagar no espaço (Rosendo, 2005).

A representação contínua da radiação eletromagnética, em termos de comprimento de onda, frequência ou energia, é denominada espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético é subdividido em faixas que representam regiões com características próprias, em termos de processos físicos de detecção de energia, como pode ser observado a seguir (Rosendo, 2005):

- Raios Cósmicos, raios γ : ($< 0,003 - 0,4 \mu\text{m}$);
- Raios X: ($0,03 - 3,0 \text{ nm}$);
- Ultravioleta: ($0,003 - 0,4 \mu\text{m}$);
- Visível: ($0,4 - 0,72 \mu\text{m}$), azul ($0,45 - 0,50 \mu\text{m}$), verde ($0,50 - 0,54 \mu\text{m}$), vermelho ($0,65 - 0,72 \mu\text{m}$);
- Infravermelho Próximo: ($0,72 - 1,3 \mu\text{m}$);
- Infravermelho Médio: ($1,3 - 4,0 \mu\text{m}$);
- Infravermelho Distante: ($4,0 - 300 \mu\text{m}$);
- Microondas: ($1,0 - 100 \text{ cm}$);
- Ondas de Rádio: ($> 100 \text{ cm}$).

Cerca de 70% da energia solar está concentrada na faixa espectral compreendida entre 0,3 e 0,7 μm e como a atmosfera absorve muito pouco nesta região, grande parte da energia solar atinge a superfície da Terra. Também existem regiões no espectro eletromagnético para os quais a atmosfera é opaca (absorve toda a energia eletromagnética). Na região do ultravioleta e visível, o principal gás absorvedor da energia eletromagnética solar é o ozônio (O_3), o qual protege a terra dos raios ultravioletas que são letais a vida vegetal e animal. Na região do infravermelho os principais gases absorvedores são o vapor d'água (H_2O) e o dióxido de carbono (CO_2) (De Moraes, 2002).

No momento em que a radiação solar incide no topo da atmosfera, parte dessa radiação é espalhada e/ou refletida pelas partículas atmosféricas, outra parte atravessa a atmosfera e atinge o alvo. Ao atingir um objeto, a energia incidente sofre interações com o material que o compõe, podendo ser parcialmente refletida, absorvida e/ou transmitida pelo objeto (De Moraes, 2002). Com o advento da espectrometria imageada, foi possível um avanço nas técnicas de análise espectral de imagens. Muitas dessas técnicas vêm sendo adotadas no processamento de imagens multitemporais com bastante êxito (Adams et al., 1995; Rowan & Mars, 2003; Sabol et al., 2002).

Neste trabalho foi avaliada a reflectância das diferentes fitofisionomias a partir de imagem de satélite Landsat 8 corrigida pelo próprio fabricante. A escolha desta imagem e a utilização de índice de vegetação para melhorar o sinal fotossintético, podem fornecer informações relevantes sobre o comportamento espectral da vegetação, assim como os estudos de: (Ferreira, 2004), (Ratana, 2005), e alguns casos também, utilizando estas ferramenta para estudos sobre ocorrência e dinâmica do fogo como o de (Ferreira, 2013).

Alguns estudos foram dedicados a conhecer os padrões espectrais da vegetação nativa do Cerrado, como o de (Ferreira et al. 2003) que analisou as diversas formações de cerrado no Parque Nacional de Brasília com dados de Dispositivos Espectrais Analíticos (ASD) coletados na plataforma MODIS Land (MODLAND) e em Plataformas de Produtos *Teams Quick Airborne Looks* (MQUALS) na estação chuvosa e estação seca para o ano 2000. Eles juntaram os dados de resolução espectral do Landsat ETM+, Radiômetro Avançado de Alta Resolução (AVHRR) e índices de vegetação MODIS para analisar as propriedades espectrais da estação seca e úmida de várias classes de cerrado.

Ainda segundo o autor, eles encontraram apenas pequenas diferenças nos valores dos índices de vegetação EVI e NDVI entre as fisionomias do cerrado, apesar de uma grande variedade de condições de verde ao longo do ano. No entanto, três grandes formações de Cerrado – Campo Sujo, Cerradão e Mata de Galeria - puderam ser distinguidas usando os dados da estação seca e chuvosa. Apesar de descobrirem que os produtos que se integraram nas bandas Landsat ETM+ eram os mais sensíveis para captar o contraste sazonal seco e úmido das formações de cerrado, eles relataram que os produtos índice de vegetação provenientes do sensor MODIS também seriam adequados para monitorar a dinâmica sazonal do cerrado (Ferreira et al. 2004; Ferreira e Huete 2004). Isso reforça a escolha das imagens Landsat 8 para este estudo, além do uso de índices de vegetação.

A absorção, reflexão e transmissão da energia incidente em um alvo poder ser total ou parcial, guardando sempre o princípio de conservação de energia. A capacidade de um objeto absorver, refletir e transmitir a radiação eletromagnética é denominada, respectivamente, de absorvância, refletância e transmitância, sendo que os valores variam entre 0 e 1, segundo (Rosa, 2003). estes fenômenos são definidos da seguinte maneira:

- Reflectância: É o quociente entre o fluxo de radiação refletido pelo alvo dividido pelo fluxo de radiação eletromagnética incidente, como pode ser observado na equação a seguir:

$$\rho = \frac{\phi_r}{\phi_i} \quad (1)$$

Onde:

ρ = Reflectância; ϕ_r = é o fluxo de radiação refletido; ϕ_i = é o fluxo de radiação incidente.

- Transmitância: o fluxo de radiação transmitido pelo alvo dividido pelo fluxo de radiação incidente, expresso a seguir:

$$\rho = \frac{\phi_t}{\phi_i} \quad (2)$$

Onde: ρ = Reflectância; ϕ_t = Fluxo de radiação transmitido; ϕ_i = Fluxo de radiação incidente.

- Absortância: é a razão entre o fluxo de radiação absorvido pelo alvo dividido pelo fluxo de radiação incidente:

$$\rho = \frac{\phi a}{\phi i} \quad (3)$$

Onde: ρ = Reflectância; ϕa = Fluxo de radiação absorvido; ϕi = Fluxo de radiação incidente.

No caso da EEJBB, o ambiente de vegetação nativa do Cerrado é heterogêneo, apresenta diferentes paisagens e fitofisionomias locais, cada fitofisionomia com comportamentos de reflectância, absortância e transmitância distintos. Estes dados de comportamento espectral podem ser usados para monitorar o Cerrado, facilitando o entendimento de padrões de dinâmica, fenologia e conversão de áreas nativas em áreas antrópicas.

Segundo (Ratana, 2005) o monitoramento do Cerrado é importante para o funcionamento do ecossistema, a dinâmica do carbono e da água e estudos sobre mudanças climáticas. Em sua pesquisa, o autor coletou dados de índice de vegetação EVI e NDVI por um período de 4 anos da área do Parque Nacional de Brasília e Estação Águas Emendadas utilizando o sensor (MODIS) *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* ou Espectroradiômetro de imagens de resolução moderada. As fitofisionomias analisadas as foram: Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado Sentido Estrito e Mata de Galeria.

4.3 Comportamento espectral da vegetação

O comportamento espectral da vegetação no visível é controlado pelos pigmentos de clorofila, carotenóides e xantofila presentes na camada mesófila das folhas. Estes pigmentos, principalmente a clorofila a e b são responsáveis pela forte absorção da radiação nos comprimentos de onda do azul (0.45-0.52 μm) e do vermelho (0.63-0.69 μm) (Knipling, 1970; Curran, 1980; Jensen, 1983). Um relativo pico de reflexão observado em 0.54 μm corresponde à região do verde. Por isso a análise do comportamento espectral pode ser complementar aos mapeamentos, pois contempla informações que podem diferenciar mais profundamente uma vegetação de outra mesmo que sejam muito semelhantes visualmente em imagem de satélite.

A energia refletida no comprimento de onda do infravermelho próximo é bem correlacionada com a quantidade de biomassa produzida pelas plantas. O principal fator que controla a reflectância no infravermelho próximo são os espaços intercelulares presentes na camada mesófila. Segundo (Jensen, 1983) a vegetação verde e sadia reflete nesta região do espectro, cerca de 45 a 50% da energia que chega. O restante da energia (outros 45 a 50%) é praticamente transmitido para as camadas inferiores ou adjacentes do dossel. Essas variáveis podem contribuir para a identificação de padrões de comportamento espectral, que pode auxiliar a validação de mapeamentos.

Na região do infravermelho de ondas curtas (1.3 a 2.5 μm) a vegetação verde possui novamente uma baixa reflectância da energia. Este intervalo é controlado pela concentração de água no tecido que ocorre com maior intensidade em 1.4, 1.9 e 2.7 μm (Jensen, 1983). Essa faixa do espectro fornece informação com utilidade além da classificação da vegetação se expandindo para o estudo da fenologia da vegetação.

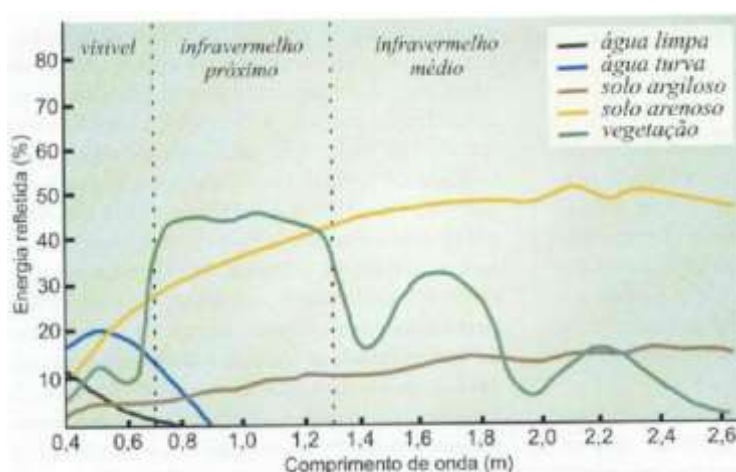


Figura 1- Comportamento espectral de alvos ao longo do espectro eletromagnético.

Fonte: (Florenzano, 2002).

No trabalho de (Ferreira,2004) sobre caracterização ótica das fitofisionomias do Cerrado brasileiro, o autor observou em seus resultados, que os valores de refletâncias da pastagem nativa do Cerrado como Campo Limpo, Campo Sujo, foram maiores que para as outras espécies arbóreas do Cerrado, embora a pastagem tivesse a menor quantidade de cobertura verde. Isso pode ser atribuído as maiores quantidades de vegetação senescente no pasto altamente refletivas na faixa do visível, bem como proporções de sombras nos tipos mais arborizados do Cerrado.

O autor teve como objetivo medir as propriedades ópticas e biofísicas dos principais tipos de cobertura do Cerrado. Investigando a discriminação da cobertura terrestre através da análise de espectros de resolução fina, espectros convoltos (bandas MODIS) e índices de vegetação. Ele observou que o EVI classificou corretamente os 71 % do total das amostras dos cinco principais tipos de cobertura encontrados no Parque Nacional de Brasília, que seriam: Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado Sentido Estrito, Cerradão e Mata de Galeria.

4.4 Índice de Vegetação

Os índices de vegetação são operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, permitindo determinar a cobertura vegetal e a sua densidade (Cruz et al., 2011). Segundo Moreira (2000), tais índices são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, usualmente, a do vermelho e a do infravermelho próximo, cuja operação matemática obtém um valor adimensional. No caso do EVI *Enhanced Vegetation Index*, ou Índice de Vegetação Melhorado, seu intervalo varia de 0 a 1, onde os valores mais próximos de 1 representam maior acúmulo de biomassa. Já o NDVI *Normalized Difference Vegetation Index*, ou índice de vegetação de diferença normalizada, varia de -1 a 1 onde 1 representa maior acúmulo de biomassa.

De maneira geral, o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho, enquanto que o EVI é mais sensível à variação da estrutura do dossel, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (Gao et al., 2000; Huete et al., 2002). Uma peculiaridade inerente ao NDVI é sua rápida saturação, o que o torna pouco sensível à detecção de variações no aumento da biomassa vegetal a partir de uma determinada fase de crescimento das plantas (Asrar et al., 1984).

Por outro lado, o EVI foi desenvolvido para promover a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (Justice et al., 1998). Além disso, alguns trabalhos sugerem que o EVI apresenta substancial melhora na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI, principalmente em áreas de maior densidade de biomassa como fitofisionomias florestais (Huete et al., 2002).

O estudo de Huete et al (2002) trata da eficácia do EVI frente ao NDVI, comparando os valores encontrados para cada índice em todas as áreas de acúmulo de biomassa terrestre, os autores observaram que os valores de EVI foram inferiores aos de

NDVI. Isto ocorreu devido à redução do efeito de saturação presente no NDVI, corroborando para a eficácia do EVI com relação ao NDVI,

O EVI se apresenta como um índice mais adequado para o estudo do Cerrado da EEJBB, área que possui maior parte de sua vegetação sendo Cerrado Ralo, Cerrado Sentido Estrito, que são vegetações que não formam dossel fechado. Segundo (Ferreira, 2004) o índice pode ser útil na discriminação de pastagens e Cerrado arbustivo, pois possui sensibilidade as sombras que se formam por causa da vegetação. Limitações, no entanto, existem como resultado de influências atmosféricas e diferenças entre os substratos (Huete, 1988).

A baixo é apresentada a equação utilizada no estudo. As constantes C1 e C2 são os coeficientes de resistência atmosférica; L é um fator de correção de brilho fundo de dossel; e G é o fator de ganho (Huete et al., 2002). Essa equação foi aplicada para cada ponto amostral utilizando seus respectivos valores de reflectância e as constantes da fórmula.

$$EVI = \frac{G(PIVP - PV)}{PIVP + C1*PV - C2*PA + L} \quad (4)$$

Onde: PIVP = Valores de Reflectância na banda do Infravermelho Próximo; PV = Valores de Reflectância na banda do Vermelho PA = Valores de Reflectância na banda do Azul; G = 2,5; L = 1; C1 = 6; C2 = 7,5

5. METODOLOGIA

5.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília - EEJBB, localizada no DF entorno das coordenadas 15°53'2.54" Sul e 47°50'46.80" Oeste. O Jardim Botânico de Brasília foi criado com 526 hectares, que foram ampliados para 4.518 hectares pelo decreto Nº 10.994 de nove de abril de 1987. Em 1990, propôs-se a criação da Estação Ecológica na área anexada ao JBB em 1987. A EEJBB foi criada pelo Decreto Nº 14.422 de 26 de novembro de 1992 e ampliada pelo Decreto nº 17.277 em 1996.

O Jardim Botânico de Brasília juntamente com a Reserva Ecológica do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e a Fazenda Água Limpa (FAL Universidade de Brasília), somam área de aproximadamente 10.000 hectares na porção sudeste de Brasília, que compõe a Área de Proteção Ambiental-APA do Gama-Cabeça-

de-Veado e a Reserva da Biosfera do Cerrado, uma das últimas áreas contínuas que compõem os cerca de 46% de vegetação nativa remanescente no DF (Fonseca, 2004).

A área possui diferentes fitofisionomias do Cerrado, desde Campo Limpo, Campo Sujo, Campo Úmido, Cerrado Denso, Cerrado Ralo, Cerrado Rupestre, Cerrado Sentido Estrito, Cerradão, Mata de Galeria e Vereda. Sendo as fitofisionomias mais representativas: Cerrado Ralo, Cerrado Sentido Estrito, Campo Limpo e Campo Úmido com respectivamente, 36%, 20%, 15% e 10% da área total coberta pela fitofisionomia.

Segundo o estudo de (Fonseca, 2004) o clima do Cerrado no JBB enquadra-se na classificação de Köppen entre os tipos “Tropical de savana” (AW) e “Temperado Chuvoso de Inverno Seco” (CWA), segundo (Felfili et al. 1994) é caracterizado marcadamente pela existência de duas estações: uma chuvosa e quente, que se prolonga de outubro a abril, e outra, fria e seca, de maio a setembro, com pluviosidade média em torno de 1.600 mm por ano.

A seguir na Figura 2 é apresentado o gráfico das precipitações médias mensais de 1987 a 2017, os dados foram coletados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Estes são provenientes da Estação: 83377 BRASILIA–DF localizada na Latitude: -15.78 Longitude: -47.93 e altitude: 1159.54m. No *software* Excel 2016 foi calculada a média geral da precipitação ao longo da série histórica de 30 anos para cada mês, assim como para as temperaturas.

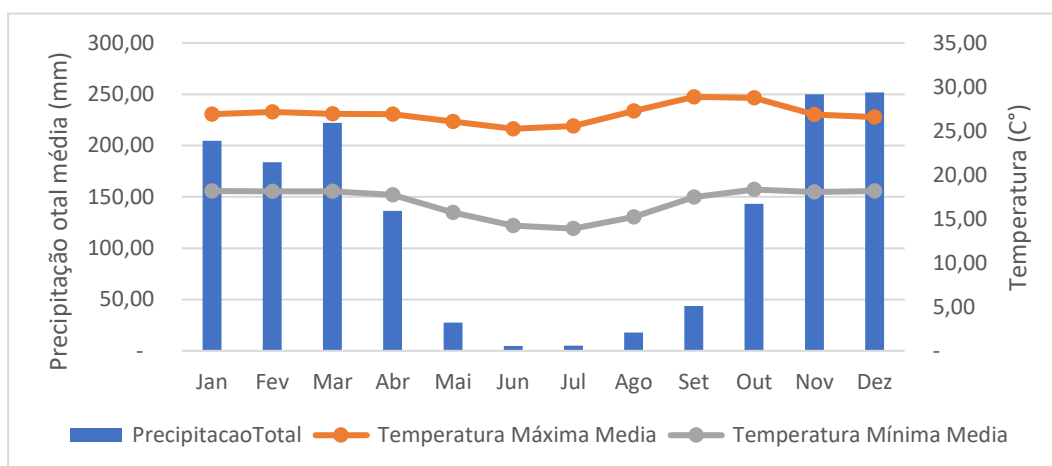


Figura 2– Série histórica de chuvas de 1987 a 2017 no Distrito Federal. Fonte: INMET 2018.

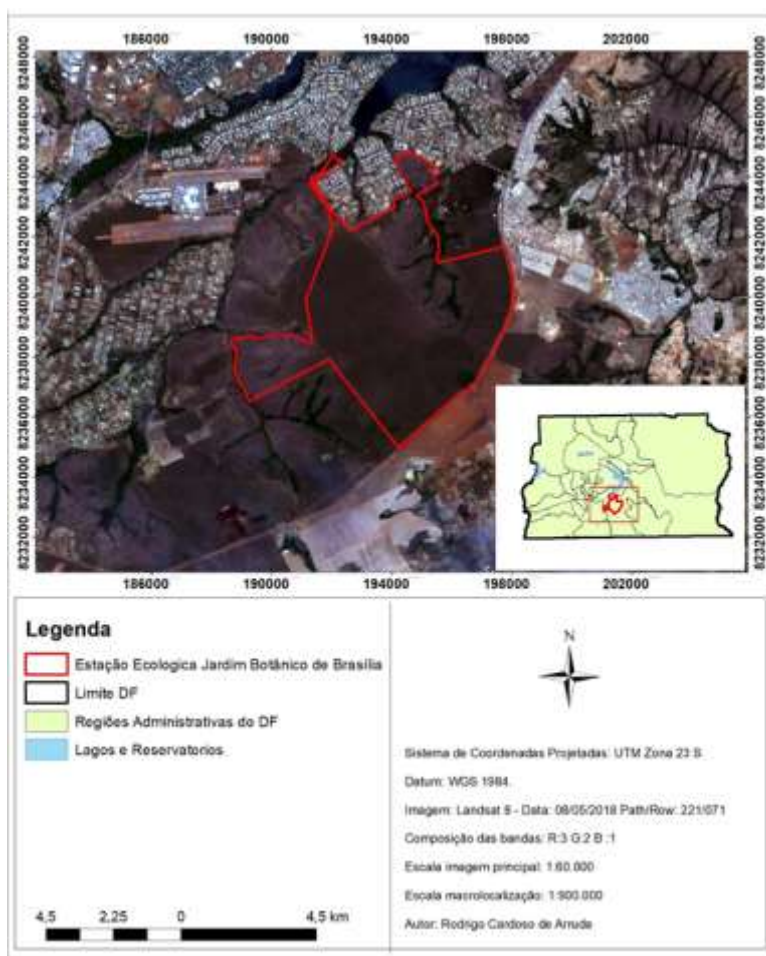


Figura 3 – Localização da Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília no Distrito Federal.

5.2 Aquisição da Imagem

Com o intuito de comparar o EVI das fitofisionomias do Cerrado, foi adquirida uma imagem do satélite Landsat 8 OLI/TIRS *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), do dia 8 de Maio de 2018 *Path*: 221 e *Row*: 071, nível 2 de processamento (Reflectância no Topo de Atmosfera -TOA) na data de 17 de Maio de 2018, disponibilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos.

A imagem em Reflectância no Topo da Atmosfera foi obtida gratuitamente. Esse tipo de produto do Landsat é qualificado como nível 2 e pode ser solicitado a partir de produtos de dados Landsat Coleção 1 através do endereço eletrônico: <https://espa.cr.usgs.gov> (Acesso em: 18/06/2018 hora: 22:21) do Serviço Geológico dos Estados Unidos USGS, ligado ao *Earth Resources Observation and Science* (EROS) e ao *Center Science Processing Architecture* (ESPA).

Segundo o USGS, os coeficientes de calibração das imagens Landsat são aplicados aos números digitais Landsat para derivar o componente TOA, usando ângulos solares por pixel derivados da banda 4 (o mais próximo do centro do plano focal). A utilização de produtos TOA é uma vantagem técnica pois dispensa o uso de métodos de correção atmosférica e radiométrica, que podem alterar os dados originais de reflectância capturados na imagem original, o que pode causar distorções indesejadas nos resultados observados.

5.3 Blocos do experimento

Foram definidos 5 blocos (A, B, C, D e E) neste estudo. No bloco A foi identificado uma área de depressão onde há ocorrência de Mata de Galeria e em volta uma região com vegetações mais rasteiras como Campo úmido, Campo Sujo, Campo Limpo e Cerrado Ralo. A altitude do solo na região da Mata é em média 1080 metros a cima do nível do mar. A grande presença de espécies rasteiras, é indicativo de que o solo nesta região não é tão profundo quanto na região de mata, podendo haver diferentes manchas de solo dentro deste bloco.

No bloco B, o relevo observado tem ondulação acentuada comparado com o bloco A. É possível identificar altitude de até 1160 metros acima do nível do mar, porém possui parte com depressões onde há a continuidade da Mata de Galeria presente também no bloco A, assumindo valores de altitude de 1095 metros acima do nível do mar. Possui ainda na parte mais baixa, região de brejo com predominância de solos encharcados.

A região do bloco C, observou-se alguns pontos a maior altitude da EJJBB chegando a 1170 metros a cima do nível do mar, esta região possui Cerrado Sentido Restrito, Cerrado Denso e Cerrado Ralo, esse tipo de vegetação é indicativo de solo profundo, o que pode sugerir a presença de Latossolo vermelho ou Latossolo vermelho-amarelo.

No bloco D, observou-se semelhança ao bloco C das fitofisionomias Cerrado Ralo, Cerrado Sentido Restrito e Cerrado Denso e altitude média em torno de 1160 metros a cima do nível do mar. O bloco E possui a área de menor altitude da EEJBB. Foi verificado valor de aproximadamente 1045 metros acima do nível do mar em alguns pontos. Foi possível identificar áreas de Vereda, cuja ocorrência condiciona-se ao afloramento de reservatório subterrâneo de água. Também há na área: Campo Limpo, Campo Úmido, Brejo, algumas manchas de Cerrado Rupestre e Cerrado Sentido Estrito.

A divisão da área da EEJBB em 5 blocos foi realizada no *software* ArcGIS 10.2.2 conforme a figura 5. O objetivo foi garantir que as diferenças internas das fitofisionomias sejam detectadas e avaliarmos suas interferências através de testes estatísticos. O critério para a divisão da área foi a feição morfológica da paisagem que proporciona certa heterogeneidade principalmente com relação ao relevo, formando diferentes regiões dentro da unidade de conservação.

Essa operação foi feita a partir do *shapefile* da vegetação nativa da EEJBB (Salmona e Arruda et al, no prelo), foi categorizado na tabela de atributos cada polígono entre um dos 5 blocos com base na sua localização. Este mapeamento foi feito na escala 1:10.000 com imagem do satélite Spot 3 e validação de campo. Este mapa foi um dos critérios para a divisão da área de estudo pois permitiu observar as diferenças morfológicas ao longo da área, principalmente com relação as fitofisionomias.

A EEJBB apresenta relevo ondulado e diferentes classes de solo, que moldam a paisagem local, embora este estudo não tenha sido dedicado a compreender de maneira mais profunda essa gama de características locais como solos e topografia, que de fato influenciam diretamente na predominância dos diferentes tipos de fitofisionomias, foi realizada a diferenciação visual da paisagem em blocos com auxílio da ferramenta perfil de elevação do Google Earth Pro e com base nas visitas a campo.

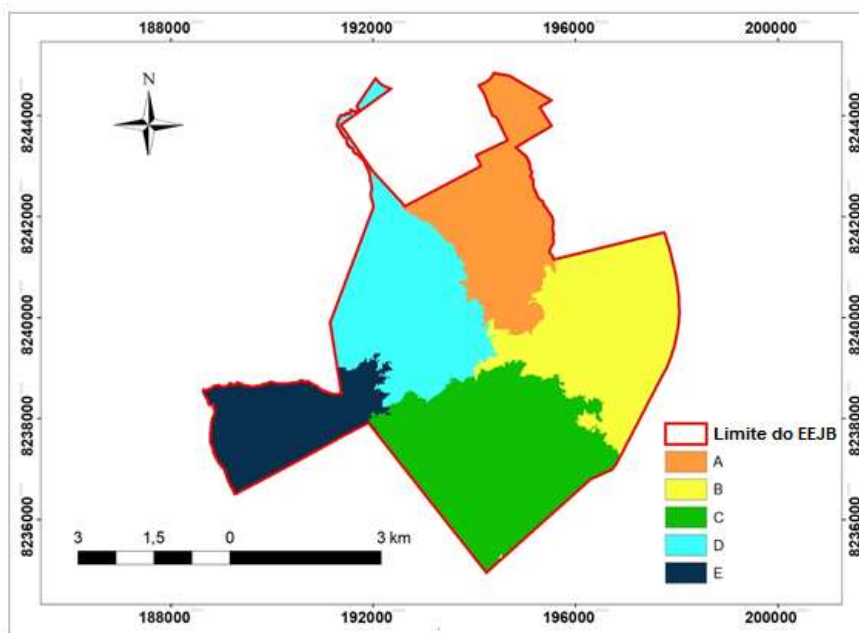


Figura 4 - Blocos do experimento instalado na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília

5.4 Amostras

Subsequentemente, foram criadas amostras de todas as fitofisionomias da EEJBB através da técnica de bordeamento, utilizada para não ocorrer interferência da reflectância de outras classes vegetativas, sendo capturadas somente áreas núcleo das feições de vegetação nativa, para isso foram feitas amostras circulares de tamanho entre 1 e 2 hectares em formato *shapefile* utilizando como referência o mapa de uso e classificação do solo da EJB (Salmona e Arruda et al, no prelo), apresentado na figura 5, uma vez que este mapa possui validação de campo.

5.5 Processamento da imagem

A imagem de satélite foi processada no *software* ArcGIS 10.2.2 onde passou pelo procedimento (*Composite Bands*). Em seguida foi realçada a imagem da vegetação pela composição: 5- vermelho, 4- verde e 3- azul. Os *shapes* geoprocessados estão no sistema de coordenadas da imagem de satélite landsat 8 OLI/TIRS, no caso o sistema de coordenadas é UTM 23 S e Datum: WGS 1984.

No passo seguinte, o *shape* de cobertura do solo da EEJBB (Figura 5) foi transformado em arquivo tipo *raster*, utilizando a ferramenta (*Polygon to raster*), para isso foi utilizado no campo de valor as classes de vegetação, o tamanho selecionado para cada célula foi de 30 metros que corresponde ao tamanho do pixel das imagens das bandas multiespectrais do landsat 8 OLI/IRS, o resultado é a feição da EEJBB agora em formato *raster* classificada com relação a suas vegetações. Foi utilizada a ferramenta (*Extract by mask*), para extrair da EEJBB *raster* as amostras em seu formato circular como desenhado em *shape* mas em formato *raster* carregando as informações sobre classe vegetativa.

Em seguida essas amostras em formato *Raster* foram transformadas em *shapefile* de pontos com uso da ferramenta (*Raster to Point*). O intuito é capturar a assinatura espectral de cada ponto amostral gerado, cada um representa um pixel da imagem e todos estarão classificados quanto a qual bloco pertencem e a qual classe vegetativa. Na figura 7 são apresentados os pontos amostrais na EEJBB em escala 1:60.000 mostrando a abrangência da amostragem e em detalhe 1:4.000 estão as amostras dentro de cada pixel.

Utilizou-se a ferramenta (*Extract Multi Value Point*), com os seguintes dados de entrada: Os pontos amostrais e a imagem de satélite em Reflectância Topo de Atmosfera empilhada com a sequência de bandas: 5- vermelho, 4- verde e 3- azul, para realçar a vegetação. A partir desta imagem *raster* finalmente foram capturados os valores de

reflectância no topo da atmosfera de cada ponto amostral de cada fitofisionomia para as bandas 2,3,4,5,6,7 e 9.

Foi necessário realizar a divisão dos valores de reflectância encontrados para cada banda para cada ponto amostral por 10.000 conforme descrito no guia do produto Landsat-8 *surface reflectance code (lasrc) product*. Os valores retornados de reflectância para cada banda variam de 0 a 1. Com os respectivos dados foi possível calcular o índice de vegetação EVI. O fluxograma a seguir resume as operações realizadas:

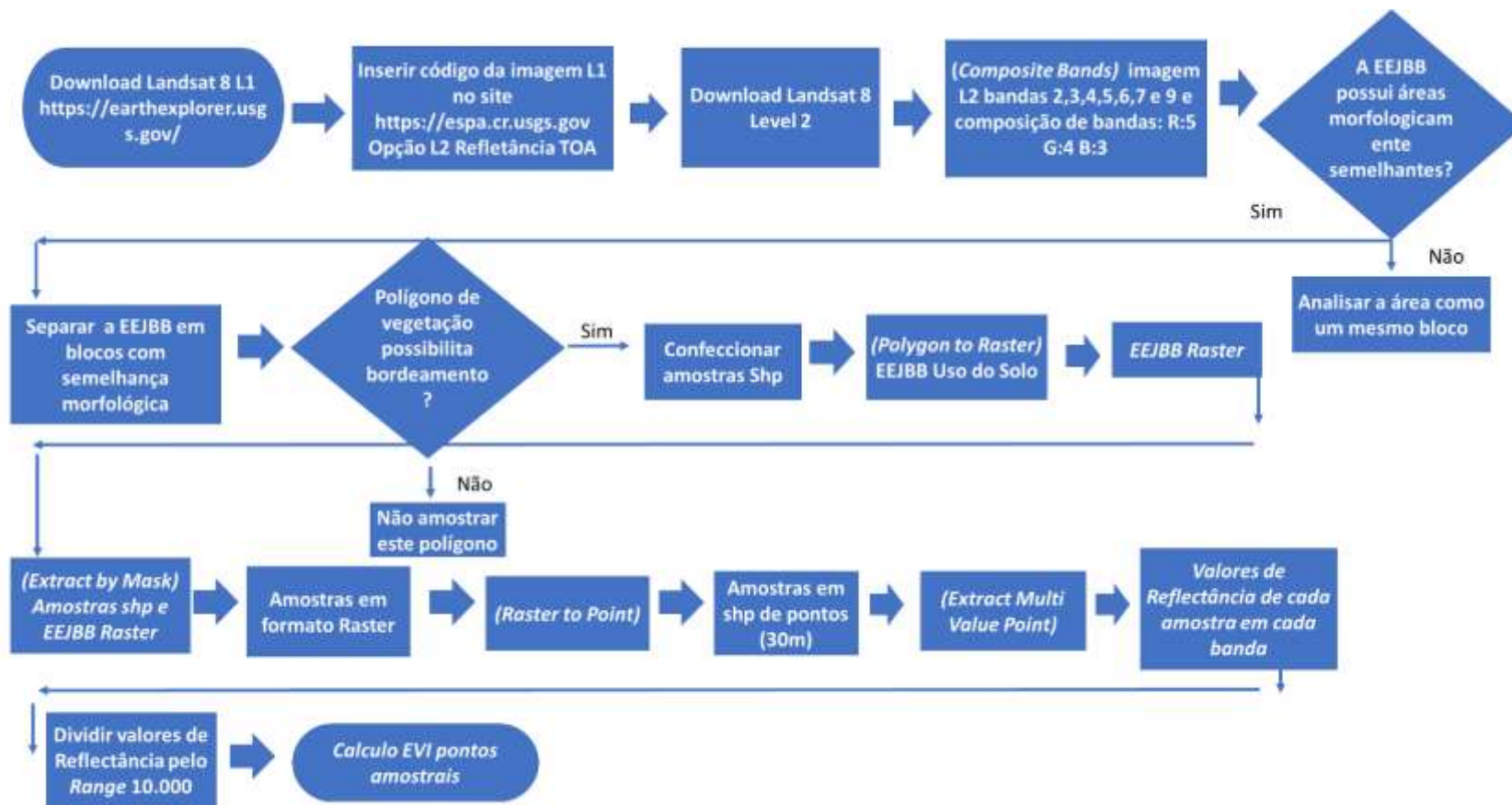


Figura 5 - Fluxograma dos processos metodológicos

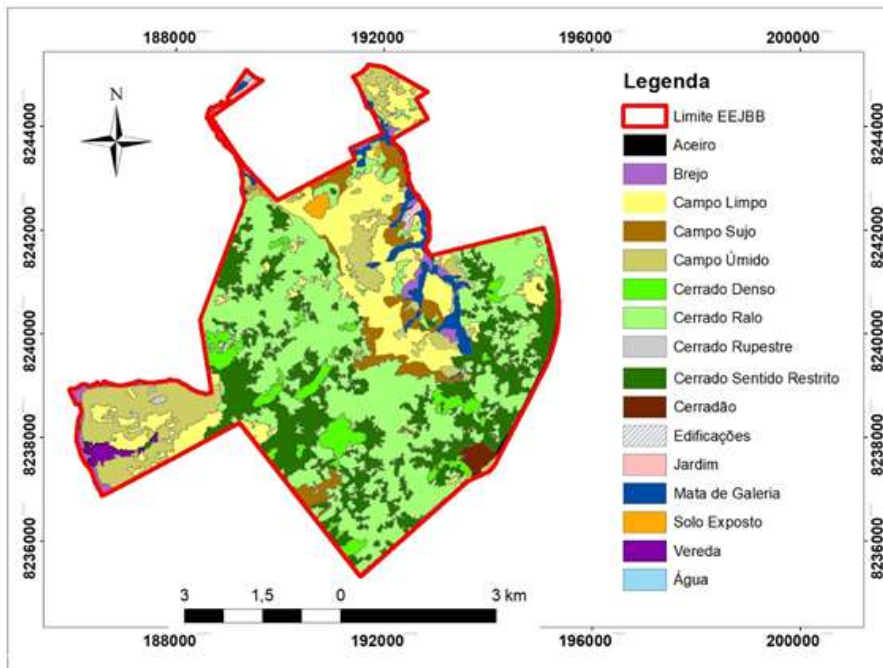


Figura 6 - Uso do Solo da Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília. Fonte: (Salmona, Arruda et al, no prelo)

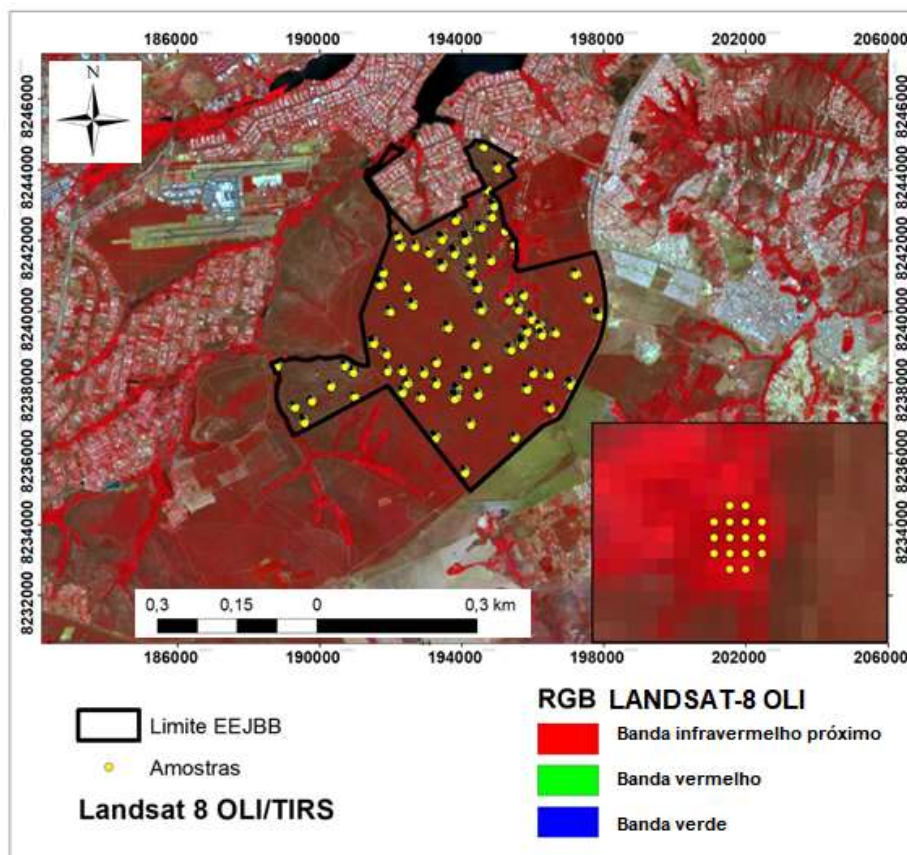


Figura 7 - Localização das mostras das fitofisionomias da Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília-DF.

Na figura 7 é apresentado o mapa de localização dos pontos amostrais das fitofisionomias do Cerrado da EEJBB ao longo da área, a imagem utilizada é do satélite Landsat 8 OLI/TIRS de 12 de outubro de 2017, *Path/Row*: 221/071, a composição das bandas é: R:5 G:4 B:3. Essa composição foi escolhida para realçar a vegetação, pois a vegetação sadia reflete intensamente os comprimentos de onda da banda do infravermelho (banda 5). Em cada ponto amostral foi coletado os valores de reflectância do seu respectivo pixel em cada banda da imagem (2,3,4,5,6,7 e 9).

5.6 Análise Estatística

Considerando cada fitofisionomia como um fator cujos níveis estão relacionados aos blocos analisados (A, B, C, D e E), foi aplicada a análise de variância para comparar os “efeitos” de cada vegetação no EVI verificado. Para isso, foi utilizado o Software R. Além disso, o experimento é desbalanceado, ou seja, possui diferente quantidade de amostras para cada bloco. Primeiro para verificar a normalidade dos dados será aplicado o teste Shapiro-Wilk, proposto em 1965.

A fim de comparar os diferentes blocos presentes em cada tipo de vegetação foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis (1952), que é um teste não paramétrico utilizado para comparar uma população K maior que 2. Cada uma das observações é ranqueada e substituída pela sua classificação, ou seja, as observações são dispostas em ordem crescente atribuindo-se ao menor valor a classe 1 e ao maior a maior classe N. Em seguida é feita a soma das classes para cada uma das amostras. O teste de Kruskal-Wallis determina se estas somas são significativamente diferentes entre elas, caso sejam diferentes, isso indica que as observações não se originam da mesma população.

Apesar do teste Kruskal-Wallis ser robusto e confiável ele detecta apenas se duas populações k apresentam valores da variável em questão diferentes entre si, mas não serve para separar o comportamento de cada bloco, discriminando quais são distintos e quais são semelhantes. Por isso complementarmente foi realizado o equivalente ao teste de Tukey, mas para casos não paramétricos, o teste de múltiplas comparações de Nemenyi–Damico–Wolfe–Dunn (1964).

O autor desse teste propôs um procedimento de etapa única que é baseado em conjuntos de rankings de observações de todos os tratamentos. Este procedimento é chamado teste de Dunn, a mecânica é testar se os pares de mediana são significativamente

distintos usando um teste que compara os ranks médios, não as somas de ranks dispostas em ordem de grandeza (Dmitrienko, A. et al 2007).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do teste de normalidade de Shapiro-Wilk indica que todas as fitofisionomias analisadas referentes a imagem de satélite utilizada neste estudo não apresentam normalidade em relação aos seus valores de índice EVI, conforme resultado na Tabela 2. Trabalhando com avaliação dos efeitos no cálculo de EVI com dados de reflectância no topo da atmosfera e de superfície por meio de imagens RapidEye corrigidas, (Carvalho, 2015) constatou que alguns alvos apresentaram comportamento estatístico de uma distribuição normal. Isso provavelmente em virtude da pequena dimensão da cena em que se coletaram as amostras estudadas, onde há restrições para a variação dos locais de coleta. Contudo a distribuição total foi não paramétrica, rejeitando-se, portanto, a hipótese inicial de normalidade.

Tabela 2 - Resultado do teste de Shapiro Wilk. Em destaque o p-valor para todas as fitofisionomias que foi menor que 0,05. Podemos afirmar com nível de significância de 5% que as amostras de todas as fitofisionomias analisadas não constituem uma população com distribuição normal.

Vegetações	Campo Úmido	Campo Limpo	Campo Sujo	Cerrado Denso	Cerrado Ralo	Cerrado Sentido Restrito	Mata de Galeria
W-crítico	0.90668	0.97075	0.97647	0.98346	0.96216	0.94348	0.97432
p-valor	4.05e-09	1.112e-05	0.009362	0.03325	7.731e-07	3.585e-08	0.02827

Foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis devido o resultado do teste de normalidade Shapiro-Wilk indicar que os dados são não normais. O teste Kruskal-Wallis indicou que pelo menos dois blocos de todas as fitofisionomias analisadas apresentam valores de EVI estatisticamente diferente, pois apresentaram p-valor menor que 0,05, resultado descrito na tabela 3. Apesar de constatar que há diferença significativa entre dois blocos de cada vegetação, o teste não serve para comparações múltiplas por tanto não se pode inferir quais blocos são diferentes e quais são iguais em casos que a vegetação apareça em mais de dois blocos.

Tabela 3 - Resultado do teste de Kruskal Wallis. Repare como o p valor da Mata de Galeria foi a única fitofisionomia que assumiu valor maior que 0,05. Podemos afirmar com nível de significância de 5% que essa fitofisionomia possui dados de EVI significativamente similares nos seus dois blocos de ocorrência. Enquanto que todas as outras possuem dados de EVI significativamente distintos entre si.

Vegetações	Campo Úmido	Campo Limpo	Campo Sujo	Cerrado Denso	Cerrado Ralo	Cerrado Sentido Restrito	Mata de Galeria
Chi-Quadrado KW	50.061	136.22	12.645	23.696	14.45	73.971	3.7905
p-valor	1.347e-11	< 2.2e-16	0.001796	1.128e-06	0.002353	6.022e-16	0.05155

Em seguida foi feito o teste de comparações múltiplas equivalente ao teste de Tukey só que para casos não paramétricos, o teste de Nemenyi–Damico–Wolfe–Dunn. Os resultados são apresentados nas tabelas 4 a 8. É importante salientar que, quando o *boxplot* não for apresentado para determinado bloco, é porque aquele bloco não foi coletado naquela vegetação em específico.

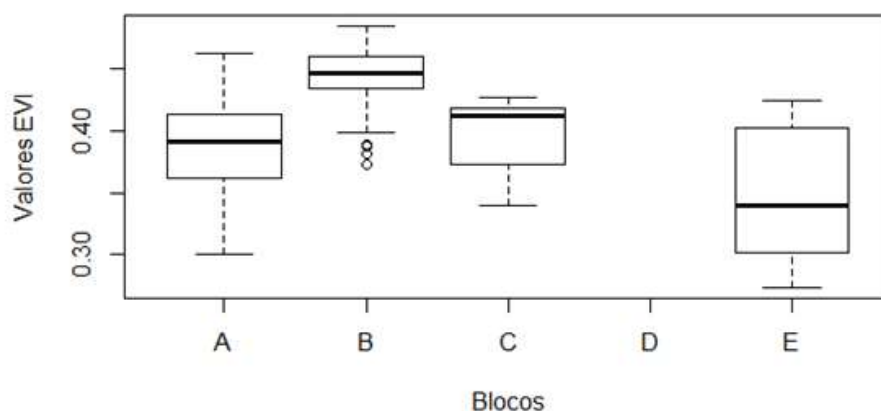


Figura 8 - Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Campo Limpo.

O resultado do teste de Dunn para o Campo Limpo é expresso na Tabela 4 e Figura 8. A fitofisionomia em questão apresentou metade dos blocos com índice significativamente distintos para um alfa de 5 %. O EVI foi significativamente similar nos blocos A-C. Observe que o P valor apresentou valor maior que 0,05 somente para a comparação dos blocos A-C. Os P-valores menores do que o nível de significância de

0,05 apareceram para as comparações A-B, A-E, B-C, B-E e C-E estes valores indicam que há significativa diferença entre estes blocos.

Isso pode estar relacionado com as diferentes manchas de solo da EEJBB que proporcionam o estabelecimento de vegetações predominantemente distintas, alterando significativamente os valores de EVI para cada bloco. Segundo o trabalho de (Junior, 2015), que objetivou descrever a fenologia interanual e estrutura do dossel de fitofisionomias do Cerrado por meio de mistura linear espectral e índices de vegetação, o Campo Limpo, Cerrado Denso e Cerrado Sentido Estrito foram melhor caracterizado pela combinação da vegetação e frações do solo.

Tabela 4 - Resultado do Teste de Dunn para Campo Limpo. Observe que o P valor apresentou valor maior que 0,05 na comparação entre o bloco A-C e que nenhum outro bloco apresentou valores maiores que 0,05. Podemos inferir a um nível de significância de 5 % que os blocos A-C possuem significativa similaridade com relação aos valores de EVI amostrados.

Grupos comparados	A-B	A-C	A-E	B-C	B-E	C-E
Valor crítico	-	-	3.759540	4.555281	10.28004	2.843331
p-valor corrigido (Bonferroni)	0	1	0.0005	0	0	0.0134

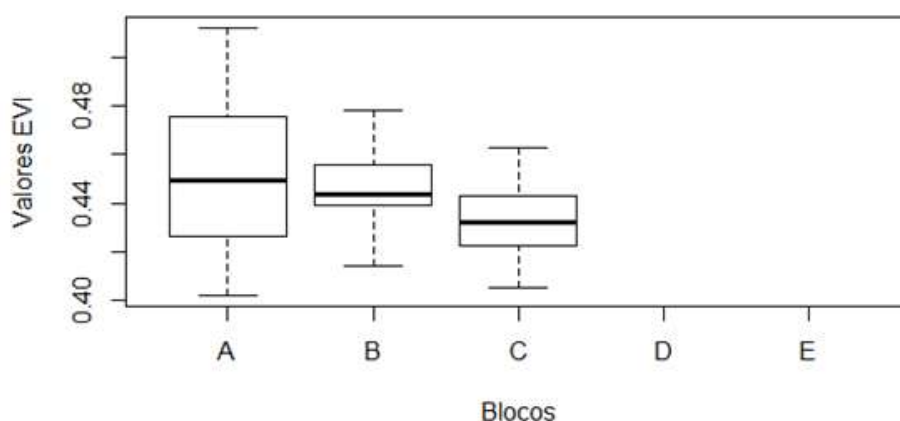


Figura 9 - Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Campo Sujo.

Para a fitofisionomia Campo Sujo os blocos A e B apresentaram os valores de EVI similares estatisticamente, enquanto que o bloco C apresentou valores

significativamente distintos. Conforme a tabela 5, é possível verificar que o P valor foi maior que 0,05 para a comparação A-B, enquanto que para todas as outras comparações, não obteve nenhum p valor maior que 0,05, isso indica que somente os blocos A e B possuem EVI significativamente similares.

Essa resposta pode estar relacionada a maior similaridade morfológica entre os blocos A e B em termos de solo e vegetação principalmente. Nesses dois blocos se observa presença de brejo, o que pode estar influenciando em uma predominância de espécies vegetais semelhantes nas duas regiões. Já a região C apresenta maior altitude e sem presença de solo hidromórfico.

Tabela 5 - Resultado do Teste de Dunn para Campo Sujo. Repare que os únicos blocos com p valor maior que 0,05 são os blocos A-B que assumiram valor igual a um. Podemos inferir através do teste, que o EVI possui significativa similaridade nestes dois blocos e comportamento significativamente distinto com relação ao bloco C para um alfa de 5 %.

Grupos comparados	A-B	A-C	B-C
Valor crítico	-0.064169	3.273903	3.232371
p-valor corrigido (Bonferroni)	1	0.0016	0.0018

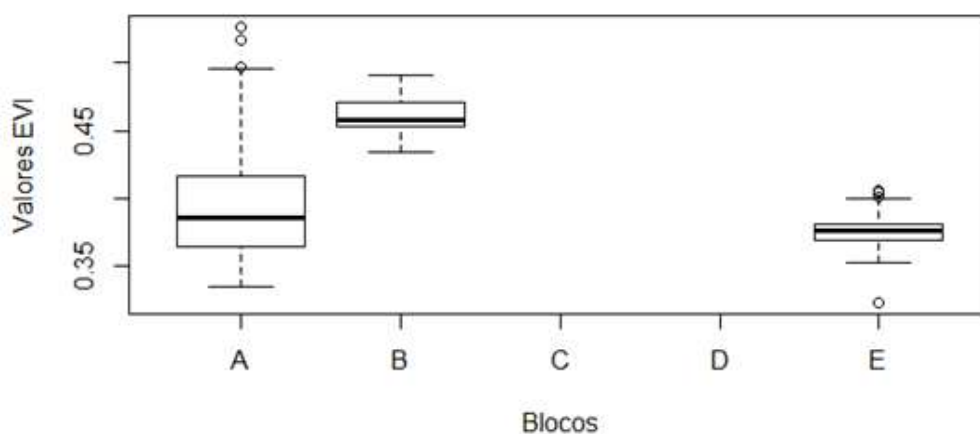


Figura 10 - Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Campo Úmido.

Para a fitofisionomia Campo Úmido o teste de Dunn indica que os blocos A-E possuem valores de EVI significativamente similares para um alfa de 5 %. Já o bloco B apresenta significativa disparidade. Estes resultados corroboram com a similaridade

morfológica dos blocos A e E verificadas através do mapa de uso do solo da EEJBB (Salmona, Arruda et al, no prelo) na Figura 6.

Ambos os blocos estão localizados em regiões de baixa altitude da EEJBB, com solos hidromórfico, presença de veredas, Campo Úmido e Campo Limpo. (Ratana, 2005) verificou para quatro áreas de Cerrado examinadas, dentre elas, Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado Sentido Estrito, exibiram perfis NDVI e EVI sazonais bem pronunciados, com os maiores valores na estação úmida e os menores valores na estação seca. Em comparação, o presente estudo foi realizado somente para maio período seco, desta maneira é válido que estudos futuros com os dados aqui encontrados sejam feitos observando o comportamento ao longo do ano, ou através de série temporal mais ampla. Além de comparar as fitofisionomias entre si.

Tabela 6 - Resultado do Teste de Dunn para Campo Úmido. Podemos inferir a um nível de significância de 5 % que os blocos A-E possuem significativa similaridade com relação aos valores de EVI amostrados, pois seu p valor de 0,0833 é maior do que o nível de significância adotado. Para o bloco B houve significativa discrepância com relação aos demais blocos.

Grupos comparados	A-B	A-E	B-E
Valor crítico	-6.062804	1.914890	6.951317
p-valor corrigido (Bonferroni)	0	0.0833	0

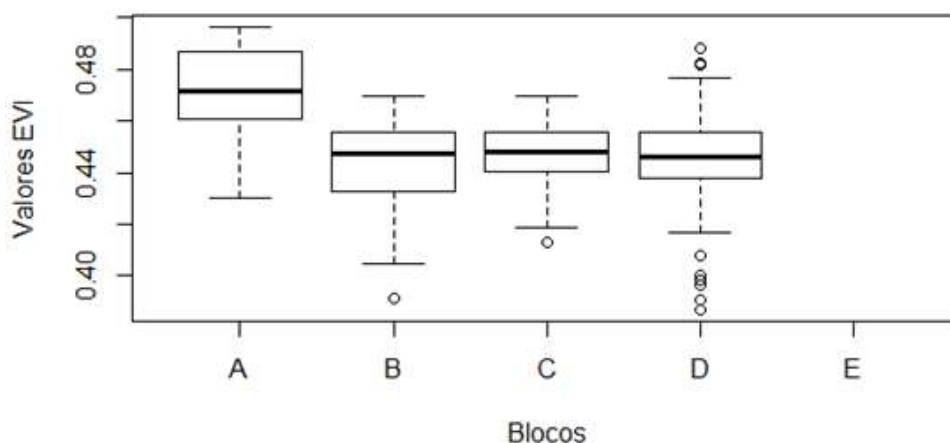


Figura 11- Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Cerrado Ralo.

O Cerrado Ralo obteve comportamento de EVI muito similar com relação aos seus blocos, de um total de quatro blocos onde se encontram esta fitofisionomia, apenas um obteve EVI significativamente distinto dos demais, para um alfa de 5%, conforme é mostrado na Figura 11, apenas o bloco A está discrepante da variação das medianas dos demais. No estudo de (Ratana, 2005) foram identificadas muitas das fisionomias lenhosas, incluindo cerrado arbustivo, cerrado arborizado e bosque de cerrado, tinham perfis sazonais que eram mais difíceis de distinguir em ambos os perfis de EVI e NDVI.

Tabela 7 - Resultado do Teste de Dunn para Cerrado Ralo. Note que para as comparações B-C, B-D e C-D o P valor assumiu valor igual a 1, maior que o nível de significância de 5 % enquanto que para as comparações A-B, A-C e A-D todas obtiveram p valor menor do que 0,05 indicando que o bloco A possui significativa diferença quanto ao EVI em relação aos demais blocos B, C, D.

Grupos comparados	A-B	A-C	A-D	B-C	B-D	C-D
Valor crítico	3.338764	3.394712	3.724668	-0.730285	-0.333032	0.739710
p-valor corrigido (Bonferroni)	0.0025	0.0021	0.0006	1	1	1

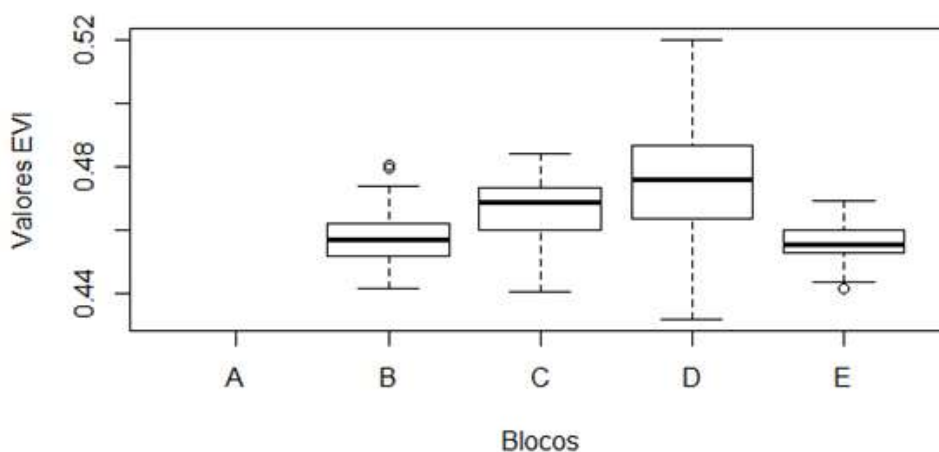


Figura 12 -Box Plot do resultado do Teste de Dunn para Cerrado Sentido Estrito.

No caso da fitofisionomia Cerrado Sentido Estrito, o teste descrito na Tabela 8 indica que os blocos B-E apresentaram valores de EVI significativamente similares para um alfa de 5%, assim como os blocos C-D que obtiveram entre eles significativa similaridade. Estes 4 blocos B-E e C-D formam dois grupos com valores de EVI significativamente distintos entre eles. Estes resultados corroboram com o de (Ratana,

2005) que encontrou pouco contraste em relação a séries temporais do comportamento do EVI para o Cerrado Sentido Estrito na Estação Águas Emendadas localizada em Brasília, assim como para Mata de Galeria. Para estas duas fitofisionomias as medidas normalizadas de contraste encontradas pelo autor, apresentaram padrões semelhantes em todos os locais, com valores de contraste de EVI excedendo significativamente os valores de contraste de NDVI.

Tabela 8 - Resultado do Teste de Dunn para Cerrado Sentido Estrito. Note que os blocos B-E e C-D apresentaram comportamento do EVI significativamente similares, pois seus p valores foram maiores que o nível de significância de 5%. Enquanto que as comparações B-C, B-D, C-E e D-E obtiveram valores de EVI abaixo do nível de significância.

Grupos comparados	B-C	B-D	B-E	C-D	C-E	D-E
Valor crítico	-4.924060	-7.479889	0.481792	-2.099231	4.230843	6.071702
p-valor corrigido (Bonferroni)	0	0	1	0.1074	0.0001	0

As vegetações Cerrado Denso e Mata de Galeria, não precisaram passar pelo Teste de Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn, pois possuíam apenas dois grupos para comparação. O teste de Kruskal Wallis foi o suficiente para dizer que o Cerrado Denso possui em seus dois blocos C e D valores significativamente distintos estatisticamente de EVI e que a Mata de Galeria possui em seus blocos A e B valores de EVI significativamente similares.

No estudo de (Ratana et al, 2005) dentre as quatro fisionomias de cerrado avaliadas, as áreas de pastagem do cerrado apresentaram os menores valores de índice de vegetação e maior contraste sazonal, enquanto os de floresta de cerrado apresentaram os maiores valores e menor contraste. Ou seja, a fitofisionomia Mata de Galeria não é facilmente discriminável através de perfis temporais índices de vegetação. O autor verificou que as classes de cerrado mais lenhosas são menos distinguíveis pelo EVI.

No estudo de (Bayma, 2005) o autor cita a dificuldade de classificar corretamente as fitofisionomias do Cerrado através de índice de vegetação devido a variação do índice, entre as formações florestais, savânicas e campestres ser gradativa e com sobreposição. Este fato é reflexo da própria transição gradual entre as diferentes fitofisionomias do

Cerrado: Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado Ralo, Cerrado Típico, Cerrado Denso e Cerradão, da menor para a maior densidade de biomassa do dossel. Por causa dessa passagem gradual, a identificação da fitofisionomia correta não é tarefa simples, mesmo em nível de campo.

7. CONCLUSÃO

Foi possível identificar diferença estatística significativa entre o EVI de uma mesma fitofisionomia localizada em áreas diferentes dentro da EJJBB utilizando dados de Reflectância Topo de Atmosfera de uma imagem Landsat-8 e índice EVI. A Mata de Galeria foi a única fitofisionomia que apresentou semelhança estatística em todos os seus blocos, A e B. É provável que houve a diminuição do efeito da confusão espectral causada pela presença de vegetação com dossel fechado, que limita os sensores do satélite de capturarem a reflectância do solo e outros alvos abaixo do dossel, assim como a própria limitação do índice EVI verificado por outros autores.

O Cerrado Denso foi a única fitofisionomia que não teve nenhum bloco com valores semelhantes de EVI. Essa diferença pode ter sido provocada pela composição de grupos distintos de espécies em cada bloco, o que leva a uma diferente resposta espectral em cada bloco. A imagem de satélite e índice EVI foram analisadas somente para o período seco e foram eficientes para notar diferenças internas às fitofisionomias mais abertas como: Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Úmido, reconhecendo mais diferenças significativas internas do que as fitofisionomias mais arbóreas como Cerrado Ralo, Cerrado Sentido Estrito, Cerrado Denso e Mata de Galeria.

Estes dados poderão ser utilizados como base para alocação de parcelas em campo, gerando economia de recursos e tempo. Para estudos futuros que venham a realizar amostragem em campo na EEJBB com voos de drone por exemplo, este trabalho servirá como base, identificando áreas prioritárias para se amostrar cada fitofisionomia, priorizando a escolha de blocos com diferenças significativas de EVI e já para as fitofisionomias que neste estudo apresentaram blocos com EVI significativamente similares, o número de parcelas em campo poderá ser reduzido a somente uma parcela dentre os blocos com comportamento de EVI significativamente similares.

Recomenda-se estudos adicionais utilizando as imagens de satélite Landsat 8 sensor OLI e índices EVI para identificar as capacidades e limitações dessas ferramentas

na discriminação de fitofisionomias do Cerrado. O próximo passo para este estudo será a comparação do comportamento do EVI entre as fitofisionomias e ao longo de uma série temporal para verificar a adequação do sensor OLI e índice EVI. Se os resultados apresentarem comportamento de EVI significativamente diferente entre as fitofisionomias será um indicativo que essas ferramentas são consideradas adequadas para diferenciar as fitofisionomias do Cerrado nestas condições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams JB, Sabol DE, Kapos V, Almeida Filho R, Roberts A, Smith Mo & GILLESPIE AR. 1995. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, 52: 137-154

Asrar, G., M. Fuchs, E. T. Kanemasu, and S. L. Hatfield, 1984: Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agron. J.*, 76, 300–30, R. B. Myneni, and B. J. Choudhury, 1992: Spatial heterogeneity in vegetation canopies and remote sensing of absorbed photosynthetically active radiation: A modeling study. *Remote Sens. Environ.*, 41, 85–103.

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

Carvalho APF. 2005. Estudo de características foliares de espécies de lenhosas de cerrado e sua relação com os espectros de reflectância. Dissertação de mestrado, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 126 p.

Carvalho, Alexandre Assis; de Mello Baptista, Gustavo Macedo. Influência da correção atmosférica na conversão dos dados de radiância para reflectância para o cálculo do evi em imagem Rapideye. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 67, n. 7, 2015.

Curran, Paul. Multispectral remote sensing of vegetation amount. *Progress in physical geography*, v. 4, n. 3, p. 315-341, 1980.

De Moraes, Elisabete Caria. Capítulo 1 Fundamentos de Sensoriamento Remoto. 2002.

Defries RS & Townshend JRG. 1994. NDVI-derived land cover classifications at a global scale. *International Journal of Remote Sensing*, 5(17): 3567–3586.

Dmitrienko, Alex et al. Tree-structured gatekeeping tests in clinical trials with hierarchically ordered multiple objectives. *Statistics in medicine*, v. 26, n. 12, p. 2465-2478, 2007.

Felfili, J. M.; Filgueiras, T. S.; Haridasan, M.; Silva Júnior, M. C.; Mendonça, R. & Rezende, A. V. 1994. Projeto biogeografia do bioma Cerrado: vegetação e solos. *Cadernos de Geociências do IBGE* 12: 75-166.

Ferreira, L. G. et al. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). *Remote Sensing of Environment*, v. 87, n. 4, p. 534-550, 2003.

Ferreira, L. G. et al. Optical characterization of the Brazilian savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. *Journal of Arid Environments*, v. 56, n. 3, p. 425-447, 2004.

Ferreira, Laerte G. et al. Biophysical characteristics and fire occurrence of cultivated pastures in the Brazilian savanna observed by moderate resolution satellite data. *International journal of remote sensing*, v. 34, n. 1, p. 154-167, 2013.

Florenzano, Tereza Gallotti. *Imagens de satélites para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

Gao, X.; Huete, A. R.; Ni, W.; Miura, T. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. *Remote Sensing of Environment*, n. 74, p. 609–620, 2000.

USGS - United States Geological Survey. 2018. Landsat Missions. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-8>>. Acesso em: 22 de agosto de 2018; Horário: 13:01

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2018. O Bioma Cerrado. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em 17 de novembro de 2018; Horário: 15:00

Huete, Alfredo R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

Huete, A.R., Justice, C.O., Liu, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment* 49, 224–234. Irons, J. R., & Loveland, T, 1994.

Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; van Leeuwen, W. A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ*, n.59, p.440-451, 1997.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, n. 83, p. 195-213, 2002.

Jensen, John R. Biophysical remote sensing. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 73, n. 1, p. 111-132, 1983.

Justice, C.O., Vermote, E., Townshend, R.D., Roy, D.P., Hall, D.K., Salomonson, V.V., Privette, J.L., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, R.B., Knyazikhin, Y., Running, S.W., Nemani, R.R., Wan, Z., Huete, A.R., van Leeuwen, W.J.D, Wolfe, R.E., Giglio, L., Muller, J., Lewis, P., Barnsley, M.J. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 36 (4), 1–22. 1998.

Junior, Antonio Felipe Couto et al. Fenologia e estrutura do dossel de fitofisionomias do Cerrado descritas pelo modelo de mistura linear espectral e índices de vegetação. 2015.

Loveland, J.R. Eighth Landsat satellite becomes operational. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 79, 398–401. 2013.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação Geral de Observação da Terra. TerraBrasilis. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 17 novembro. 2018.

Knipling, Edward B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote sensing of environment*, v. 1, n. 3, p. 155-159, 1970.

Latorre ML, Carvalho Júnior OA, Santos JR & Shimabukuroye. Integração de dados de sensoriamento remoto multi resoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação o e classificação por árvores de decisão. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25(1): 63–74. 2007.

Lauer, D. T., Morain, S. A., & Salomonson, V. V. (1997). The Landsat program: Its origins, evolution, and impacts. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 831–838

Loveland, T. R., & Dwyer, J. L. (2012). Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment*, 122, 22–29.

Li, Qingting et al. Object-based crop classification with Landsat-MODIS enhanced time-series data. *Remote Sensing*, v. 7, n. 12, p. 16091-16107, 2015.

Liu, H.Q., Huete, A.R., 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 33, 457–465.

Moreira, R. da C. Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação. São José dos Campos. 181p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) -INPE, 2000.

Mittermeier, R. A.; MYERS, N.; GIL, P. R.; Mittermeier, C. G. Hotspots: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. Conservation International and Agrupacion Sierra Madre (Cemex), Monterrey, Mexico, 1999.

Price, J. C: Comparing MODIS and ETM+ data for regional and global land classification. *Remote Sens. Environ.*, 86, 491–499. 2003.

Reed, B., J. Brown, D. Vanderzee, T. R. Loveland, J. W. Merchant, and D. Ohlen, 1994: Measuring phenological variability from satellite imagery. *J. Veg. Sci.*, 5, 703–714.

Ratana, Piyachat; Huete, Alfredo R.; Ferreira, Laerte. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal–temporal domain. *Earth Interactions*, v. 9, n. 3, p. 1-22, 2005.

Rosendo, J. dos S. Índices de Vegetação e monitoramento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Araguari - Mg - utilizando dados do Sensor Modis. Dissertação de Mestrado, defendida pelo Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. 131 p., 2005.

Rosa, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto, Uberlândia: EDUFU, 5ª Ed. 238 p., 2003.

Rowan LC & Mars JC. 2003. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment*, 84: 350-366.

Y.B. Salmona e R.C. Arruda. Mapeamento de uso e cobertura do solo da Estação Ecológica do Jardim botânico, Yuri Salmona e Rodrigo Cardoso, SBSR, no prelo.

Sabol DE, Gillespie AR, Adams JB, Smith Mo & Tucker CJ. 2002. Structural stage in Pacific Northwest forests estimated using simple mixing models of multispectral images. *Remote Sensing of Environment*, 80: 1-16.

Sano, Edson Eyji; Ferreira, Laerte Guimarães. Monitoramento semidetalhado (escala de 1: 250.000) de ocupação de solos do Cerrado: considerações e proposta metodológica. *Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, v. 12, p. 3309-3316, 2005.

Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito J. L.; Ferreira, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 1 (153-156), 2008

Sellers, P. J. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *Int. J. Remote Sens.*, 6,1335–1372. 1985

Simonneaux, V.; Duchemin, B.; Helson, D.; Er-Raki, S.; Oliosio, A.; Chehbouni, A.G. The use of high-resolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated area in central Morocco. *Int. J. Remote Sens.* 29, 95–116. 2018.

Williams, D. L., Goward, S., & Arvidson, T. Landsat: yesterday, today, and tomorrow. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(10), 1171–1178. (2006).