



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Monitoramento sazonal e recuperação pós-fogo da vegetação do Cerrado usando dados do sensor MODIS

Estudante: Greison Moreira de Souza, matrícula 09/95606

Orientador: Prof. Dr. Helen da Costa Gurgel

Co-Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Projeto de pesquisa apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília-DF, junho de 2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Monitoramento sazonal e recuperação pós-fogo da vegetação do Cerrado usando dados do sensor MODIS

Estudante: Greison Moreira de Souza, matrícula: 09/95606

RG: 5384881 SSP-GO

CPF: 037172071-05

Linha de pesquisa: Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação.

Orientador: Prof. Dr. Helen da Costa Gurgel

Co-Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Projeto de pesquisa apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília- DF, junho de 2014

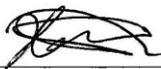
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Monitoramento sazonal e recuperação pós-fogo da vegetação do
Cerrado usando dados do sensor MODIS**

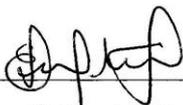
Estudante: Greison Moreira de Souza, matrícula 09/95606

Menção: SS

Aprovado por:



Prof. Dr. Helen da Costa Gurgel - UnB/IH (Orientadora)



Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi - UnB/ EFL



Dr. Pierre Mazzega – Instituto IRD

Brasília, junho de 2014

iii

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e de me permitir vivê-la com saúde, alegria, amor e paz.

Aos meus pais Dulcimar e Vardeli pelo amor e ensinamentos que me transmitiram em todos os momentos da minha vida, ao incentivo que me deram ao deixar minha cidade natal (Porangatu) para seguir nos estudos e que ainda me apoiam em todos os meus projetos para alcançar os meus objetivos.

À minha família, em especial meus tios Antônia e Luiz que me acolheram nos primeiros momentos em Brasília.

Aos analistas ambientais do IBAMA Giovana Bottura, Guilherme Destro, Jailton Dias e Carolina Abreu que me agraciaram com a primeira oportunidade de estágio. Agradeço por abrirem um novo horizonte e terem feito eu me identificar mais com a Engenharia Florestal num momento tão inicial da graduação.

Ao Eng. Civil Bruno Costa que acreditou no meu potencial e me deu oportunidade de colaborar ativamente nos projetos da empresa R3 Engenharia e Consultoria, período de grande amadurecimento e aprendizado.

Aos Eng. Florestais Eduardo Felizzola e Rogério Vereza da Greentec Tecnologia Ambiental que também me proporcionaram oportunidade de estar diretamente ligado aos projetos da empresa, período de grande crescimento profissional.

À Universidade de Brasília que me proporcionou a oportunidade desta formação acadêmica, além de me contemplar com a residência estudantil, auxílios para participar de eventos científicos.

Ao Prof. Dr. Niro Higuchi por meio do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) que me agraciou com uma vaga no curso de Manejo Florestal, oportunidade que me proporcionou conhecer a Amazônia e umas das vivências mais extraordinárias da graduação.

Ao Prof. Dr. Eraldo Matricardi pelas orientações e apoio ao longo da graduação, sempre se mostrou disposto a esclarecer dúvidas e me ajudar com paciência, aos ensinamentos passados, a amizade. Obrigado por ter contribuído tanto para a minha formação acadêmica na área de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

À Prof. Dr Helen Gurgel que acreditou neste trabalho e no meu potencial e compartilhou comigo e o Dr. Pierre Mazzega este grande desafio. Agradeço imensamente a atenção, o carinho, a paciência e os ensinamentos transmitidos.

Ao Dr. Pierre Mazzega que também acreditou neste trabalho e contribuiu imensamente sem medir esforços para a realização deste trabalho. Obrigado pelas suas importantes contribuições, conhecimento transmitido e paciência.

Aos amigos e primos que tornaram essa trajetória mais divertida com os momentos de descontração. Aos conselhos e incentivos nos momentos mais difíceis.

Por fim, agradeço a todos por terem contribuído para eu alcançar o título de Engenheiro Florestal. Além disso, contribuíram para eu ser um Engenheiro Florestal com base sólida e com grandes vivências acadêmicas.

RESUMO

O bioma Cerrado no Distrito Federal (DF) tem importantes formações nativas protegidas por unidades de conservação. No entanto, o bioma no DF é altamente ameaçado devido à expansão urbana. O Cerrado brasileiro apresenta forte contraste sazonal entre a estação seca e a estação chuvosa, a marcante sazonalidade climática exerce forte influência na fenologia da vegetação. O fogo no Cerrado é outra variável que exerce também forte influência na dinâmica do Cerrado. Os efeitos do fogo sobre a vegetação do Cerrado é um processo complexo e ainda está em amplo debate no meio científico. O presente estudo tem como objetivo caracterizar o comportamento sazonal das formações savânicas e campestres do Cerrado no Distrito Federal, relação entre os índices de vegetação (NDVI e EVI) e a precipitação pluviométrica e também a recuperação do vigor da vegetação pós-fogo com o uso de sensoriamento remoto. Selecionaram-se áreas dentro de unidades de conservação sem registro de incêndios e com registro de incêndios. Para construção das séries temporais foram utilizados os índices de vegetação NDVI e EVI do MOD13Q1 acoplado ao sensor MODIS/TERRA. As imagens datam do período de 2000 a 2012, de 250 m a cada 16 dias. Os espectros do NDVI e EVI foram obtidos após a confecção do cubo multitemporal 3D. Os dados de precipitação pluvial foram extraídos das estações de Brasília (1547004) e Taquara (1547013) com dados mensais de 2000 a 2012. A análise da sazonalidade com os índices de vegetação foi estudada somente nas áreas de referência, ou seja, sem queimadas. A transformada de Fourier foi empregada para separar os dados em componentes de diferentes frequências, ou seja, identificar os ciclos sazonais completos. Adicionalmente, foram elaborados gráficos de perfis sazonais e anomalias do NDVI e EVI que é a diferença entre a média mensal de cada ano e a média mensal de todo o período em estudo. O monitoramento pós-fogo foi realizado em áreas com registros de queimadas e em áreas de referência. A transformada de Fourier possibilitou verificar que no Cerrado do DF um ciclo sazonal completo é compreendido em um ano, representado pelo período seco e o período chuvoso. Os dados do MODIS delinearão satisfatoriamente o forte contraste sazonal da vegetação do Cerrado. Verificou-se que a correlação entre o NDVI com a precipitação nas áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais é maior com dois (2) meses de atraso, para o EVI a maior correlação foi no mês corrente até um (1) mês de atraso. Para o NDVI a quantidade de dias pós-fogo necessários para recuperação das áreas de Cerrado sentido restrito foi em média de 100 e 94 dias em áreas de Campos naturais. Para o EVI em Cerrado sentido restrito foi de 105 dias e 102 dias para áreas de Campos naturais. Os dados do MODIS foram adequados para monitorar a recuperação do vigor da vegetação pós-fogo. Os resultados mostraram o potencial da recuperação das taxas fotossintéticas e vigor da vegetação pós-fogo, no entanto, devem-se atentar os danos à fauna, flora e a beleza cênica.

ABSTRACT

The Cerrado biome in the Distrito Federal (DF) has important portions of native vegetation protected for protected areas. However, the biome in DF is highly threatened by urban expansion. The Brazilian Cerrado has a strong seasonal variation from the dry season and the rainy season, the seasonality exert strong influence on vegetation phenology. The fire in the Cerrado is another variable that also strongly influences the dynamic of the Cerrado. The effects of fire on vegetation of the Cerrado is a complex process and still wide discuss in the scientific process. The present study aims to characterize the seasonal behavior of the Cerrado in the Distrito Federal, relationships between vegetation indices (NDVI and EVI) and the rainfall and also the recovery force of post-fire vegetation using remote sensing. We selected areas within protected areas with and without record of fires. We used vegetation index NDVI and EVI of MOD13Q1 from MODIS / TERRA to construction of the time series. The images are from the period 2000-2012, of 250 m every the 16 days. The spectra of NDVI and EVI were obtained after making the 3D cube multitemporal. The rainfall data were extracted from Brasilia (1547004) and Taquara (1547013) stations with monthly data from 2000 to 2012. The analysis of seasonality with the vegetation index was studied only in reference areas. The Fourier transform was used to separate the data into components of different frequencies, in other words, to identify the complete seasonal cycles. Additionally, we elaborate graphics of seasonal profiles of NDVI and EVI and also graphics of anomalies which is the difference between the monthly average each year and monthly average for the entire period under study. The post-fire monitoring was made in areas with records of fires and reference areas. Through the Fourier transform were possible to verify that the Cerrado of DF has a full seasonal cycle in a year, represented by the dry season and the rainy season. The MODIS data satisfactorily defined the strong seasonal contrast of vegetation. We found that the correlation between the NDVI and precipitation in areas of Cerrado sentido restrito and Campos naturais is greater with two (2) months of delay, for the EVI was the highest correlation between the current month up to one (1) month of delay. The number of days required to the NDVI recover post-fire of the areas of Cerrado sentido restrito showed averaged 100 and 94 days in areas of Campos naturais. The number of days required to the EVI recover post-fire of the areas of Cerrado sentido restrito showed averaged 105 and 102 days in areas of Campos naturais. The MODIS data were adequate to monitor the recovery force of post-fire vegetation. The results showed the potential recovery of photosynthetic rates and vigor of vegetation post-fire, however, fire may cause permanent damage to flora, fauna and scenic beauty.

SIGLAS

ACP - Análise de Componentes Principais

ANA - Agência Nacional de Águas

AVHRR - *Advanced Very High Resolution Radiometer*

CP - Componente Principal

DF – Distrito Federal

EEJ – Estação Ecológica do Jardim Botânico

EEU – Estação Ecológica da UnB

EOSDIS - *Earth Observing System Data and Information System*

ETM+ - *Enhanced Thematic Mapper Plus*

EVI - *Enhanced Vegetation Index*

GDF – Governo do Distrito Federal

HDR - *High Dynamic Range*

IAF – Índice de Área Foliar

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*

PNB – Parque Nacional de Brasília

RBC – Reserva Biológica da Contagem

REM – Radiação Eletromagnética

SAD - *South American Datum*

TM - *Thematic Mapper*

UC – Unidade de Conservação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 O bioma Cerrado	17
3.2 O fogo na vegetação do Cerrado.....	20
3.3 Sensoriamento remoto como ferramenta para o estudo da vegetação	22
3.4 Sensor MODIS	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 Localização da área de estudo.....	32
4.1 Mapeamento dos incêndios florestais – Silva (2010)	37
4.2 Obtenção e tratamento dos dados.....	38
4.3 Padrão sazonal e precipitação	40
4.4 Análise da recuperação pós-fogo	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1 Padrão sazonal da vegetação do Cerrado no DF.....	43
5.2 Dinâmica dos incêndios florestais.....	64
6 CONCLUSÃO	79
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do Brasil com a localização do bioma Cerrado.	17
Figura 2 – Representação das fitofisionomias do Cerrado brasileiro.	18
Figura 3 - Curva de reflectância típica de uma folha verde sadia.	23
Figura 4 - Caracterização do NDVI, NDVI varia de -1 a 1, quanto mais próximo de 1 maior é o vigor da vegetação.	29
Figura 5 – Imagens NDVI e EVI da América do Sul com resolução espacial de 500 m no período de 25 de junho a 10 de julho de 2000.	31
Figura 6 - Localização das unidades de conservação no DF que tiveram áreas selecionadas para o presente estudo.	33
Figura 8 - Áreas selecionadas no Parque Estadual de Brasília e Reserva Biológica da Contagem localizadas ao norte do DF.	35
Figura 9 - Áreas selecionadas na Estação Ecológica da UnB e na Estação Ecológica do Jardim Botânico localizadas ao sul do DF.	36
Figura 7 - Árvore de Decisão construída no ENVI 4.5 e executada na classificação das cicatrizes de fogo.	38
Figura 10 - Imagem do cubo 3D relativo à série temporal NDVI e EVI do sensor MODIS.	39
Figura 11 - Esquema hipotético do cálculo do período necessário para recuperação do vigor da vegetação após um período seco e/ou pós-fogo. A: ponto onde o índice de vegetação se recuperação do evento; B: ponto com menor índice de vegetação ocasionado pelo evento.	41
Figura 12 – Sinais periódicos das séries temporais dos índices NDVI e EVI do MODIS a partir da transformada de Fourier. A - NDVI nas áreas de SS (Cerrado sentido restrito) e CN (Campos naturais); B - EVI nas áreas de SS e CN.	43
Figura 13 - Perfil sazonal do NDVI em áreas de Cerrado sentido restrito (SS) representado pela média mensal do NDVI de todo o período em estudo (2000 a 2012) (média climatológica) e a média mensal de cada ano (média).	45
Figura 14 - Perfil sazonal do NDVI em áreas de Campos naturais (CN) representado pela média mensal do NDVI de todo o período em estudo (2000 a 2012) (média climatológica) e a média mensal de cada ano (média).	45
Figura 15 - Diferença da média mensal do NDVI de toda a série histórica estudada (2000 a 2000) e a média mensal de cada ano para as áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais.	46
Figura 16 - Perfil sazonal do EVI em áreas de Cerrado sentido restrito (SS) representado pela média mensal do EVI de todo o período em estudo (2000 a 2012) (média climatológica) e a média mensal de cada ano (média).	46

Figura 17 - Perfil sazonal do EVI em áreas de Campos naturais (CN) representado pela média mensal do EVI de todo o período em estudo (2000 a 2012) (média climatológica) e a média mensal de cada ano (média).	47
Figura 18 - Diferença da média mensal do EVI de toda a série histórica estudada (2000 a 2000) e a média mensal de cada ano para as áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais.	47
Figura 19 - Média de toda a série histórica em estudo (2000 a 2012) do padrão sazonal da precipitação pluvial e média dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais no DF.....	48
Figura 20 - Média climatológica e desvio padrão do comportamento sazonal definido pelos índices de vegetação NDVI e EVI. A: NDVI em área de Cerrado sentido restrito (SS) no período de 2000 a 2012; B: NDVI em áreas de Campos naturais (CN) no período de 2000 a 2012; C: EVI em áreas de SS no período de 2000 a 2012; D: EVI em áreas de CN no período de 2000 a 2012.	51
Figura 21 - Gráficos de dispersão a partir de uma regressão linear entre a precipitação pluvial e os índices de vegetação NDVI e EVI. A: NDVI em fisionomias de CN; B: NDVI em áreas naturais de SS no DF; C: EVI em fisionomias de CN no DF; D: EVI em áreas naturais de SS no DF.....	54
Figura 22 – Ajuste do coeficiente de determinação do NDVI entre as áreas em estudo para o período seco, chuvoso e com registro de incêndios.	59
Figura 23 - Ajuste do coeficiente de determinação do EVI entre as áreas em estudo para o período seco, chuvoso e com registro de incêndios.	62
Figura 24 - Perfil sazonal do NDVI e EVI em cada área de estudo.	66
Figura 25 - Perfil do NDVI e EVI nas áreas em estudo no momento do incêndio juntamente com as áreas de referência. A seta azul indica o momento do distúrbio.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificações Técnicas do Satélite Terra/Sensor MODIS.....	26
Tabela 2 - Resoluções Radiométricas do Sensor MODIS para as Bandas de Estudo da Superfície Terrestre.	27
Tabela 3 - Áreas de estudos que representam a intersecção das unidades de conservação em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais com áreas queimadas e não queimadas e a respectiva abreviação adotada.....	34
Tabela 4 - Base de dados de imagens Landsat órbita 221 e ponto 71 usadas para identificar cicatrizes de queimadas no DF.....	37
Tabela 5 – Correlação do NDVI e EVI com dados de precipitação pluviométrica para um período com um, dois, três e nenhum mês de defasagem.	52
Tabela 6 - Coeficiente de determinação (R^2) do ajuste das áreas com e sem registro de queimadas para o período seco, chuvoso e com registro de queimadas.	63
Tabela 7 - Média e desvio padrão da quantidade de dias necessários para a recuperação do vigor da vegetação após um período seco e pós-fogo e a amplitude dos índices de vegetação.....	74

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro em extensão territorial, ocupa aproximadamente 2.036.448 km², isto corresponde a 23,92% do território brasileiro (IBGE, 2004). A sua maior parte está localizada no planalto central do Brasil, estende-se também até o norte do Paraná e litoral do Maranhão, além de ocupar áreas na Bolívia e Paraguai.

O bioma apresenta grande diversidade de paisagens (EITEN, 1972; OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 2002). Isso justifica ser considerada a savana mais rica do mundo com 11.046 espécies de fanerógamas já catalogadas (WALTER, 2006). Contudo, as informações científicas acerca da composição vegetal nativa do Cerrado disponível ainda são limitadas (AQUINO et al., 2007). A alta riqueza de espécies, taxa de endemismo e heterogeneidade das formações vegetais são fatores marcantes do Cerrado.

A vegetação do Cerrado enfrenta flutuações sazonais acentuadas na precipitação pluviométrica ao longo do ano (EITEN, 1972). Há grande produção de biomassa durante a estação chuvosa e na estação seca, as gramíneas, em sua maioria, estão inativas e a maior parte de sua biomassa aérea seca morre (KLINK E SOLBRIG, 1996), o que torna a vegetação altamente suscetível a queimadas.

Incêndios têm ocorrido no Cerrado com frequência durante vários anos e não chegam a destruir a vegetação (WALTER et al., 2008). Muitas espécies apresentam estratégias ecológicas que resistem à passagem do fogo (COUTINHO, 1990; MEDEIROS e MIRANDA, 2005; GOTTSBERGER e SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006). No entanto, o aumento da frequência dos incêndios florestais tem refletido negativamente na estrutura e composição florística (MIRANDA et al., 2002).

O Distrito Federal está totalmente inserido no bioma Cerrado, o DF resguarda formações nativas importantes do bioma nas suas Unidades de Conservação (UC). Proença et al., (2001) registraram a ocorrência de 3.188 espécies de plantas no DF, das quais 3.037 são nativas e 151 invasoras. Cabe destacar que 77% têm registros de coleta em pelo menos uma unidade de conservação no DF. Entretanto, 23% não foram registradas em nenhuma unidade de conservação que garanta conservação efetiva *in situ*, indicando a possibilidade iminente de extinção local.

O cenário de ocupação do bioma Cerrado nas últimas décadas tornou-o um dos *hotspot* mundial de conservação da biodiversidade (MYERS et al., 2000; SILVA e BATES,

2002). Esse termo designa ambientes que apresentam extrema abundância de espécies endêmicas e sofrem acentuada perda de habitat.

O avanço da conversão de áreas nativas para áreas agricultáveis continua acelerado, o bioma é considerado a última fronteira agrícola do planeta (BORLAUG, 2002). Diversos estudos têm avaliado os remanescentes de vegetação nativa no Cerrado. Por exemplo, Sano et al., (2010), verificaram percentual de 60,5%, já Machado et al., (2004) chegaram a uma área total de 45%.

Monitorar constantemente o padrão espacial e temporal da vegetação é fundamental para adoção de ações conservacionistas. Nesse intuito, técnicas de sensoriamento remoto possibilitam obter resultados rápidos, frequente e com baixo custo (ROSA, 2003), ainda fornecem dados de extensas áreas, onde muitas vezes os processos são entendidos apenas com esse monitoramento (ASNER et al., 2005).

No estudo da vegetação em escala global, continental e regional, as imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) acoplado ao satélite TERRA e AQUA têm sido amplamente utilizadas para mensurar processos físicos e biológicos da vegetação, dinâmica das nuvens e temperatura da superfície dos oceanos, esse sensor fornece dados atmosféricos, oceânicos e terrestres (SALOMONSON e TOLL, 1990).

A baixa resolução espacial do MODIS é compensada pela alta frequência temporal (VERAVERBEKE et al., 2011b). Essa alta resolução temporal permite a construção de séries temporais contínuas, isso possibilita discriminar flutuações sazonais e padrões de regeneração da vegetação pós-fogo (VERAVERBEKE et al., 2012). Conforme Veraverbeke et al., (2011a) que menciona a importância de distinguir mudanças no ambiente causado pelo fogo e por flutuações sazonais.

Entre os diversos produtos do sensor para estudo da superfície terrestre, o MOD13 oferece o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Aprimorada (EVI), que representam basicamente a diferença entre reflectância de bandas. Esses índices fornecem informações da atividade fotossintética da vegetação em suporte à detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia (ANDERSON et al., 2003), é um indicativo do vigor da vegetação. O NDVI e EVI têm sido amplamente empregado no estudo da cobertura do dossel (GURGEL e FERREIRA, 2003), fenologia (LU et al., 2003; ZHANG et al., 2003), monitoramento pós-fogo (VAN LEEUWEN, 2008; VAN LEEUWEN, et al., 2010; CASADY et al., 2010; GITAS et al., 2012ab).

O desafio que ainda se coloca, portanto, é o do estabelecimento de um método que permita associar de maneira robusta os índices de vegetação com variáveis climáticas, e entender melhor a dinâmica do Cerrado pós-fogo. Gitas et al., (2012b) afirmam que nas savanas e nas florestas tropicais há um vazio de informações sobre a dinâmica da vegetação pós-fogo usando sensoriamento remoto. Buscou-se com este trabalho ampliar o entendimento das implicações da precipitação sobre os índices de vegetação no Cerrado e ainda avaliar a dinâmica do Cerrado pós-fogo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Caracterizar a dinâmica sazonal da vegetação do Cerrado por meio de índices de vegetação e o período de recuperação da vegetação do Cerrado pós-fogo em áreas protegidas do DF utilizando índices de vegetação do MODIS.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a capacidade do MODIS para caracterizar a sazonalidade intra e interanual do Cerrado;
- Examinar a correlação da precipitação pluvial com os índices de vegetação;
- Tempo de reposta que o NDVI e EVI levam para responder a mudanças no padrão da precipitação;
- Avaliar a resposta da vegetação pós-fogo usando os índices de vegetação da série do MODIS;
- Comparar a desempenho dos índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MODIS para descrever adequadamente a vegetação pós-fogo e a sazonalidade multitemporal de fisionomias do Cerrado.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O bioma Cerrado

Localizado entre os paralelos 3° e 24° latitude sul e entre os meridianos 41° e 63° longitude oeste, o bioma Cerrado distribui-se pelos estados de Goiás, Bahia, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rondônia, São Paulo, Piauí, Maranhão e o Distrito Federal, além de enclaves de remanescentes no Pará, Roraima e Amapá (Figura 1).

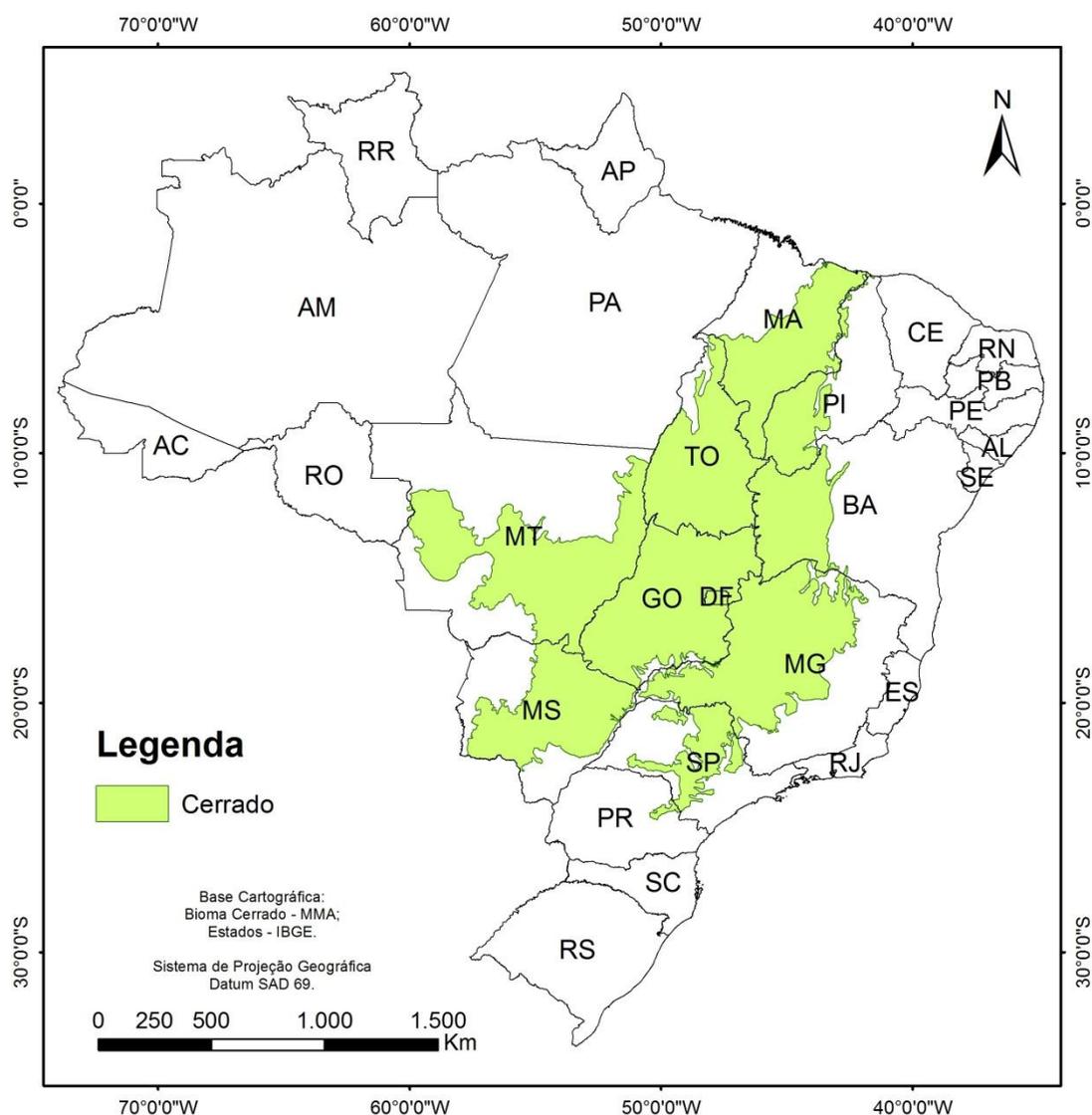


Figura 1 – Mapa do Brasil com a localização do bioma Cerrado.
Fonte: Moreira-Souza, (2014).

O clima predominante do Cerrado é do tipo tropical sazonal, com inverno seco e o verão chuvoso. A temperatura média anual fica em torno de 22-23°C, as médias mensais apresentam pequenas variações, as máximas mensais apresentam baixa estacionalidade, podendo chegar a 40°C e as mínimas mensais apresentam alta amplitude de variação.

A precipitação na região apresenta alta estacionalidade, em geral, a média anual fica em torno de 1.200 a 1.800 mm e concentra-se nos meses de outubro a abril. É comum no Cerrado a ocorrência de veranicos, que são períodos curtos de seca na época chuvosa. No período seco, maio a setembro, a precipitação cai drasticamente, chegando à zero, neste período a umidade relativa do ar reduz bastante, com valores menores que 20% (CASTRO et al., 1994).

Não é comum nos domínios do Cerrado ventos fortes e constantes, a atmosfera é geralmente calma. No mês de agosto é comum ventos mais fortes levando as cinzas de queimadas a grandes distâncias.

O Cerrado é formado por um mosaico de habitats e fitofisionomias altamente heterogêneo, constituído por três formações: campestres, savânicas e florestais. As formações campestres englobam Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre; nessa formação predomina espécies herbáceas e algumas arbustivas, sem presença de espécies arbóreas.

As formações savânicas são compreendidas pelo Cerrado sentido restrito, Parque Cerrado, Palmeiral e Vereda, por sua vez, as formações savânicas apresentam árvores e arbustos esparsos na paisagem sobre um estrato de gramíneas, não se verifica a formação de um dossel contínuo.

Por fim, as formações florestais são representadas pela Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão, nessas áreas predominam a ocorrência de espécies arbóreas com a formação contínua e descontínua de dossel. Na Figura 2 encontra-se uma representação esquemática das formações vegetais do Cerrado (RIBEIRO e WALTER, 2008).



Figura 2 – Representação das fitofisionomias do Cerrado brasileiro.
Fonte: Ribeiro e Walter, (2008).

Conforme Dias (1992), Cerrado sentido restrito representa 53% do bioma, Campo e Cerradão ocupam, respectivamente, 12% e 8%, formações como Campo úmido, Veredas, Mata de galeria, entre outros, correspondem a 27%. É importante ressaltar que as transições entre fisionomias florestais, savânicas e campestres é brusca, tornando dessa forma, de fácil identificação em campo (HOPKINS, 1992).

A diversidade de formação vegetal do bioma abriga rica diversidade florística (RATTER et al., 2000) e de espécies endêmicas (GIULIETTI et al., 2000), resposta a marcante sazonalidade climática, disponibilidade de água, latitude, queimadas, profundidade do lençol freático, solo empobrecido, alta toxicidade de alumínio, relevo e ações humanas (EITEN, 1984; COUTINHO, 1978).

No cenário hidrológico, a região abarca as três maiores bacias hidrográficas da América Latina. O Cerrado apresenta nascentes de diversos rios que são fundamentais para a recarga hídrica das bacias hidrográficas do Brasil, seis das oito bacias hidrográficas brasileiras têm rios que nascem na região, considerada assim, um divisor de águas brasileiro (LIMA e SILVA, 2005).

As classes de solos mais representativas no bioma são: latossolo, neossolo quartzarênico e neossolo litólico, cobrem respectivamente 56%, 20% e 9% do território (HARIDASAN, 2007). A predominância de latossolo no Cerrado justifica a expansão da fronteira agrícola sobre o bioma, pois esse solo é altamente apto à agricultura pelas boas perspectivas de mecanização (HARIDASAN, 1993; RIBEIRO et al., 2005).

O bioma Cerrado está em acelerado processo de devastação, somente áreas destinadas às pastagens plantadas ocupam cerca de 41,56% do bioma; aproximadamente 88 milhões de hectares, 55% do Cerrado já foi convertido em outro uso pela ação humana (MACHADO et al., 2004), o que corresponde ao triplo da área desmatada na Amazônia brasileira (KLINK e MACHADO, 2005). As taxas de incremento no desmatamento variam entre 22.000 a 30.000 km² por ano, conforme avaliações de Machado et al., (2004).

Unidades de conservação é uma forma de conter a expansão da devastação e abrigar representantes da biodiversidade, contudo, as unidades de conservação de proteção integral correspondem somente 2,2% do bioma, as unidades de conservação de uso sustentável representam 1,9%, percentual aquém das metas estabelecidas pela Convenção da Diversidade Biológica (KLINK e MACHADO, 2005) e abaixo da meta do Governo de proteger no mínimo 10% do Cerrado (ALHO, 2005).

3.2 O fogo na vegetação do Cerrado

A região do Cerrado convive com o fogo há muito tempo. A escassez de registros físicos de partículas de carvão vegetal dificulta a determinação quantitativa da origem das queimadas no Cerrado. As evidências de carvão vegetal mostram uma boa relação da quantidade de biomassa queimada com o início da atividade antrópica na região, há também evidências de queimadas antes da ocupação humana, onde as descargas elétricas eram a fonte de ignição (KOMAREK, 1972).

A evidência mais remota de registro de incêndios no Cerrado brasileiro data de 32.000 anos antes do presente (FERRAZ-VICENTINI, 1993). Na região do estado de São Paulo, em solos de Campo cerrado, Coutinho (1980) relata a ocorrência de queimadas a cerca de 8.570 anos. Já por meio de estudos antropológicos, o uso do fogo era recorrente na região central do Brasil, prática utilizada pelo homem primitivo há 32.000 anos (GUIDON e DELIBRIAS, 1986). Essas evidências que mostram a estreita relação do fogo com o Cerrado em tempos remotos evidenciam que o fogo é um fator ambiental antigo no bioma.

O entendimento dos efeitos do fogo sobre a vegetação é um processo complexo e ainda não muito esclarecido no meio científico (HENRIQUES, 2005). É consenso entre pesquisadores que o regime de incêndios no Cerrado, entre outros condicionantes ambientais como clima e solos, é o fator mais preponderante do bioma (EITEN, 1972; COUTINHO, 1990), responsável por uma série de modificações na estrutura da vegetação.

Lund (1835) citado por Henriques (2005) em suas viagens pelo planalto central observou que o Cerradão era a vegetação florestal primária que deu origem a fitofisionomias abertas devido à ação do fogo, esse foi o primeiro trabalho que levantou a hipótese da influência do fogo na formação das fisionomias abertas. Outros autores, como Ab'Saber e Junior (1951), Eiten (1972), Rizzini (1963, 1979) evidenciaram que em muitas áreas o Cerrado se originou da ação do fogo no Cerradão.

Pivello e Coutinho (1996) e Meirelles et al., (1997) também reportam que fisionomias abertas são derivadas de formações florestais pela ação humana, a exemplo do fogo e pastoreio, a ausência desses fatores, permitem a evolução sucessional da formação vegetal para uma formação primária mais fechada.

Estudos sustentam a hipótese que o Cerrado sentido restrito é uma formação vegetal fora do equilíbrio, estando em uma fase sucessional, entre o Campo sujo e o Cerradão (MOREIRA, 2000; HENRIQUES e HAY, 2002). Áreas savânicas poderiam ser ocupadas por

florestas, mas o fogo mantém uma transição abrupta na estrutura e composição dessas formações (HOPKINS, 1992).

A frequente incidência de queimadas configura formações vegetais mais abertas (EITEN, 1972), já que o fogo favorece a dominância e expansão de algumas espécies herbáceas e subarbustivas (MOREIRA, 2000; GOTTSBERGER e SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006). Em áreas não perturbadas com o fogo, verifica-se o aumento progressivo de indivíduos lenhosos, da densidade e porte da vegetação (COUTINHO, 1990; HOFFMANN, 1999; HENRIQUES e HAY, 2002; HOFFMANN e MOREIRA, 2002).

Na região central do Brasil, Moreira (2000) reportou que em uma área com exclusão total do fogo por 18 anos apresentou aumento substancial de plantas lenhosas, densidade e na riqueza de espécies, em comparação às áreas não protegidas. Constatou, ainda, a similaridade florística entre Campo sujo protegido do fogo e Cerrado sentido restrito queimado, e Cerrado sentido restrito protegido com Cerradão queimado, o que fortalece as evidências de sucessão das fisionomias do Cerrado na sequência de Campo sujo, Cerrado sentido restrito e Cerradão.

Durigan et al., (1987) também verificaram resultados similares a partir de imagens aéreas do Cerrado com 22 anos de proteção contra o fogo em Assis, estado de São Paulo. Os autores verificaram que essas áreas evoluíram para uma fisionomia mais fechada, e sugeriram que essa formação era a vegetação nativa da área. É importante ressaltar que o incremento na estrutura de formações abertas do Cerrado ocorre quando não há impedimento edáfico (HENRIQUES, 2005).

Muitas espécies apresentam estratégias ecológicas que as protegem e mitigam dos danos do fogo, como exemplo a rebrota após a passagem do fogo, além de serem morfológicamente resistentes a queimadas, devido à presença de casca grossa, suberização do tronco e dos galhos, frutos com capacidade de proteção das sementes (COUTINHO, 1990; MEDEIROS e MIRANDA, 2005; GOTTSBERGER e SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006).

No entanto, nos últimos anos, a crescente conversão de áreas nativas do Cerrado em áreas agrícolas tornaram as queimadas fora do regime normal, determinadas áreas sofrem perturbação pelo fogo constantemente em uma década (DIAS, 1998). Diante do número de incêndios ocasionados pela ação humana, o número de incêndios naturais é insignificante (ROY, 2004).

O aumento da frequência dos incêndios florestais tem contribuído para o aumento de crescimento dos arbustos em detrimento das arbóreas (HOFFMANN, 1999), a capacidade de

rebrotas das espécies diminuí com queimadas anuais subsequentes (MEDEIROS e MIRANDA, 2005), ainda, há um aumento da mortalidade de plântulas de espécies arbóreas (HOFFMANN, 1999). Algumas espécies lenhosas reduzem a produção de sementes em áreas recentemente queimadas isso devido à redução do porte dos indivíduos e o maior gasto com reprodução vegetativa.

Andrade (2002) analisou o efeito do fogo no banco de sementes em uma área de Cerrado sentido restrito afetado por quatro queimadas bienais e outra área protegida por 25 anos. O autor observou que o banco de sementes de espécies monocotiledôneas da área queimada foi quatro vezes maior que da área protegida, enquanto o banco de sementes de dicotiledôneas na área protegida foi quase quatro vezes maior que na área com sucessivas queimadas. Esse resultado corrobora para as evidências do aumento substancial da presença de gramíneas em áreas submetidas a queimadas (MIRANDA, 2002; SATO, 2003).

Toda essa alteração na estrutura dos estratos do Cerrado pode reduzir a diversidade de espécies, favorecendo as espécies mais resistentes ao fogo (MOREIRA, 2000), resultar em fisionomias mais abertas com predominância de gramíneas, e tornar os ambientes mais susceptíveis a queimadas (MIRANDA e SATO, 2005).

3.3 Sensoriamento remoto como ferramenta para o estudo da vegetação

Sensoriamento remoto é uma ciência que visa extrair informações de eventos, fenômenos e processos que ocorrem sobre a superfície terrestre por meio da análise do resultado das interações entre a radiação eletromagnética com o alvo (NOVO, 2008).

Sensoriamento remoto aliado ao conhecimento técnico é fonte de dados para estudos ambientais, e, representa ainda, diante das escalas locais e globais uma das formas viáveis para o monitoramento da superfície terrestre devido à rapidez de obtenção dos dados, periodicidade e eficiência.

Com o avanço nas geotecnologias, as aplicações de sensoriamento remoto têm-se espalhado nas últimas décadas nas mais diversas áreas do conhecimento. No estudo da vegetação, as técnicas de sensoriamento remoto tem uma vasta aplicação, por meio destas é possível identificar diferentes formações vegetais, estrutura do dossel, estado fenológico, estresse por déficit hídrico, carência de nutrientes, ataque de patógenos, condições climáticas, entre outros.

As técnicas de sensoriamento remoto são fundamentadas no processo de interação entre a Radiação Eletromagnética (REM) e o alvo em estudo. A REM refletida/emitada pelo alvo é captada pelo sensor do satélite e transformada em um produto passível de análise com o objetivo de extrair informações sobre o alvo. Cada alvo apresenta um comportamento espectral diferente, devido as suas características físicas, químicas e biológicas.

A folha é o órgão na planta que mais absorve a REM e conseqüentemente o mais detectado pelos sensores remotos (COLWELL, 1974). As propriedades espectrais de uma folha dependem da composição química, principalmente o tipo e quantidade de pigmentos fotossintetizantes, morfologia, estrutura anatômica interna e da idade. No interior da folha a trajetória da REM passa por diferentes meios, como água, ar, membranas celulares, apresentando, assim, variação nos índices de refração.

A Figura 3 representa a curva média de reflectância de uma folha verde sadia na região do espectro eletromagnético de 0,4 a 2,6 μm .

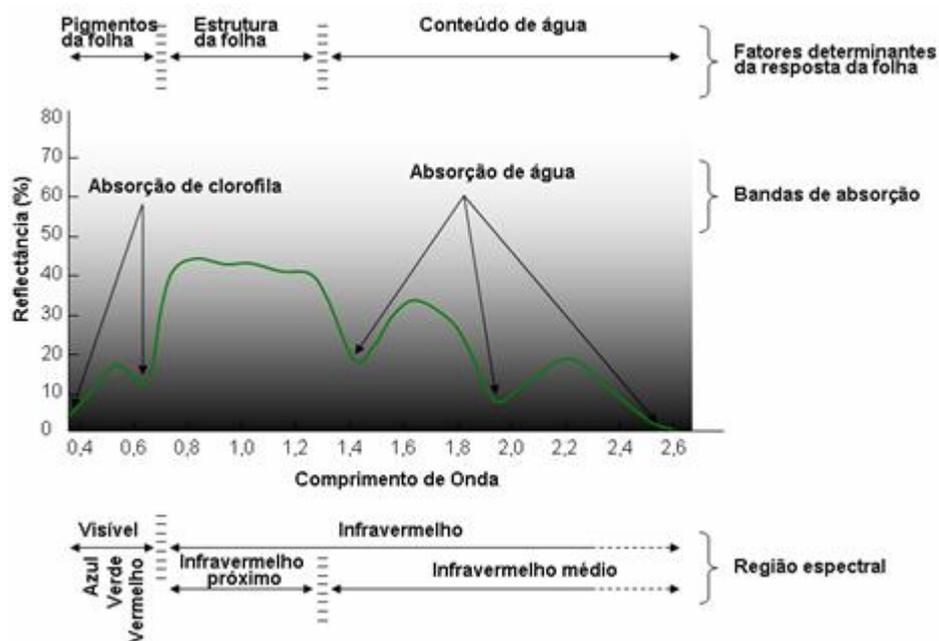


Figura 3 - Curva de reflectância típica de uma folha verde sadia.
Fonte: Modificada de Swain e Davis (1978).

Nessa região do espectro eletromagnético o comportamento espectral da folha é dividida em 3 áreas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010):

- ✓ Região do visível (0,3 a 0,7 μm) – Nesta região os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância espectral. Os principais pigmentos, em geral,

encontrados nos cloroplastos são: clorofila (65%), carotenos (6%), e xantofilas (29%), esses valores percentuais variam entre as espécies e a idade.

- ✓ Região do infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μm) – A reflectância espectral nessa região é o resultado da interação da REM com a estrutura do mesófilo. Nesta região existe uma absorção pequena da REM e considerável espalhamento interno na folha. De uma forma geral, quanto mais lacunosa for à estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da REM e consequentemente maior a reflectância.
- ✓ Região do infravermelho médio (1,3 a 2,5 μm) – A absorção da REM nessa região ocorre devido à água líquida presente na folha. A reflectância é proporcional à quantidade de água presente na folha.

Entender a interação da REM com a folha isolada auxilia no entendimento da interação da REM com os dosséis. Verifica-se uma semelhança no padrão da curva de reflectância da folha isolada com a curva de um dossel. A diferença verificada na região do visível refere-se à diminuição da reflectância devido a maior quantidade de pigmentos das camadas de folhas do dossel. Na região do infravermelho próximo a reflectância aumenta com o aumento do número de camadas devido ao espalhamento múltiplo. Na região do infravermelho médio a alteração é análoga a que ocorre na região do visível, ou seja, ocorre a diminuição da reflectância com o aumento do número de camadas de folhas devido a maior disponibilidade de água (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010).

Essas variações da reflectância com o aumento da camada de folhas não apresentam variações lineares, ou seja, variação na reflectância terá acréscimos sucessivamente menores à medida que forem adicionadas novas camadas. Esse fator, denominado ponto de saturação, torna-se uma limitação no uso dos índices de vegetação na região do visível e infravermelho próximo, pois com o crescimento da vegetação (aumento do IAF) não haveria alteração na reflectância (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010).

Contudo, não é somente as propriedades de espalhamento e de absorção da folha que regula o movimento da REM em direção ao sensor, após incidir sobre o dossel, mas também a densidade e a orientação dos elementos.

O sensor recebe de volta o fluxo de energia de diferentes formas de espalhamento:

- Espalhamento único: fluxo de energia espalhado somente uma vez por um único elemento vegetal em um dado momento;

- Espalhamento múltiplo: fluxo espalhado por diversos e diferentes elementos da vegetação sem tocar o solo;
- Fluxo refletido pelo solo sem tocar em nenhum elemento da vegetação, ou se é, atinge o sensor.

A distribuição espacial dos elementos da vegetação, assim como as suas densidades e orientações definem a arquitetura do dossel. O arranjo depende da distribuição das sementes no ato do plantio, do tipo de vegetação presente e do estágio de desenvolvimento. Por fim, resulta em um dossel com diversas camadas. O padrão arquitetônico do dossel afeta qualitativamente a reflectância da vegetação (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010).

Conforme a estrutura do dossel, parte da REM pode atravessar o dossel e atingir o solo, dessa forma, o solo influenciará a reflectância do dossel. Em geral, dosséis mais homogêneos com grande quantidade de folhas verdes, apresentam-se altamente reflectivos na região do infravermelho próximo e refletem pouco na região do vermelho. Para dosséis menos densos, o efeito da camada inferior do dossel e das sombras deve ser levado em conta.

3.4 Sensor MODIS

Um dos instrumentos do sensoriamento remoto que visa mensurar processos físicos, químicos e biológicos da vegetação, como incêndios florestais, propriedade e dinâmica das nuvens é o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Esse sensor foi projetado para atender os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra (SALOMONSON e TOLL, 1990).

Com o advento do sensor MODIS, principal sensor acoplado ao satélite TERRA (EOS AM-1), um dos sistemas de observação da Terra pela NASA, houve uma melhoria na qualidade de imagens de sensoriamento remoto.

O sensor veio preencher uma lacuna na disponibilidade efetiva de dados de sensoriamento remoto de alta resolução temporal e espectral e moderada resolução espacial, voltados para aplicações sobre a dinâmica terrestre, além da melhoria das correções geométrica e atmosférica (RIZZI e RUDORFF, 2007).

O satélite Terra foi lançado em dezembro de 1999, começando a coletar dados em fevereiro de 2000. O sensor capta imagens da cobertura global quase diária, a cada 1-2 dias. Apresenta 36 bandas espectrais que variam do comprimento de onda de 0,4 μm a 14,4 μm . (JUSTICE et al., 2002a). As especificações técnicas estão elencadas na Tabela 1.

Tabela 1- Especificações Técnicas do Satélite Terra/Sensor MODIS.

Órbita do satélite Terra	705 Km, síncrona com o Sol, polar; 10:30 a.m
Cobertura de repetição do satélite Terra	Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Cobertura dos imageamentos do sensor MODIS	$\pm 55^\circ$; 2330 km (“scans” contínuos no nadir no equador)
Resolução espacial do sensor MODIS	250 m (bandas 1 - 2), 500 m (bandas 3 - 7), 1000 m (8 – 36) no nadir
Precisão radiométrica do sensor MODIS	5% Absoluto, <3 mm; 1% Absoluto, >3 mm; 2% de
Alcance espectral do sensor MODIS	0,4 –14,4 μm
Quantização do sensor MODIS	12 bits
Taxa de Dados do satélite Terra	6,2 Mbps (média), 10,8 Mbps (dia), 2,5 Mbps (noite)
Força do satélite Terra	162,5 W (média para uma órbita), 168,5 W (pico)

Fonte: Justice et al., (2002a).

As primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm a 2155 nm, de forma que as bandas 1-7 estão direcionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8-16 para as observações oceânicas e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro eletromagnético (3660 nm a 14385 nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (BARKER et al., 1992).

As bandas desenvolvidas para o monitoramento da superfície terrestre têm uma herança do *Landsat Thematic Mapper* e NOAA/AVHRR, contudo, com capacidades melhoradas tanto nos menores comprimentos de onda quanto no infravermelho (JUSTICE et al., 1998).

O sensor MODIS fornece uma alta sensibilidade radiométrica, específicas para as necessidades da comunidade científica, fornecendo uma excelente resposta para cada banda (STRAHLER et al., 1996) (Tabela 2).

Tabela 2 - Resoluções Radiométricas do Sensor MODIS para as Bandas de Estudo da Superfície Terrestre.

Uso Indicado	Bandas	Largura da banda	Radiância espectral
Terra/ Nuvens /	1	620	21.8
Limites de aerossóis	2	841	24.7
Terra/ Nuvens/	3	459	35.3
Propriedade de	4	545	29
aerossóis	5	1230	5.4
	6	1628	7.3
	7	2105	1

As bandas do MODIS para o estudo da superfície terrestre possuem resolução espacial de 250 m (para os canais do vermelho e infravermelho próximo) e 500 m (para a banda do azul) que são os valores nominais para pixels ao nadir. No limite da largura da área imageada, os pixels crescem com um fator de 2 vezes na direção ao longo da linha de imageamento e de um fator de 5 vezes na direção através da linha de imageamento. Além disso, o erro de geolocalização é computado no centro de cada pixel, e é devido a incertezas no conhecimento de localização da plataforma e sua orientação (JUSTICE et al., 2002b).

Comparado a outros produtos que visam estudos da superfície terrestre, o sensor MODIS possui um intervalo quase diário de imageamento de uma área, o que lhe confere uma grande capacidade para estudos de dinâmicas ecológicas tanto terrestres, quanto oceânicas (SCHOWENGERDT, 1997).

O MODIS imagea, simultaneamente, em cada banda, 10 fileiras de “pixels” para os produtos de 1 km; 20 para os produtos de 500 m; e 40 para os produtos de 250 m de resolução espacial. Cada fileira, por sua vez, corresponde a uma simples linha imageada dos dados MODIS, a qual é nominalmente composta de 1354, 2708 e 5416 observações dos dados de 1 km, 500 m e 250 m, respectivamente (WOLFE et al., 2002).

O MODIS possui numerosos produtos derivados das suas imagens para aplicações em escala global, continental e regional. Neste estudo foi empregado o MOD13Q1, que integra os produtos do MODIS relacionados ao estudo da vegetação, em especial, índices de vegetação (NDVI e EVI). Esses índices são produzidos globalmente com 1 km, 500 m e 250 m de resolução e composições no período de 16 dias.

Os índices de vegetação do produto MOD13Q1 têm como origem aos dados do MOD09, nível 2, que geram dados de reflectância diariamente da superfície, os dados são corrigidos dos efeitos de espalhamento molecular, absorção de ozônio e aerossóis (HUETE et

al., 2002; VERMOTE et al., 2002). Um algoritmo utiliza esses dados para gerar índices de vegetação, nível 3, com composições de 16 dias das refletâncias bidirecionais diárias. Esse algoritmo processa os dados do MOD09 para gerar os índices de vegetação NDVI e EVI com 250m (SAMPAIO, 2007).

Esses produtos de índices de vegetação do MODIS fornecem comparações consistentes de dados temporais e espaciais das condições da vegetação, além de possibilitar monitorar a atividade fotossintética da vegetação em suporte a detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia.

As vantagens dos índices de vegetação do MODIS é gerar índices de vegetação em imageamentos sem nuvens, fornecer informações maximizando a cobertura global e temporal na resolução mais precisa, padronizar dados de acordo com a posição sol-sensor-alvo, assegurar a qualidade e a consistência dos dados e por fim, fornecer dados de variações interanuais em série multitemporal de variações fenológicas da vegetação (ANDERSON et al., 2003).

Os índices de vegetação resultam de um mosaico de *pixels* escolhidos entre as imagens diárias de 16 dias, ou seja, selecionar pixels com visadas próximos ao nadir e sem a ocorrência de nuvens e sombras, objetivando extrair pixels com melhor qualidade (HUETE et al., 1996). Dessa forma, nas imagens MOD13 resultantes contém *pixels* vizinhos que não foram obtidos na mesma data e sob diferentes ângulos.

Os índices de vegetação produzidos pelo MOD13 fornecem informações espacial e temporal das condições da cobertura vegetal, dessa forma, é possível inferir sobre variações fenológicas, eventos climáticos atípicos, distúrbios e variações interanuais na vegetação (RUDORFF et al., 2007).

O NDVI é sensível à clorofila (HUETE et al., 2002) e fornece informações sobre detecção de mudanças vegetais e parâmetros biofísicos do dossel.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por Rouse et al., (1974), consiste numa relação entre as medidas espectrais da banda do infra-vermelho próximo (800-1100 nm) e vermelho (600-700 nm), conforme a equação a seguir (Equação 1). Esse índice varia de -1 a +1, quanto mais próximo de +1 maior vigor da vegetação (Figura 4).

$$NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V) \quad (1)$$

Onde,

ρ_{IVP} = refletância no topo da atmosfera na banda do Infra-Vermelho Próximo e;

ρ_V = refletância no topo da atmosfera na banda do Vermelho.

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010) os índices de vegetação minimizam os efeitos das variações provenientes do ângulo solar e dos efeitos climáticos. Contudo, o NDVI apresenta um inconveniente que é a rápida saturação o que o torna insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento (MOREIRA, 2001).

Diversos estudos mostram que o NDVI do sensor MODIS do satélite TERRA tem se mostrado uma ferramenta ideal para avaliar a estrutura da vegetação e monitoramento das mudanças temporais (HUETE et al., 2002; CARVALHO JUNIOR et al., 2009; DALLA NORA e MARTINI, 2010).

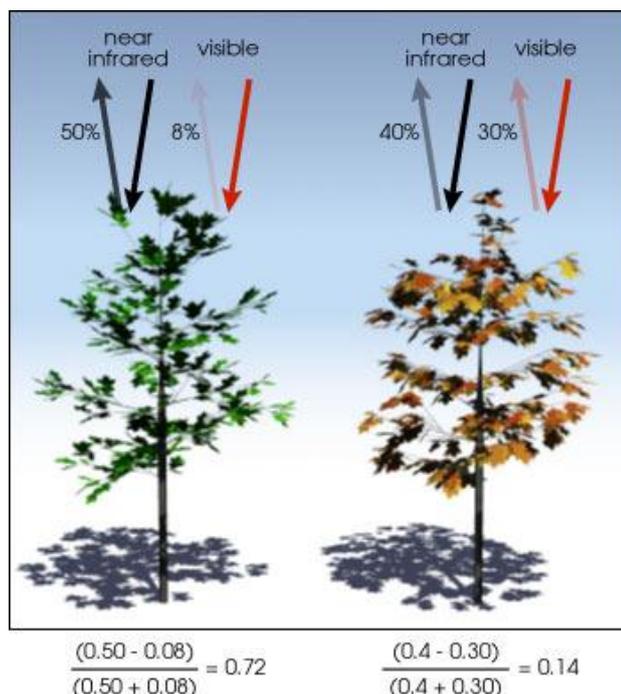


Figura 4 - Caracterização do NDVI, NDVI varia de -1 a 1, quanto mais próximo de 1 maior é o vigor da vegetação.

Fonte: <http://biology.duke.edu/bio265/jmu/BriefDescriptionandHistory.htm>

O NDVI tem sido empregado amplamente em estudos relacionados a incêndios florestais. Leon et al., (2012) empregaram dados do MODIS/NDVI para avaliar a resposta da vegetação pós-fogo em função de condições ambientais e tratamento pré-fogo.

Van Leeuwen (2008) monitorou a dinâmica sazonal da vegetação antes e depois de incêndios florestais, recuperação da vegetação pós-incêndio, avaliou o distúrbio do incêndio com tratamento de redução do combustível e impacto desse tratamento na recuperação da vegetação pós-distúrbio. Van Leeuwen et al., (2010) analisaram as mudanças na dinâmica da vegetação pós-fogo com dados MODIS/NDVI para os locais em Espanha, Israel e os EUA.

Veraverbeke et al., (2012) empregaram 13 índices de vegetação em uma área na Grécia que em 2007 teve uma queimada de grandes proporções, esses autores recomendaram o uso do NDVI em ambientes que há variabilidade na vegetação, por exemplo, uma área com distúrbio pós-fogo. A robustez do NDVI nesses ambientes ocorre devido a sua capacidade de normalização que minimiza o impacto da variabilidade da vegetação. Também foi evidenciada alta correlação entre o NDVI e os dados de campo (VAN LEEUWEN et al., 2010; VERAVERBEKE et al., 2012).

Além de outros estudos de monitoramento da fenologia da vegetação (ZHANG et al., 2003; LU et al., 2003; BECK et al., 2006; LIESENBERG et al., 2007), mudança de cobertura do solo com base no NDVI (LUNETTA et al., 2006).

Outro índice de vegetação amplamente empregado em estudos da vegetação é o EVI (Índice de Vegetação Melhorado). Este índice foi desenvolvido para melhorar a detecção do sinal da vegetação em regiões com maior densidade de biomassa, reduzindo problemas de saturação, e, ainda, reduzir a influencia da interferência do solo e da atmosfera na resposta da vegetação (JUSTICE et al. 1998; HUETE et al., 2002). O EVI é calculado com base na Equação 2 (JUSTICE et al. 1998).

$$EVI = G (NIR - Vermelho) / (L + NIR + C1 vermelho - C2 azul) \quad (2)$$

Onde,

L = fator de ajuste para os componentes abaixo do dossel (*canopy background*);

C1 e C2 = coeficientes para ajuste das resistências dos efeitos dos aerossóis da atmosfera; e

G = fator de ganho.

Estes coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: L=1, C1=6, C2=7,5 e G = 2,5 (HUETE et al., 1997; JUSTICE et al., 1998).

O EVI é mais sensível às variações na resposta estrutural 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).

Conforme a Figura 5 é possível verificar que a imagem EVI apresenta maior contraste entre a floresta Amazônica e as fitofissionomias do Cerrado. Esses dois índices de vegetação apresentam diferenças substanciais e se complementam em estudos globais da vegetação e fornecem estimativas de parâmetros da vegetação.

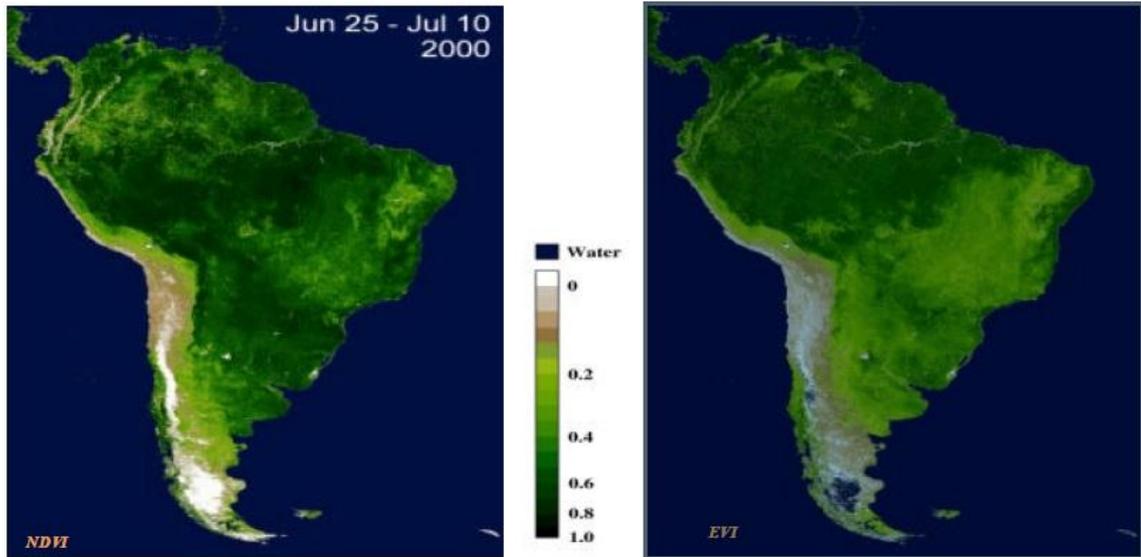


Figura 5 – Imagens NDVI e EVI da América do Sul com resolução espacial de 500 m no período de 25 de junho a 10 de julho de 2000.

Fonte: Adaptado de Ponzoni e Shimabukuro, (2010).

Nesse sentido, cada índice de vegetação tem suas vantagens e desvantagens e é mais e menos adequado para determinados trabalhos. O emprego de mais de um índice permite comparar os resultados e inferir sobre o que forneceu resultados mais consistentes para o objetivo do trabalho.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área de estudo

O Distrito Federal localiza-se no planalto central entre os paralelos 15°30' e 16°03' de latitude e os meridianos 47°25' e 48°12' de longitude, numa área de 5.789,16 km², equivalendo a 0,06% da superfície do País.

As áreas de estudo localizam-se em unidades de conservação de proteção integral do DF (Figura 6):

- Estação Ecológica do Jardim Botânico (EEJ);
- Estação Ecológica da UnB (EEU);
- Parque Nacional de Brasília (PNB);
- Reserva Biológica da Contagem (RBC).

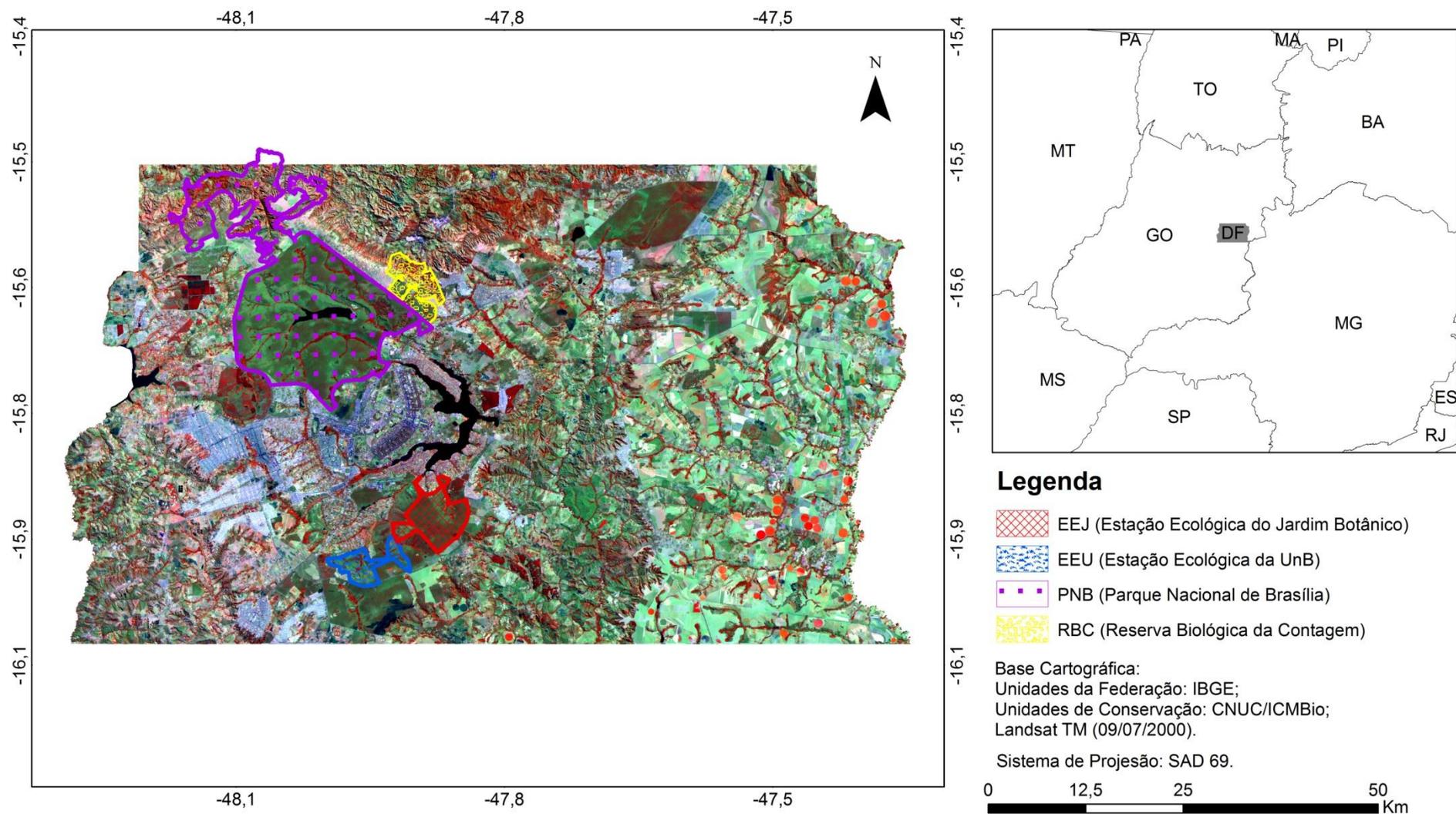


Figura 6 - Localização das unidades de conservação no DF que tiveram áreas selecionadas para o presente estudo.
 Fonte: Moreira-Souza, (2014).

Foram selecionadas duas formações vegetais do Cerrado com base no mapeamento de uso e cobertura do solo do Zoneamento Ecológico-Econômico do DF elaborado pela equipe técnica da Greentec Consultoria e Planejamento Ltda: Cerrado sentido restrito (formações savânicas) e Campos naturais (formações campestres). Essas são as duas classes de cobertura de vegetação nativas mais representativas nas UC do DF (GDF, 2010).

A Tabela 3 elucida as áreas de estudo, contabilizando nove (9) áreas ao total em quatro (4) unidades de conservação de Proteção Integral (Figura 7 e Figura 8). Neste estudo foram selecionados áreas dentro de UC que queimaram 4, 2 e nenhuma vez no período em estudo.

Tabela 3 - Áreas de estudos que representam a intersecção das unidades de conservação em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais com áreas queimadas e não queimadas e a respectiva abreviação adotada.

UC	Queimadas	Fisionomias	Abreviação
Reserva Biológica da Contagem	2004; 2006; 2007; 2010	Cerrado sentido restrito	RBC_4_6_7_10_SS
Parque Nacional de Brasília	2007; 2010	Cerrado sentido restrito	PNB_7_10_SS
Parque Nacional de Brasília	Sem queimadas	Cerrado sentido restrito	PNB_N_SS
Parque Nacional de Brasília	2007; 2010	Campos Naturais	PNB_7_10_CN
Parque Nacional de Brasília	Sem queimadas	Campos Naturais	PNB_N_CN
Estação Ecológica do Jardim Botânico	2005; 2011	Campos Naturais	EEJ_5_11_CN
Estação Ecológica do Jardim Botânico	2005; 2011	Cerrado sentido restrito	EEJ_5_11_SS
Estação Ecológica da UnB	Sem queimadas	Campos Naturais	EEU_N_CN
Estação Ecológica da UnB	Sem queimadas	Cerrado sentido restrito	EEU_N_SS

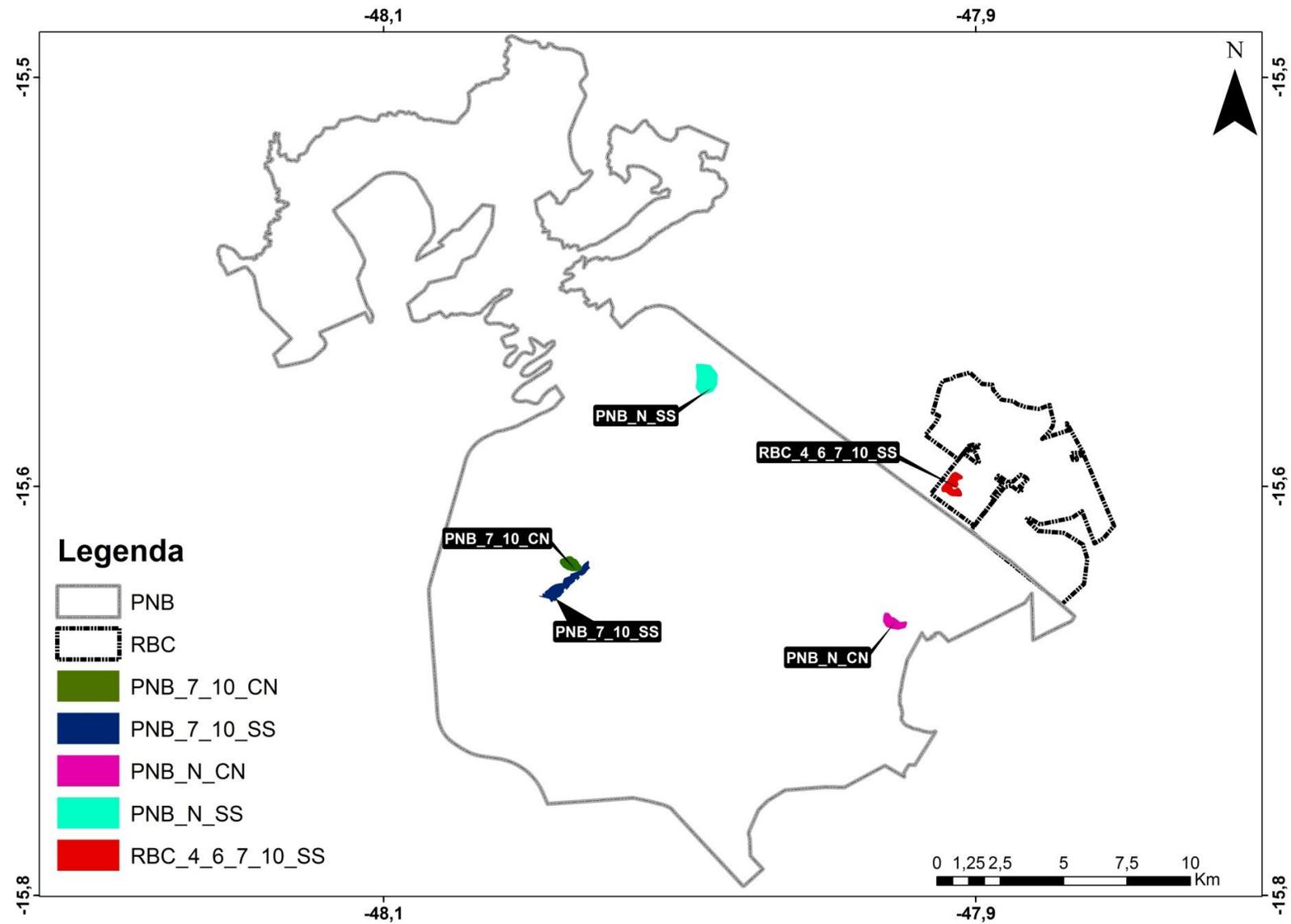


Figura 7 - Áreas selecionadas no Parque Estadual de Brasília e Reserva Biológica da Contagem localizadas ao norte do DF.
 Fonte: Moreira-Souza, (2014).

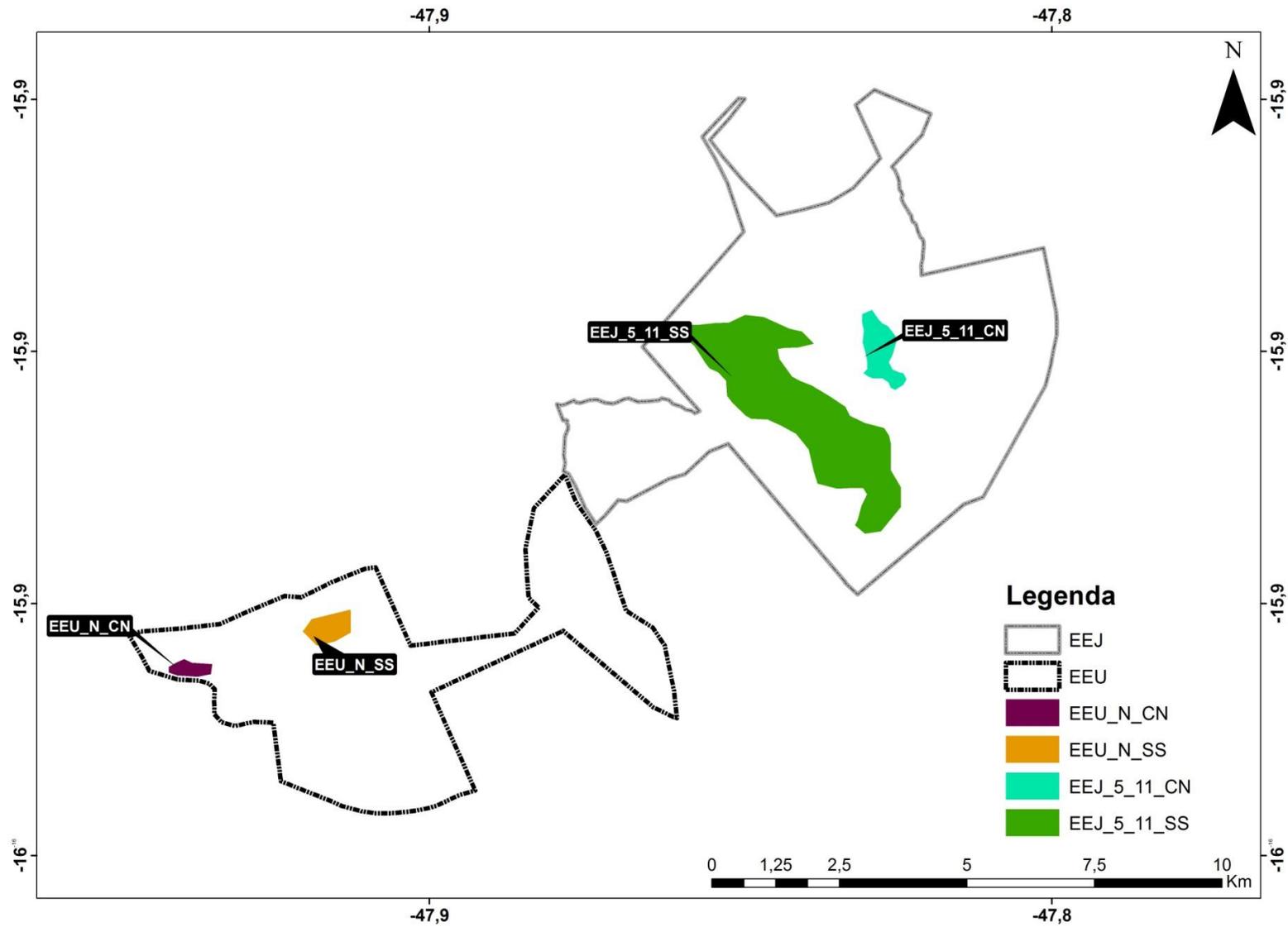


Figura 8 - Áreas selecionadas na Estação Ecológica da UnB e na Estação Ecológica do Jardim Botânico localizadas ao sul do DF. Fonte: Moreira-Souza, (2014).

4.1 Mapeamento dos incêndios florestais – Silva (2010)

A base de dados de incêndios florestais utilizada foi elaborada por Silva (2010) para os anos 2000 a 2010. Silva (2010) utilizou imagens do Satélite Landsat TM-5, (221-71) (Tabela 4). As datas de aquisição das imagens são preferencialmente entre os meses de julho e setembro, meses com maior registro de incêndios na região, em 2002 por falta de disponibilidade de uma imagem do sensor TM, foi escolhida uma imagem do sensor ETM+ do mês de Outubro.

Tabela 4 - Base de dados de imagens Landsat órbita 221 e ponto 71 usadas para identificar cicatrizes de queimadas no DF.

	Sensor	Data de Aquisição
LANDASAT 5	TM	23/09/2010
LANDASAT 5	TM	03/08/2009
LANDASAT 5	TM	16/08/2008
LANDASAT 5	TM	15/09/2007
LANDASAT 5	TM	26/07/2006
LANDASAT 5	TM	11/10/2005
LANDASAT 5	TM	22/09/2004
LANDASAT 5	TM	18/07/2003
LANDASAT 7	ETM+	11/10/2002
LANDASAT 5	TM	12/07/2001
LANDASAT 5	TM	25/07/2000

Fonte: Silva, (2010).

Após as correções geométricas e radiométricas, essas imagens foram transformadas pela Análise de Componentes Principais (ACP), removendo a correlação entre as bandas, que transforma a imagem composta por bandas em uma nova imagem composta por Componentes Principais. As bandas originadas são chamadas de Bandas CP e são combinações lineares das bandas espectrais originais, estas não são correlacionadas. A banda CP1 possui alta percentagem da variância dos dados, a CP2 possui menos variância que a primeira, e assim por diante. As últimas bandas CP apresentam mais ruídos.

Os componentes que apresentaram valores diferenciados nas áreas das cicatrizes foram CP1, CP2 e CP5, essa decisão ocorreu após a análise do perfil horizontal da imagem e reconhecimento do comportamento dos componentes. Foi possível definir bem os limites das cicatrizes, a fim de se encontrar os valores máximos e mínimos dos componentes, enquanto se percorria o *mouse* na área da cicatriz da queimada.

A definição desses valores foi essencial para construção da Árvore de Decisão usada como classificador da imagem (Figura 9). Os algoritmos inseridos em cada nó da árvore de decisão foram criados com base nos valores obtidos do gráfico do perfil horizontal da imagem. O algoritmo criado

através da árvore de decisão separa a classe de interesse, nesse caso as áreas queimadas do restante das classes.

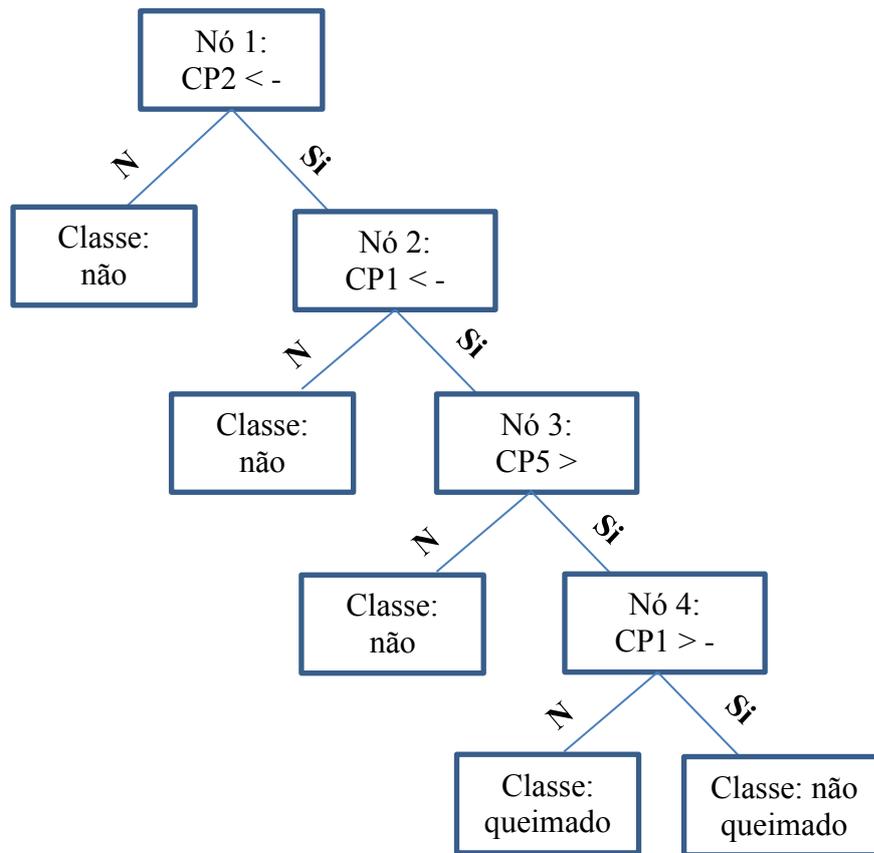


Figura 9 - Árvore de Decisão construída no ENVI 4.5 e executada na classificação das cicatrizes de fogo.

Fonte: Silva, (2010).

4.2 Obtenção e tratamento dos dados

Neste presente estudo, os dados utilizados para análise do padrão sazonal das duas fisionomias do Cerrado em unidades de conservação no DF são oriundos dos índices de vegetação NDVI e EVI (MOD13Q1) disponibilizado pelo sensor MODIS instrumento do satélite TERRA. As imagens MOD13Q1 foram extraídas do portal (<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>) que integra o programa EOSDIS da NASA (*The Earth Observing System Data and Information System*). Este programa visa fornecer dados de observação da Terra para a comunidade científica do mundo todo de forma fácil e confiável (KOBLER e BERBERT, 1991).

As imagens foram adquiridas no período de 2000 a 2012 (19/fev/00 ao dia 18/dez/12). Dentro deste período foram extraídas imagens a cada 16 dias. Ao total foram obtidas 296 imagens, 20 imagens em 2000, pois o sensor MODIS começou a capturar imagens somente em fevereiro de

2000 e 23 imagens no restante dos anos. Como citado anteriormente, cada imagem resulta de um mosaico da seleção dos *pixels* com melhor qualidade de um período de 16 dias. Dessa forma, as imagens representam todo o período em análise.

A cena h13v10 recobre toda a área de estudo. Originalmente as imagens estavam na projeção *integerized sinusoidal* e foram reprojetaadas para o sistema de projeção geográfica LAT/LONG, utilizando o Datum SAD-69. Essas imagens foram mantidas no seu formato original (HDR), sendo que a mesma foi recortada para o DF com uma borda de 15 km. Esses processamentos foram realizados no ambiente computacional do ENVI 4.3.

A fim de extrair os espectros do NDVI e EVI e assim obter uma serie histórica que possibilite analisar a dinâmica sazonal do NDVI e EVI, foi utilizada a técnica de confecção do cubo 3D. As imagens obtidas e processadas foram agrupadas em um cubo espectro-multitemporal, onde o eixo “x” e “y” representam as coordenadas e o eixo “z” é a data de aquisição do NDVI e EVI (Figura 10). Os espectros temporais são ordenados no cubo 3D utilizando a sequência dos dias do ano em ordem crescente.

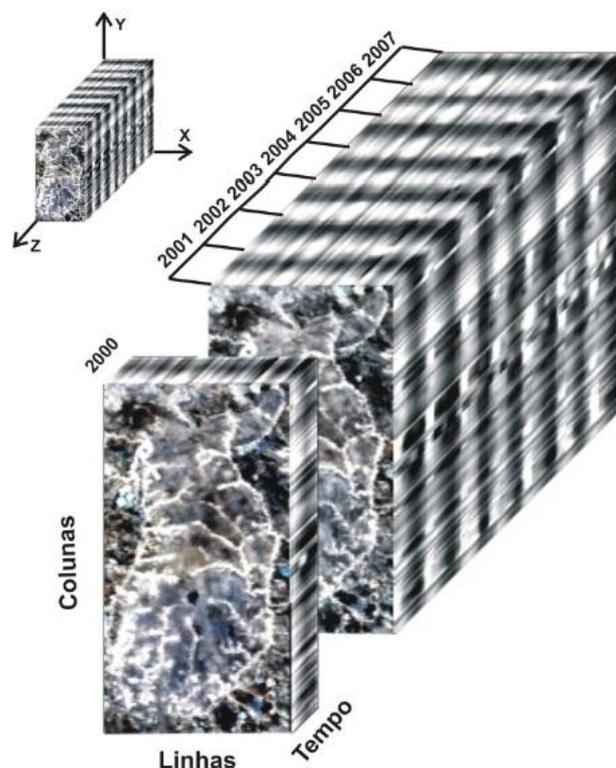


Figura 10 - Imagem do cubo 3D relativo à série temporal NDVI e EVI do sensor MODIS.
Fonte: Carvalho Junior et al., (2009).

Os dados de precipitação pluvial foram obtidos da Agência Nacional das Águas (ANA) por meio do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb). Foram utilizadas as estações de Brasília (1547004) e Taquara (1547013) com precipitação mensal de 2000 a 2012.

Os valores médios do NDVI e EVI para cada área em estudo foram extraídos no ambiente computacional do *software* ENVI 4.3. Na sequência foi organizado em uma tabela para posteriores análises. A partir dos valores médios do NDVI e EVI tabulados para cada uma das nove (9) áreas, foram elaborados perfis espectrais para atender o escopo deste estudo.

4.3 Padrão sazonal e precipitação

Estudos recentes que visam compreender a sazonalidade da vegetação por meio de séries temporais com dados de sensoriamento remoto têm empregado as análises de Fourier (JAKUBAUSKAS et al., 2001). Essa técnica apresenta grande potencial para o monitoramento do uso e cobertura do solo frente às mudanças climáticas globais (JAKUBAUSKAS et al., 2002).

A transformada de Fourier emprega funções matemáticas que separam os dados em componentes de diferentes frequências, ou seja, decompõem uma função complexa. As análises de Fourier são formadas pela somatória de ondas senoidais e cossenoidais, onde cada onda é definida por um valor único de amplitude e fase.

A amplitude, aqui definida como magnitude, corresponde à metade do valor onde a função é máxima e a fase, definida como dias, é o deslocamento entre a origem e o pico da onda no intervalo de 0 a 2π . O primeiro ciclo harmônico tem um período T igual ao período total em estudo, o segundo harmônico corresponde à metade do período do primeiro harmônico T/2, o terceiro harmônico a T/3 e assim sucessivamente. Em geral, o número de harmônicos equivale à metade do número de observações, nesse sentido, os dois ou três primeiros harmônicos geralmente são suficientes para descrever a função periódica (PARDI LACRUZ, 2006). No presente estudo, para avaliar se há diferença significativa entre as transformadas de Fourier das áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais foi empregado o teste de hipóteses ao nível de significância de 5%.

Com o NDVI e EVI somente das áreas de referência, foi obtida a média mensal de cada ano e a média mensal de todo o período em estudo (2000 a 2012) e, foram plotados em gráficos para ilustrar o padrão sazonal da vegetação. Com esses dados médios foram elaborados gráficos de anomalias, que é a diferença da média mensal do índice de todo o período e a média mensal de determinado ano, e, dessa forma possibilitar inferir sobre períodos com eventos climáticos atípicos.

Com os dados médios mensais de cada ano para o NDVI e EVI em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais foi calculado a correlação desses índices com a precipitação. A correlação foi calculada para o mês corrente, com um, dois e três meses de defasagem. Com os mesmos dados foram elaborados gráficos de dispersão do NDVI e EVI em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais com a precipitação para avaliar o ajuste de tendências dessas variáveis, o coeficiente de determinação (R^2) da dispersão foi calculado a partir de uma equação linear simples.

Outro gráfico de dispersão elaborado mostra o coeficiente de determinação entre as áreas com registro de incêndios e as áreas de referência. Nessa análise foram separados os períodos com registro de queimadas, meses secos e meses chuvosos. Os meses definidos com queimadas foram de agosto a outubro, que são os meses com maior ocorrência de queimadas, esses meses só foram separados nos anos com queimadas. Os meses do período seco foram de outubro a abril e os meses do período chuvoso compreendem de maio a setembro, conforme definido por Castro et al., (2003).

4.4 Análise da recuperação pós-fogo

Para quantificar o período necessário para a recuperação do vigor da vegetação do Cerrado no DF após distúrbio de incêndio foi elaborada uma metodologia para quantificar esse período em dias (Figura 11).

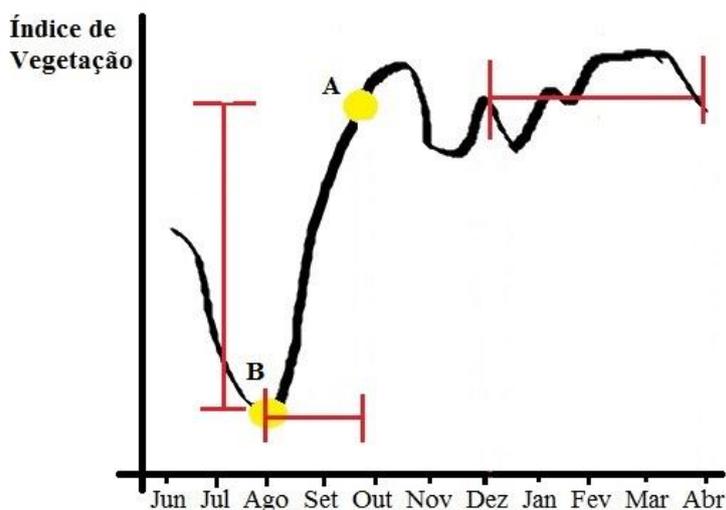


Figura 11 - Esquema hipotético do cálculo do período necessário para recuperação do vigor da vegetação após um período seco e/ou pós-fogo. A: ponto onde o índice de vegetação se recuperação do evento; B: ponto com menor índice de vegetação ocasionado pelo evento.

Fonte: Moreira-Souza, (2014).

O ponto A representa hipoteticamente o momento em que o índice de vegetação se recupera do período seco e/ou do fogo. Esse ponto é obtido pela média dos índices de vegetação no período de dezembro a abril, dessa forma, o índice de vegetação que supera esse valor médio é o ponto onde a vegetação se recupera. A opção de calcular a média somente a partir de dezembro e não antes de dezembro, mesmo sendo período chuvoso é porque na maior parte das áreas o índice de vegetação ainda apresenta valores baixos.

O ponto B representa o índice de vegetação mais baixo, período mais seco e/ou com registro de incêndios. Então, o período necessário em dias para recuperação do vigor da vegetação é dada pelo período compreendido entre o menor índice (ponto B) e o período que o índice supera a média dos índices de vegetação entre dezembro e abril (ponto A). Por meio desses dois pontos também, no eixo y, foi calculada a amplitude dos índices de variação.

A maior dificuldade em detectar o comportamento da vegetação pós-fogo em séries temporais é devido às diferenças nos dados obtidos e nas flutuações sazonais. Para contornar o padrão sazonal da vegetação, Diaz-Delgado (2001) propôs comparar áreas queimadas e não queimadas.

Contudo, no presente estudo a determinação do período de recuperação não foi definido por meio da contraposição de uma área que queimou com uma área de referência, pois no caso do Cerrado esse período é muito curto e há grande discrepância no tempo de recuperação entre as áreas. De forma meramente ilustrativo, é mostrado figuras das áreas queimadas com a área de referência no capítulo de resultados e discussão. Essa metodologia é aplicada em regiões temperadas onde o tempo de recuperação da vegetação é grande, no mínimo 4-5 anos, chegando até 13 anos (GOETZ et al., 2006; CUEVAS-GONZÁLEZ et al., 2009; GITAS et al., 2012a).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Padrão sazonal da vegetação do Cerrado no DF

As análises de Fourier foram empregadas no presente estudo para extrair informações de sinais periódicos das séries temporais dos índices de vegetação do MODIS. A Figura 12A e a Figura 12B representam, respectivamente, as análises de Fourier do NDVI em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais e do EVI em áreas de sentido restrito e Campos naturais.

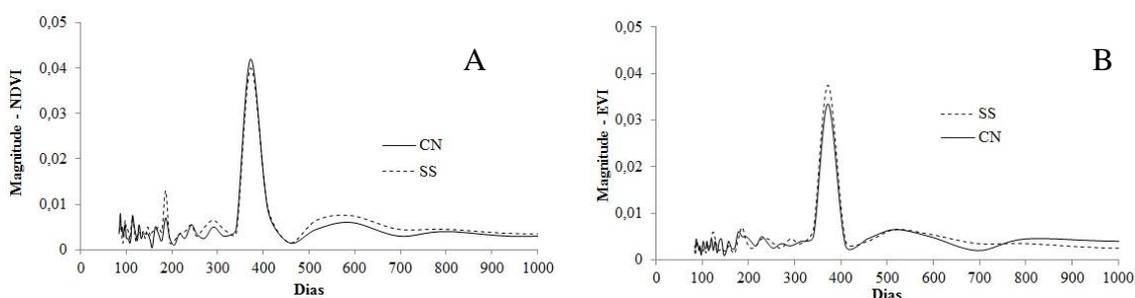


Figura 12 – Sinais periódicos das séries temporais dos índices NDVI e EVI do MODIS a partir da transformada de Fourier. A - NDVI nas áreas de SS (Cerrado sentido restrito) e CN (Campos naturais); B - EVI nas áreas de SS e CN.

A análise de frequência pela transformada de Fourier mostrou um ciclo anual bem definido no Cerrado do DF. O maior pico na magnitude ocorreu em torno de um (1) ano (365 dias) para o NDVI e EVI, isso denota que a cada um ano no Cerrado do DF há um ciclo sazonal completo da vegetação, compreendido pela estação chuvosa e a estação seca.

A média da magnitude da transformada de Fourier para o NDVI em áreas de Cerrado sentido restrito foi de 0,00507 e em áreas de Campos naturais a média foi de 0,00478. Já o EVI em áreas de Cerrado sentido restrito, a média da magnitude foi de 0,00401 e em áreas de Campos naturais a média foi de 0,00412.

A magnitude na transformada de Fourier fornece informações do tipo de cobertura do solo e eventuais mudanças. Nesse sentido, uma cobertura florestal terá maior magnitude do que uma pastagem. Para o NDVI o valor médio da magnitude nas áreas de Cerrado sentido restrito foi maior que em áreas de Campos naturais. Contudo, a partir do teste de hipótese utilizando nível de significância de 5%, observou-se que não há diferença significativa entre as magnitudes da transformada de Fourier dessas duas formações vegetais. Nessas mesmas áreas, utilizando o índice de vegetação EVI, a média da magnitude em áreas de Cerrado de sentido restrito foi menor que em áreas de Campos naturais, contudo, não há também diferença estatística significativa entre os valores.

A Figura 13 e a Figura 14 mostram perfis do NDVI em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais, respectivamente. Essas linhas representam a média do índice de vegetação em determinado período e a média do índice de vegetação para todo o período estudado que é compreendido de 2000 a 2012. A Figura 15, por sua vez, sintetiza o que está plotado nas Figura 13 e Figura 14 por meio do gráfico de anomalias, ou seja, é a diferença entre a média do índice de vegetação em determinado período e a média do índice de vegetação para todo o período (2000 a 2012).

Observa-se que as áreas de Campos naturais apresentaram maior amplitude vertical entre os picos e vales das fases sazonais ao longo do perfil da série histórica do que em áreas de Cerrado sentido restrito (Figura 13 e Figura 14). As linhas que apresentam as anomalias do NDVI entre as áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais, apresentam a mesma tendência, ou seja, não há diferença substancial entre as anomalias dessas duas formações para o NDVI (Figura 15).

As séries de anomalias do NDVI em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais mostraram que há uma queda acentuada da média do NDVI no segundo semestre dos anos 2001, 2003, 2005 e 2012 em relação à média do NDVI em todo o período (2000 a 2012) (anomalias negativas apontam períodos mais secos). Em 2003, 2006 e 2009, observa-se que a média do NDVI foi superior a média do mesmo índice para todo o período em estudo, esses são os anos em que a linha de anomalias mais distancia da linha neutra para anomalia positiva (períodos mais chuvosos). Desde 2006, exceto em 2012, não foram observados anomalias acentuadas para valores negativos (Figura 15).

A Figura 16 e a Figura 17 mostram perfis do EVI, respectivamente, em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais. Essas linhas representam a média do índice de vegetação em cada ano e a média do índice de vegetação para todo o período que é compreendido de 2000 a 2012. Não foram observadas diferenças marcantes entre essas duas figuras, dessa forma, foi plotado as anomalias do EVI na Figura 18 que elucida a diferença entre essas duas linhas.

No perfil de anomalias do EVI os períodos com maior queda do índice (anomalias negativas) ocorreram em 2001, 2002, 2007 e entre 2008 e 2009, períodos considerados mais secos. E, o período com anomalias, com valores mais positivos ocorrem entre 2005 e 2006 e no ano de 2010. Conforme o NDVI, as linhas das anomalias do EVI em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais apresentam a mesma tendência (Figura 18).

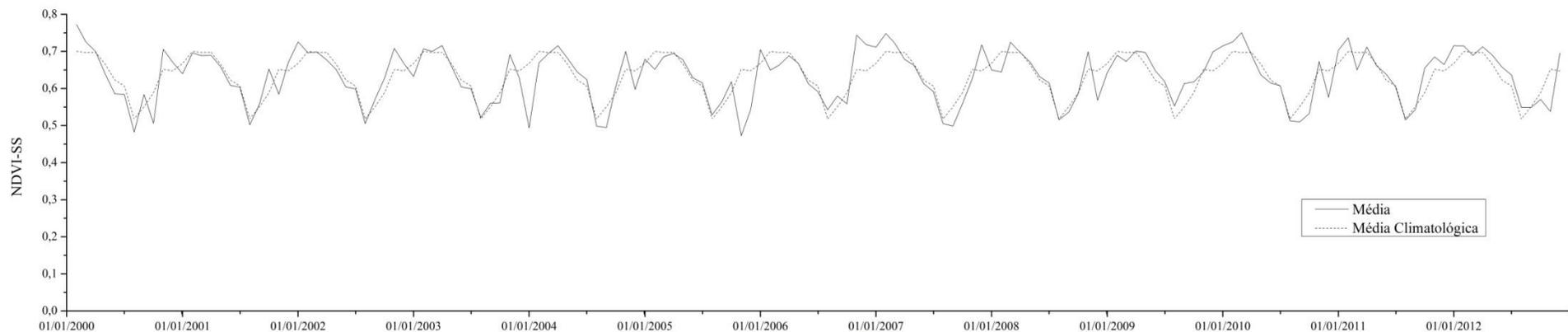


Figura 13 - Perfil sazonal do NDVI em áreas de Cerrado sentido restrito (SS) representado pela média mensal do NDVI de todo o período em estudo (2000 a 2012) (média climatológica) e a média mensal de cada ano (média).

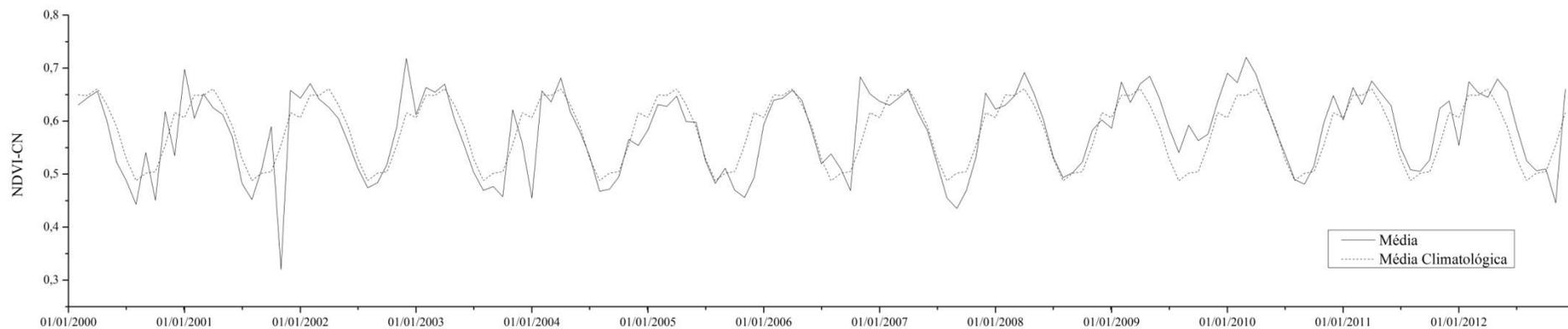


Figura 14 - Perfil sazonal do NDVI em áreas de Campos naturais (CN) representado pela média mensal do NDVI de todo o período em estudo (2000 a 2012) (média climatológica) e a média mensal de cada ano (média).

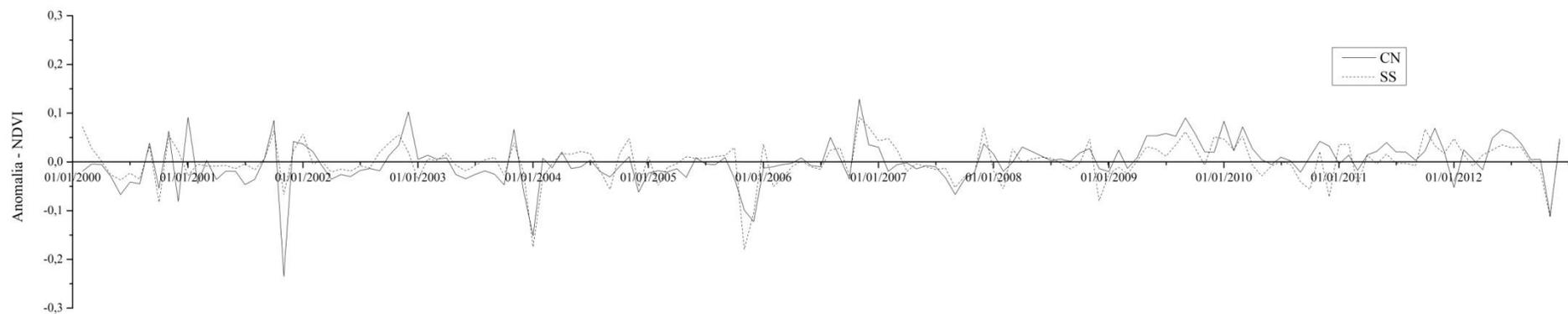


Figura 15 - Diferença da média mensal do NDVI de toda a série histórica estudada (2000 a 2000) e a média mensal de cada ano para as áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais.

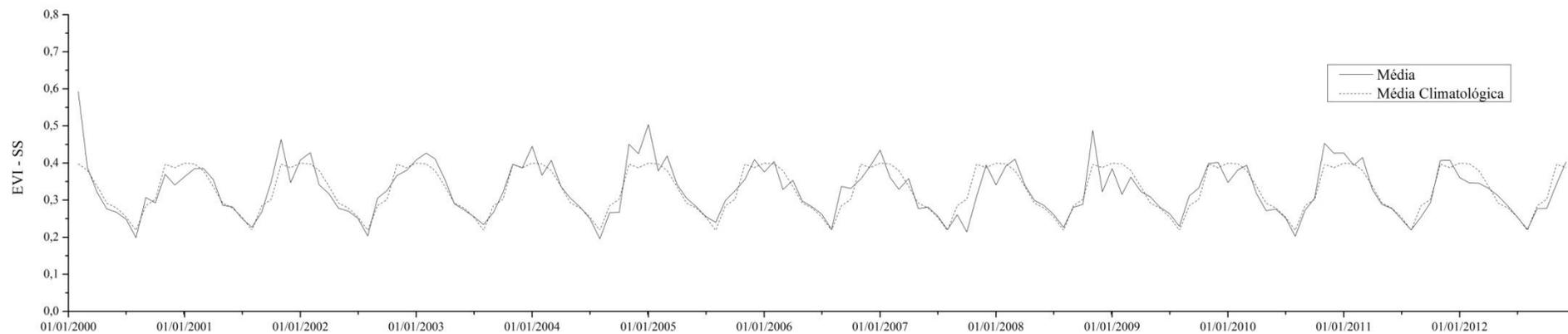


Figura 16 - Perfil sazonal do EVI em áreas de Cerrado sentido restrito (SS) representado pela média mensal do EVI de todo o período em estudo (2000 a 2012) (média climatológica) e a média mensal de cada ano (média).

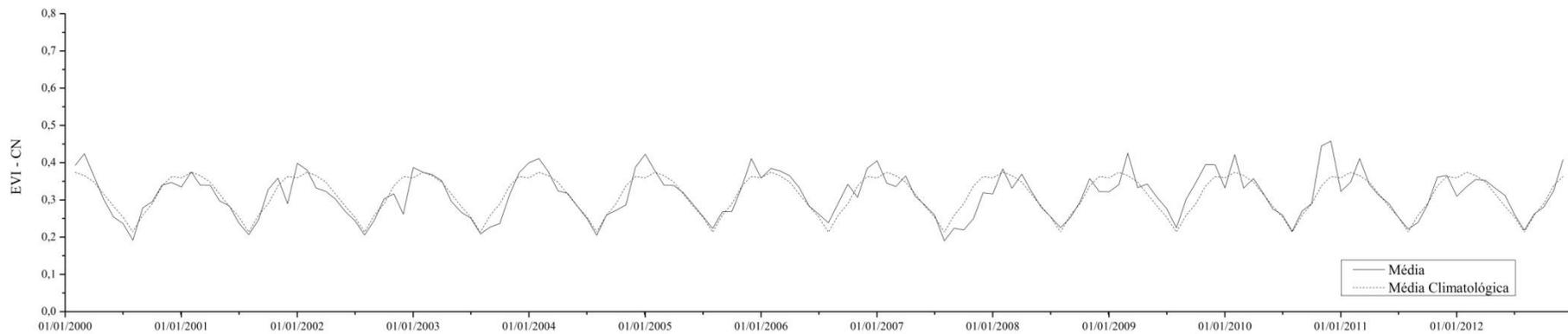


Figura 17 - Perfil sazonal do EVI em áreas de Campos naturais (CN) representado pela média mensal do EVI de todo o período em estudo (2000 a 2012) (média climatológica) e a média mensal de cada ano (média).

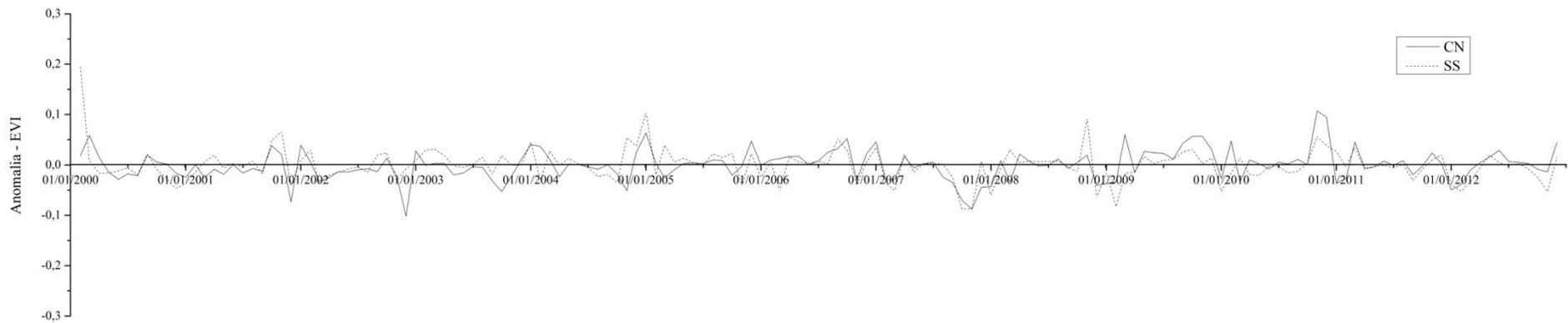


Figura 18 - Diferença da média mensal do EVI de toda a série histórica estudada (2000 a 2000) e a média mensal de cada ano para as áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais.

A Figura 19 ilustra as médias climatológicas do período de 2000 a 2012 da precipitação pluvial juntamente com os índices de vegetação NDVI e EVI nas classes de vegetação Cerrado sentido restrito e Campos naturais no DF. Nesse gráfico é possível observar os dois períodos bem marcantes que ocorrem no Cerrado, em consonância com Ratana et al., (2005).

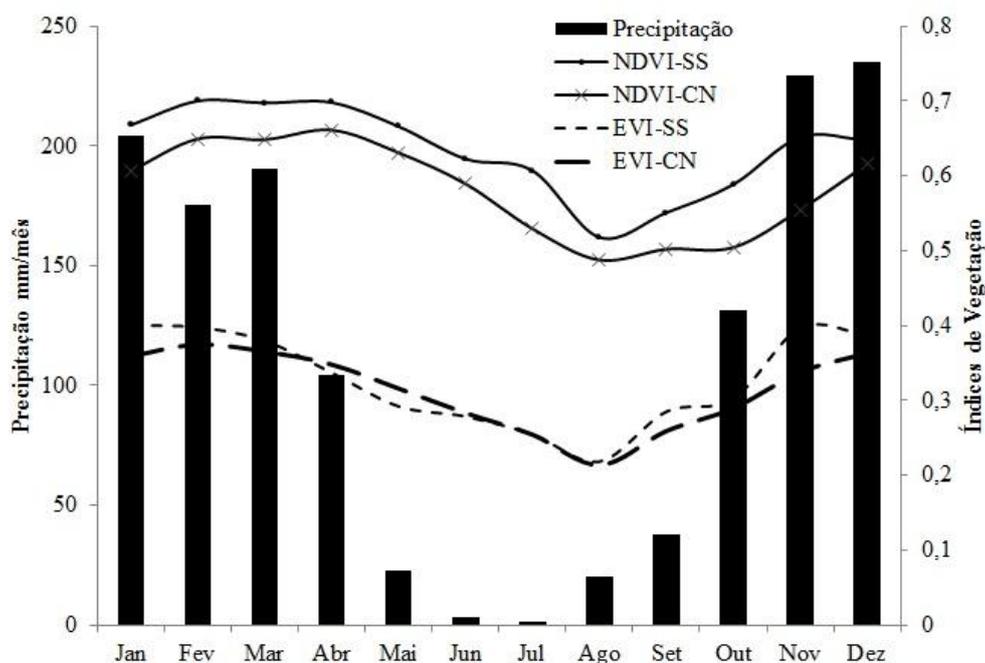


Figura 19 - Média de toda a série histórica em estudo (2000 a 2012) do padrão sazonal da precipitação pluvial e média dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais no DF.

Os dois índices de vegetação delinearão satisfatoriamente o padrão sazonal da precipitação. Aumento dos índices devido à alta atividade fotossintética e maior biomassa, reflexo do aumento da precipitação. Decréscimo dos índices devido à redução das taxas fotossintéticas e redução da fitomassa foliar com a diminuição da precipitação pluvial.

Nesse sentido, as duas classes de vegetação do Cerrado utilizadas neste estudo são fortemente influenciadas pelo regime de chuvas. Contudo, nem todas as fisionomias do Cerrado são tão influenciadas pelo padrão sazonal da precipitação. A maior disponibilidade de água em áreas de floresta e próximas a rios aliada a adaptação de muitas espécies do Cerrado com raízes profundas proporciona maior estabilidade da atividade fotossintética e manutenção da fitomassa foliar (HUETE et al., 2006).

Nesse gráfico infere-se que o período chuvoso é de outubro a abril e o período seco ocorre nos meses de maio a setembro, conforme constatado também por Castro et al., (2003). No presente estudo o período seco foi definido com precipitação menor que 100 mm (BECERRA et al., 2009).

Observou-se que a queda dos índices de vegetação com a diminuição da precipitação pluvial é mais gradual do que o crescimento dos índices com o começo do período chuvoso. Com o início das primeiras chuvas, a vegetação responde mais rapidamente, o que reflete no aumento mais rápido do NDVI e EVI. A queda mais lenta dos índices de vegetação ocorre devido às reservas de água no solo do cerrado que ficam disponíveis para as plantas, as características das espécies do cerrado também corroboram, pois apresentam folhas coriáceas, cascas grossas que minimiza a perda de água e raízes profundas.

Os dois índices apresentam padrão sazonal similar, contudo, o NDVI apresentou os maiores índices comparado com o EVI, padrão comumente encontrado em trabalhos que empregam esses dois índices. A diferença entre os dois índices ocorre devido às particularidades de cada um. Huete et al., (2002) observaram que o NDVI é mais sensível a clorofila e outros pigmentos, enquanto o EVI é mais sensível a estrutura do dossel e não apresenta o problema de saturação em áreas de alta biomassa.

O NDVI em áreas de Cerrado sentido restrito apresentou os maiores índices de vegetação em todos os meses da média geral de 2000 a 2012 tendo em vista que são áreas com maior estrato vegetal e com indivíduos maiores comparado com Campos naturais. As áreas de Cerrado sentido restrito do EVI também apresentaram maiores índices de vegetação ao longo da média de todo o período estudado comparado com o EVI de áreas de Campos naturais, exceto de abril a junho.

O NDVI apresentou maior amplitude entre as duas classes de cobertura vegetal, diferente do EVI que a amplitude é menor e, ainda, nos meses de julho a agosto não houve diferença entre essas duas áreas e o índice em áreas de Cerrado sentido restrito foi menor que o de Campos naturais de abril a junho. Nesse sentido, esse resultado é um indicativo que o NDVI pode ser melhor na distinção das fisionomias do Cerrado. Em ambos os índices, a maior amplitude entre as duas áreas foi constatada no período que há crescimento nos índices pluviométricos, período de aumento nos valores dos índices de vegetação.

A Figura 20 elucidada o perfil sazonal médio do NDVI e EVI em todo o período de análise (2000 a 2012) com o desvio padrão em áreas de Cerrado sentido restrito e

Campos naturais. Observou-se que o NDVI apresenta maior desvio padrão em todas as classes de cobertura vegetal, no EVI os valores estão mais ajustados próximos à média. Em ambos os índices no período seco, a flutuação da biomassa e atividade fotossintética é menor.

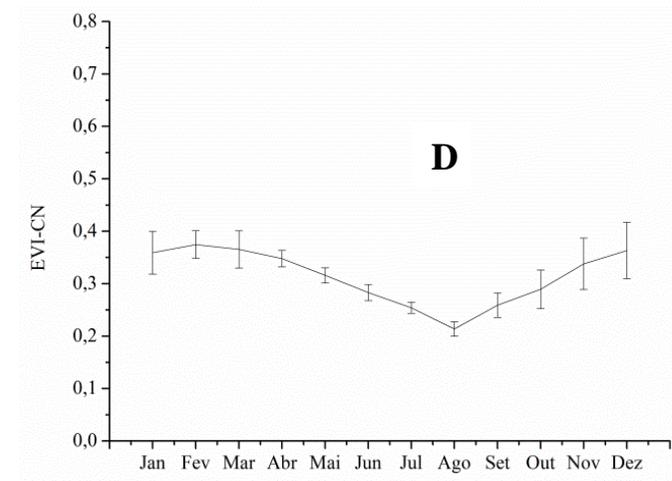
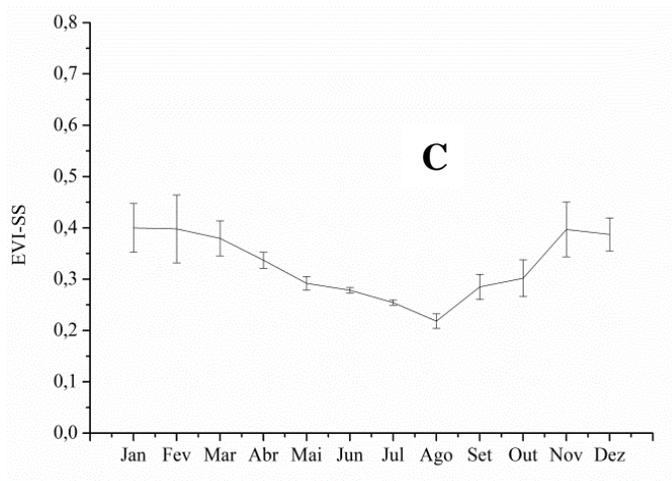
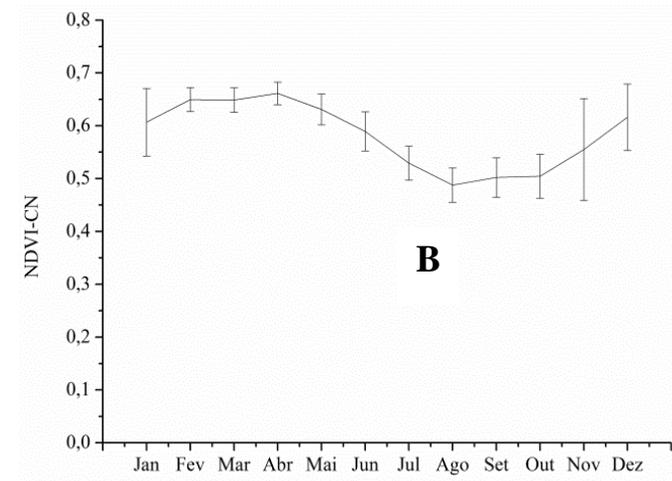
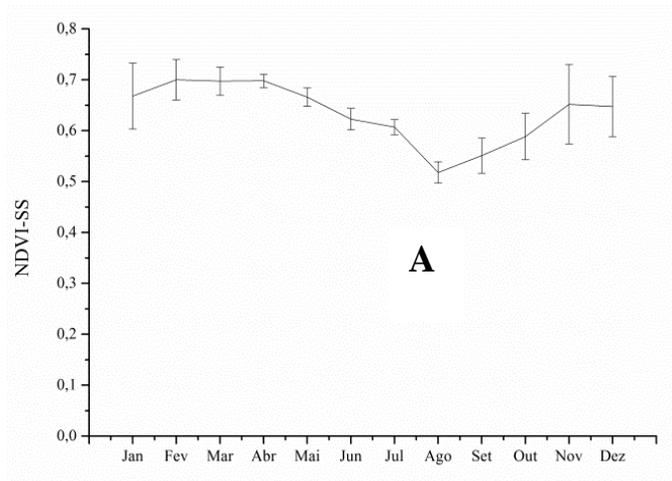


Figura 20 - Média climatológica e desvio padrão do comportamento sazonal definido pelos índices de vegetação NDVI e EVI. A: NDVI em área de Cerrado sentido restrito (SS) no período de 2000 a 2012; B: NDVI em áreas de Campos naturais (CN) no período de 2000 a 2012; C: EVI em áreas de SS no período de 2000 a 2012; D: EVI em áreas de CN no período de 2000 a 2012.

A Figura 21 apresenta a dispersão da precipitação pluvial com os índices de vegetação NDVI e EVI nas respectivas fisionomias do Cerrado estudadas neste trabalho. Os maiores coeficientes de determinação foram obtidos com o índice de vegetação EVI, 0,4933 e 0,4151 nas classes de Cerrado sentido restrito e Campos naturais, respectivamente. Já o NDVI apresentou valores de 0,077 e 0,0516 para Cerrado sentido restrito e Campos naturais, respectivamente.

O coeficiente de determinação (R^2) denota o quanto as variáveis dependentes estão sendo explicadas pelas variáveis independentes, quanto mais próximo de um (1) melhor será a relação. Para o NDVI verificou-se que os valores das variáveis independentes estão explicando muito pouco a variável dependente, por outro lado, o EVI melhora bastante esse parâmetro.

A Tabela 5 mostra os valores das correlações entre o NDVI e EVI em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais com a variável climática precipitação para um período sem defasagem e com um, dois e três meses de defasagem.

Tabela 5 – Correlação do NDVI e EVI com dados de precipitação pluviométrica para um período com um, dois, três e nenhum mês de defasagem.

	Precipitação (mm)			
	Sem atraso	1 mês de atraso	2 meses de atraso	3 meses de atraso
NDVI-CN	0,227	0,598	0,650	0,364
NDVI-SS	0,277	0,616	0,631	0,317
EVI - SS	0,702	0,669	0,476	-0,201
EVI - CN	0,644	0,694	0,600	0,0263

SS - Cerrado sentido restrito; CN - Campos naturais.

As máximas correlações entre o NDVI e EVI e a precipitação em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais mostraram coeficientes superior a 0,6, o que denota uma relação direta dessas variáveis. Com defasagem de dois meses para o NDVI em áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais são encontrados os maiores coeficientes de correlação, com 0,65 para Campos naturais e 0,631 para Cerrado sentido restrito. Exatamente no mês corrente a correlação do NDVI com a precipitação é muito baixa.

Para o EVI em áreas de Cerrado sentido restrito a maior correlação ocorre no mês corrente, em áreas de Campos naturais o maior coeficiente de correlação ocorre com um mês de defasagem.

Padrão verificado em outras regiões, estudos na África verificaram um atraso entre o pico da precipitação com o pico da resposta do NDVI (JUSTICE et al., 1986) e a melhor correlação entre o NDVI e a precipitação ocorre entre o mês corrente e os dois meses seguintes que houve alteração na precipitação (MALO e NICHOLSON, 1990).

Farrar et al., (1994) verificaram que a correlação do NDVI com a precipitação nas savanas semi-áridas da Botswana foi alta com alguns meses de atraso na resposta da vegetação. Wang et al., 2003 avaliaram o tempo de atraso de resposta do NDVI com um grande evento de precipitação, verificaram que esse lapso no tempo está em torno de 8 a 26 dias, com resposta provável em 14 dias. Esse estudo foi realizado no Kansas em regiões de pradarias.

Observa-se que o EVI é o que apresenta relação mais forte com o padrão sazonal da precipitação, e responde mais rápido a mudanças na precipitação, isso pode ser explicado possivelmente pelo fato deste índice ter menos problema de saturação e ainda a interferência do solo e da atmosfera ser menor. Becerra et al., (2009) também verificaram o melhor ajuste do EVI com a precipitação.

Era esperado que a correlação da precipitação pluvial com as áreas de Cerrado sentido restrito fosse muito menor, tendo em vista que cobertura vegetal mais densa é menos sensível à variação da precipitação por possuírem raízes mais profundas e áreas com maior estrato gramíneo-herbáceo, assim como em culturas agrícolas tem maior relação com a precipitação já quem apresentam raízes mais superficiais (Wang et al., 2003; Becerra et al., 2010). Contudo, a correlação da precipitação com os índices de vegetação em áreas de Campos naturais e Cerrado sentido restrito não foi substancialmente distinto. É importante ressaltar que outros fatores ambientais bióticos e abióticos também influenciam na dinâmica e desenvolvimento da vegetação do Cerrado.

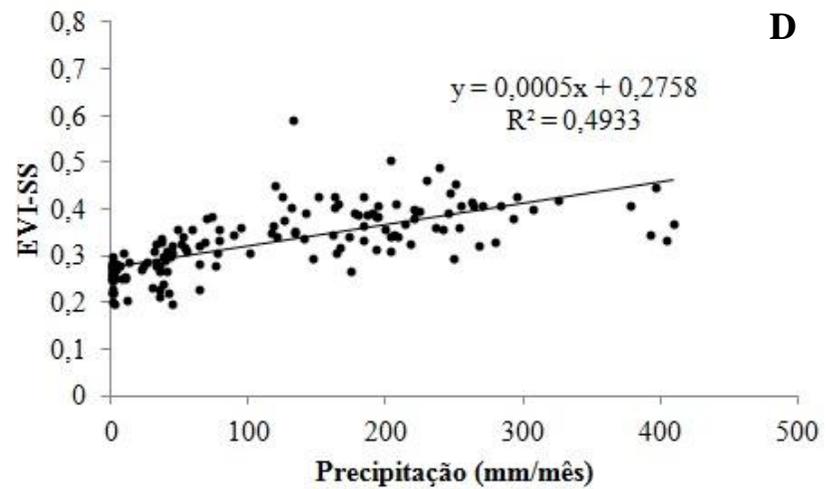
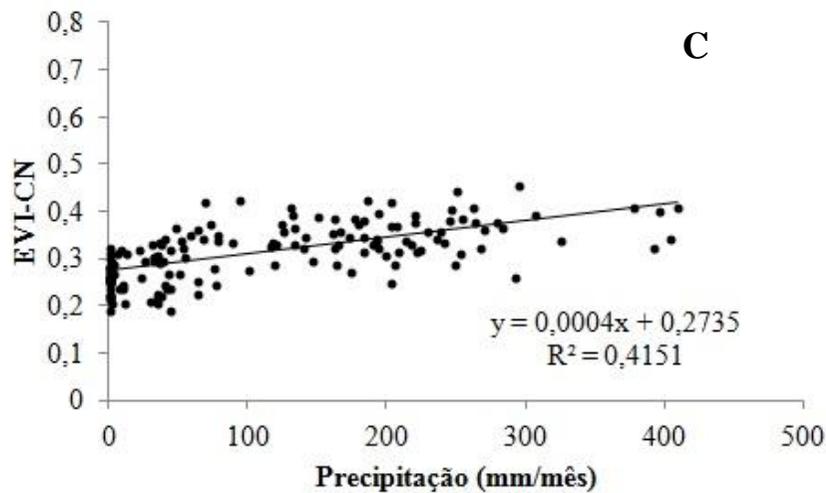
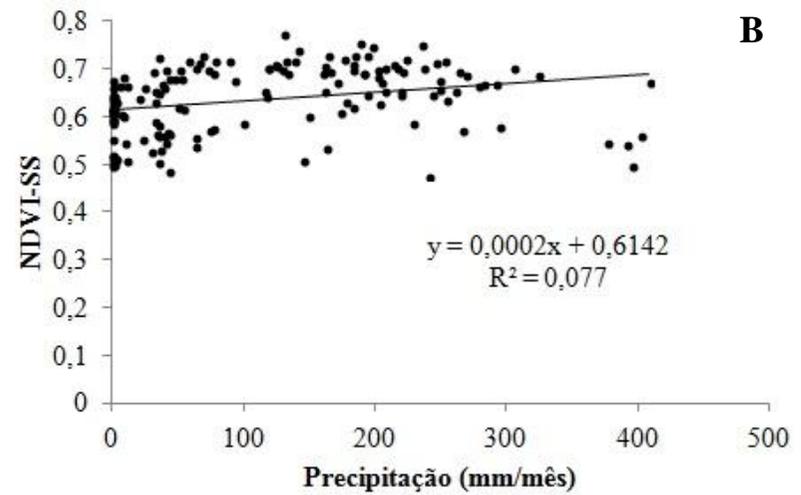
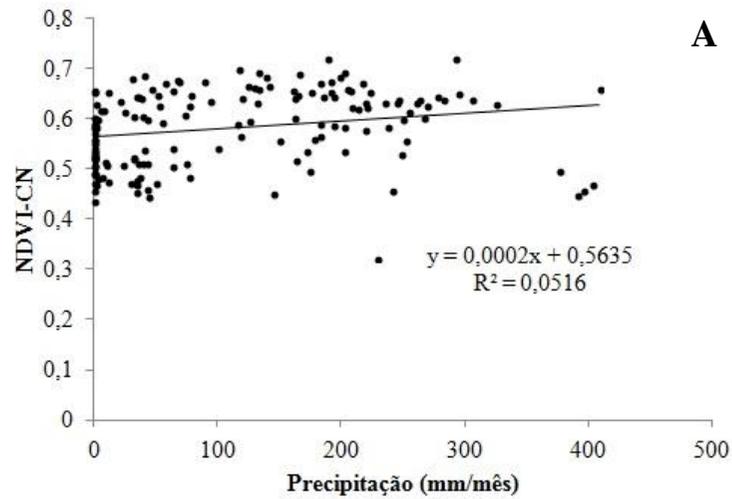


Figura 21 - Gráficos de dispersão a partir de uma regressão linear entre a precipitação pluvial e os índices de vegetação NDVI e EVI. A: NDVI em fisionomias de CN; B: NDVI em áreas naturais de SS no DF; C: EVI em fisionomias de CN no DF; D: EVI em áreas naturais de SS no DF.

Weiss et al., (2004) em uma região semiárida na região central no Novo México, USA, estudaram a correlação entre a sazonalidade da vegetação e fatores climáticos no período de 1990 a 2000. Verificaram considerável correlação positiva entre a precipitação e os valores do NDVI. Observaram que a influencia das variáveis meteorológicas influenciam a variabilidade do NDVI de diferentes formas conforme a estação.

Wang et al., (2003) avaliaram a influência da precipitação, temperatura e umidade do solo sobre o padrão do NDVI a partir do NOAA e AVHRR durante os anos de 1989 a 1997 em Kansas, EUA. Os autores Verificaram que os valores médios do NDVI foram altamente correlacionados com a precipitação, a temperatura foi correlacionada positivamente com o NDVI antes e depois da temporada de crescimento e houve uma correlação negativa fraca durante a fase de crescimento. Concluíram que a precipitação exerce influencia primária sobre o NDVI e essa influencia interfere na produtividade. Constataram que a precipitação influencia o NDVI por meio da umidade do solo.

Outra variável importante na determinação do padrão do NDVI é a umidade do solo (FARRAR et al., 1994; YANG et al., 1997). Essa variável é difícil de ser determinada e nem sempre está disponível para um grande período, diferente da precipitação que é facilmente obtida e trabalhada. A precipitação influencia diretamente o balanço hídrico causando mudanças na umidade do solo. Umidade do solo é considerada um parâmetro chave ligado à precipitação (WANG et al., 2003).

Dessa forma, o presente estudo focou somente na relação da precipitação com os índices de vegetação. A variável climática precipitação pluvial é um dos fatores mais importantes na determinação da destruição espacial e temporal da vegetação, em especial em regiões áridas e semiáridas e é uma variável fácil de ser obtida e trabalhada.

As Figura 22 mostram os ajustes do NDVI entre as áreas de estudo, no eixo das abscissas estão às áreas com registro de incêndios e no eixo das ordenadas as áreas de referência, já nas Figura 22K e Figura 22L todos os eixos mostram correlações entre as áreas de referências.

Nas figuras 22 fica clara a distinção entre o período chuvoso, seco e a ocorrência de distúrbios de incêndios. Os menores índices de vegetação, em geral, ocorrem com distúrbios de incêndios, seguidos pelo período seco e o período chuvoso.

A chuva de pontos do período em que houve queimadas apresenta o menor ajuste com as suas respectivas áreas de referências, média de 0,226 (Tabela 6). Na

Figura 22E o R^2 do período de queimada foi o mais alto (0,9039), e esses pontos não foram claramente distinguidos da chuva de pontos do período chuvoso e seco.

A chuva de pontos do período chuvoso é altamente dispersa, R^2 variando de 0,0247 a 0,6508, média de 0,338. Já os pontos do período seco apresentam maior ajuste conforme o coeficiente de determinação, a média foi de 0,809, variando de 0,7273 a 0,9455 (Tabela 6). Esses resultados afirmam o que já foi citado anteriormente, da menor variância dos índices no período seco.

A Figura 23 mostra os ajustes do EVI entre as áreas queimadas no eixo das abscissas e as áreas de referência no eixo das ordenadas. A Figura 23K e Figura 23L mostram as correlações entre as áreas de referências.

Assim como verificado no NDVI, é claro também a distinção entre os períodos chuvoso, seco e a ocorrência de incêndios no EVI. A média do R^2 do período chuvoso, período seco e a ocorrência de incêndios foram de 0,147, 0,564 e 0,2, respectivamente. No EVI o período chuvoso foi o que apresentou o menor ajuste, seguido por distúrbios de incêndios e período seco (Tabela 6).

A Figura 23E mostra a correlação das áreas PNB_7_10_CN x PNB_N_CN, é interessante observar que o ajuste no período de queimadas foi de 0,7495, o maior ajuste para o EVI com queimadas, no NDVI esse R^2 foi o maior também para o período de queimadas (Figura 22E).

O menor coeficiente de determinação entre as áreas queimadas e as áreas de referências é coerente, já que nas áreas queimadas há o predomínio de cinzas que absorvem a radiação em contraste com uma área com vegetação em plena atividade fotossintética. No caso das áreas PNB_7_10_CN x PNB_N_CN tanto para o NDVI quando para o EVI que apresentaram R^2 alto, pode ter sido ocasionado por um incêndio de menor severidade.

As Figura 22 e Figura 23 denotam que é possível distinguir os períodos apenas com um simples gráfico de correlação. Em ambos os índices, de forma geral, os pontos com ocorrência de incêndios predominaram na região mais baixa dos gráficos, seguido pelos pontos do período seco, e na região mais alta o período chuvoso.

Quando a correlação no período de queimadas com uma área de referência for alto, isso pode ser evidência de incêndios com menos impacto à vegetação, como foi o caso das áreas PNB_7_10_CN x PNB_N_CN.

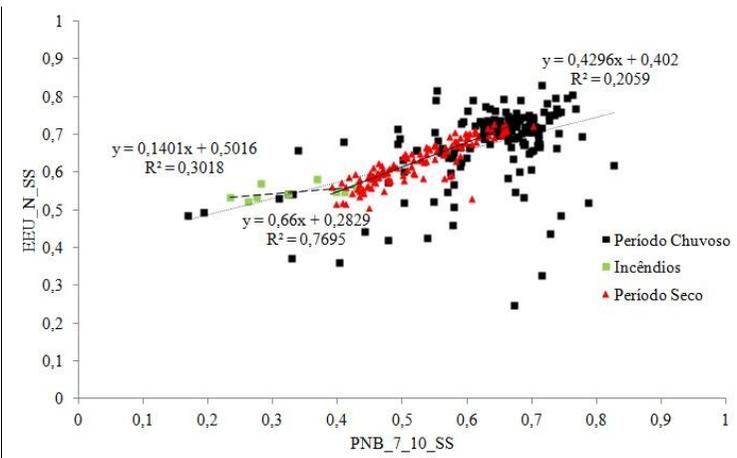
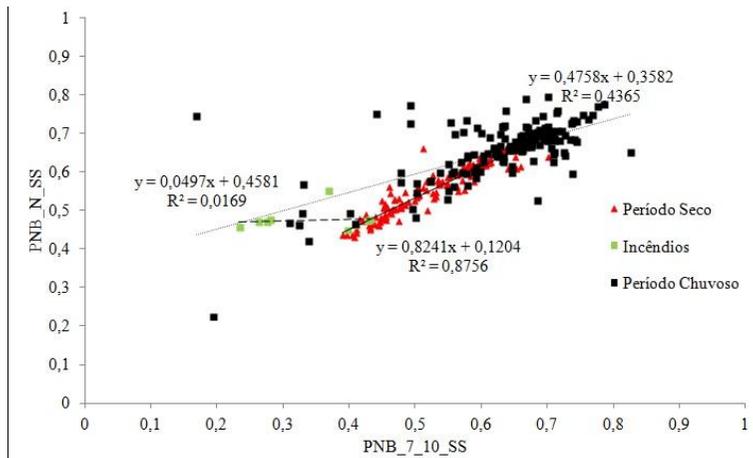
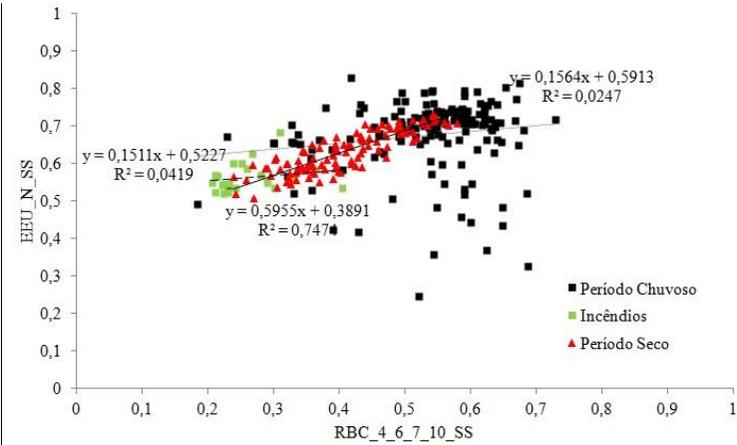
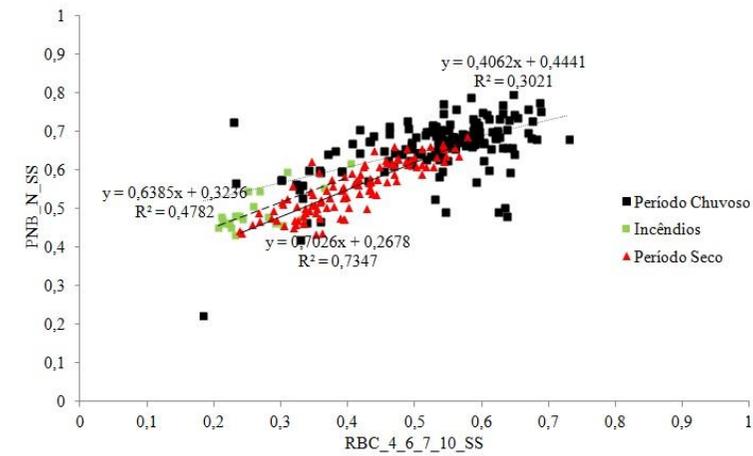
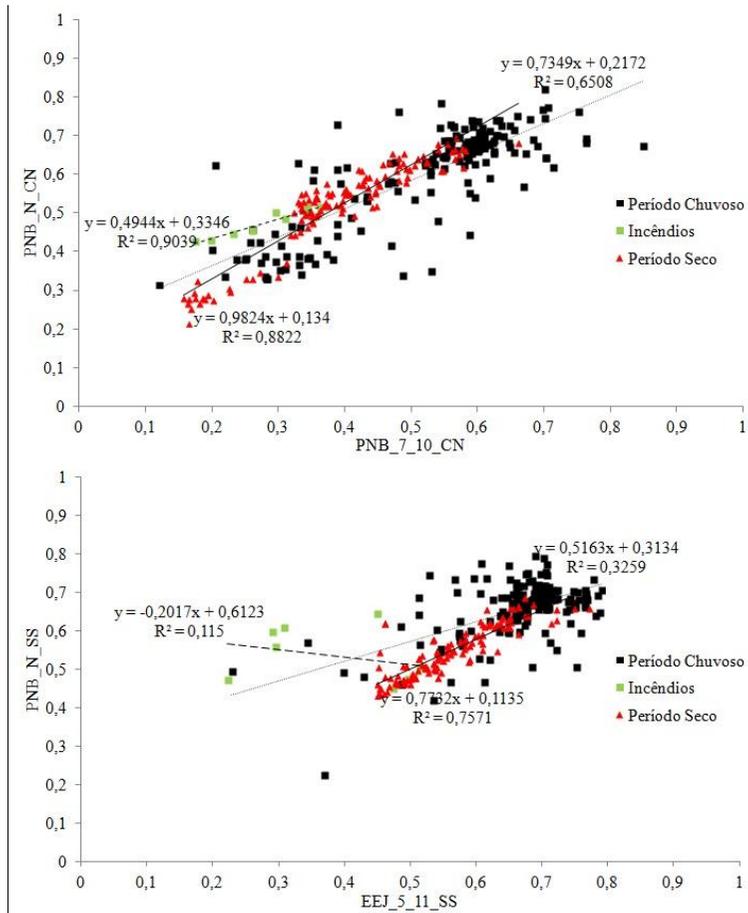
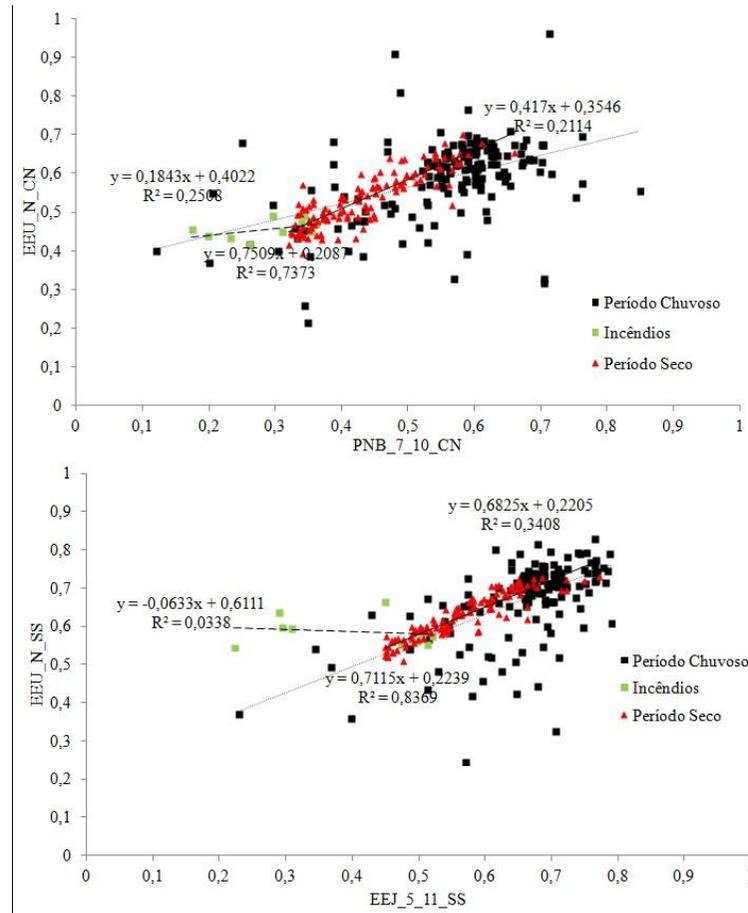


Figura 22: Ajuste do coeficiente de determinação do NDVI entre as áreas em estudo para o período seco, chuvoso e com registro de incêndios.



E

G



F

H

Figura 22: Ajuste do coeficiente de determinação do NDVI entre as áreas em estudo para o período seco, chuvoso e com registro de incêndios.

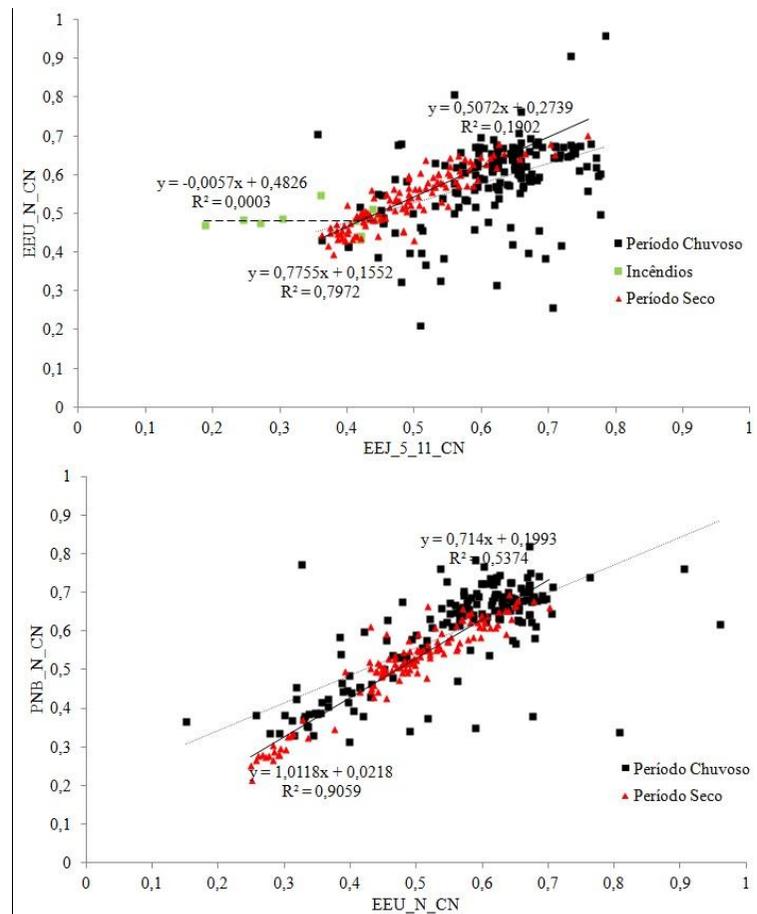
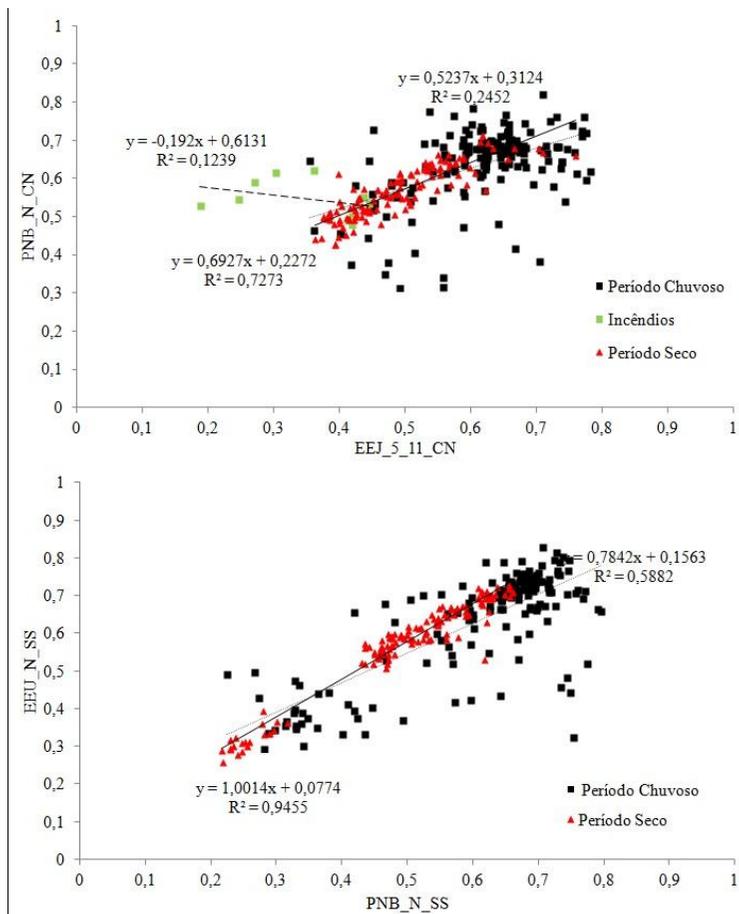


Figura 22 – Ajuste do coeficiente de determinação do NDVI entre as áreas em estudo para o período seco, chuvoso e com registro de incêndios.

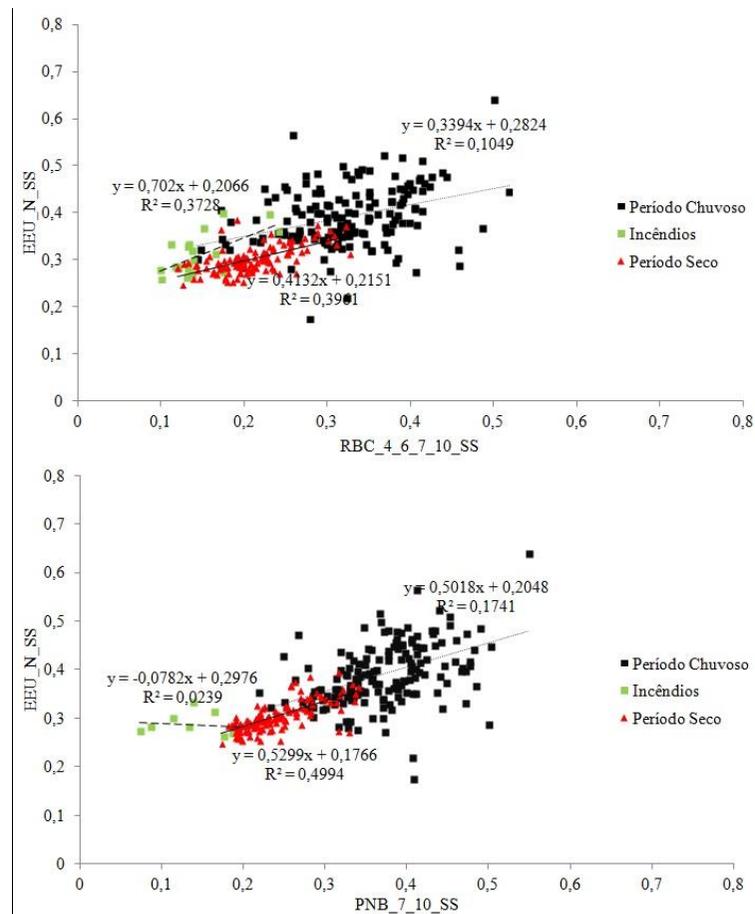
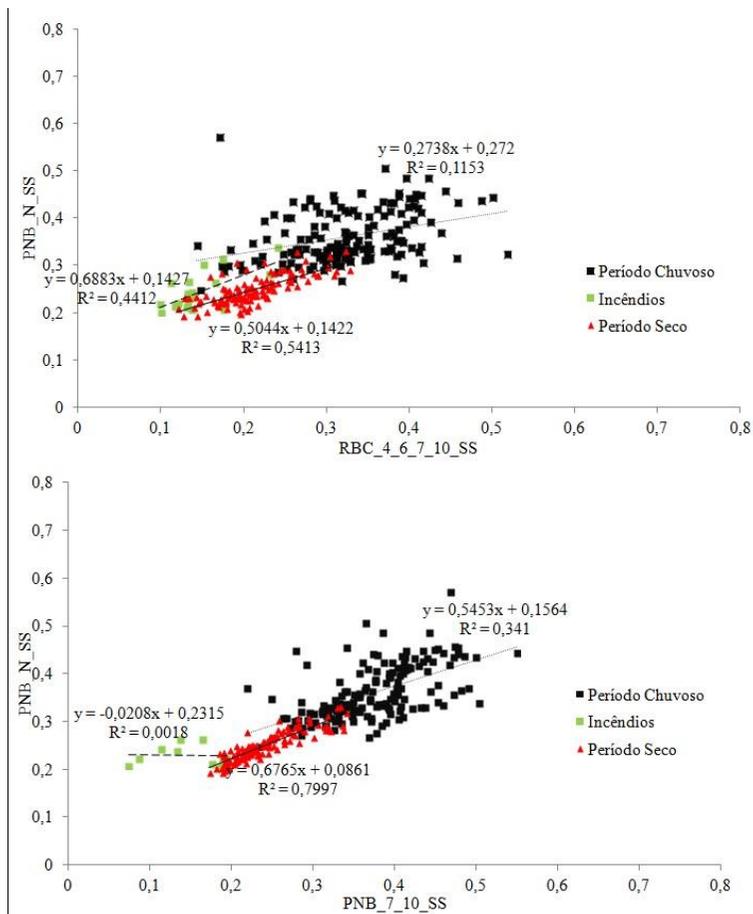


Figura 23 - Ajuste do coeficiente de determinação do EVI entre as áreas em estudo para o período seco, chuvoso e com registro de incêndios.

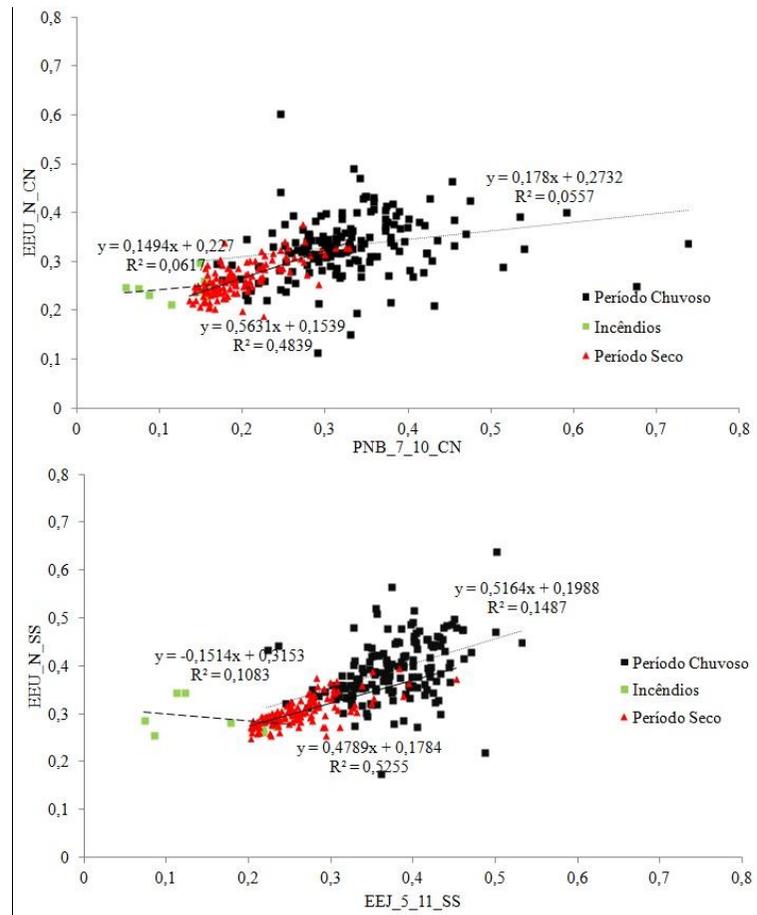
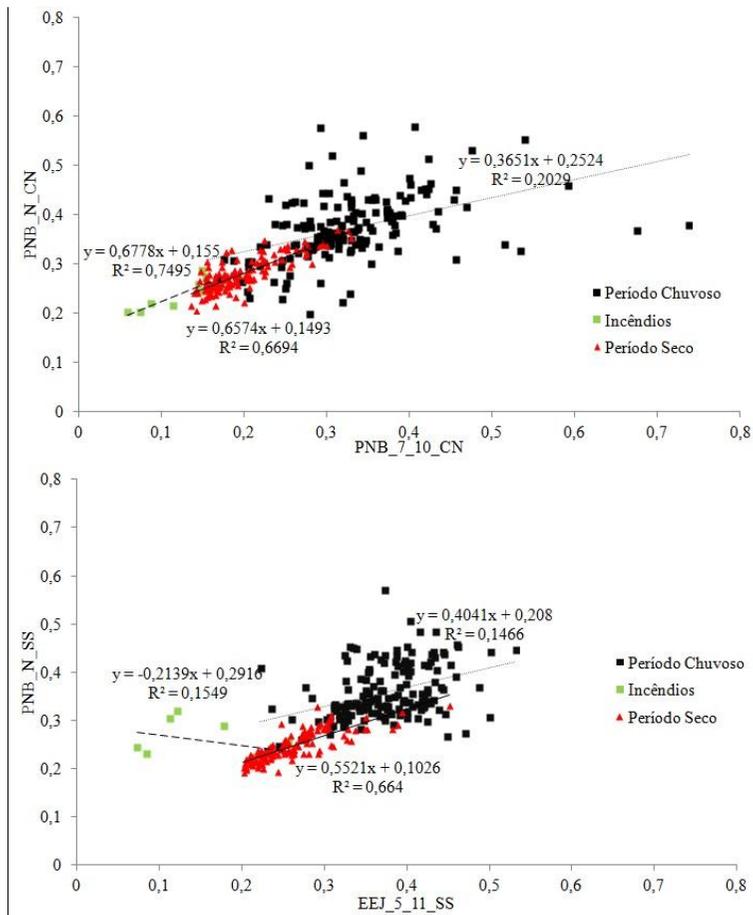


Figura 23 - Ajuste do coeficiente de determinação do EVI entre as áreas em estudo para o período seco, chuvoso e com registro de incêndios.

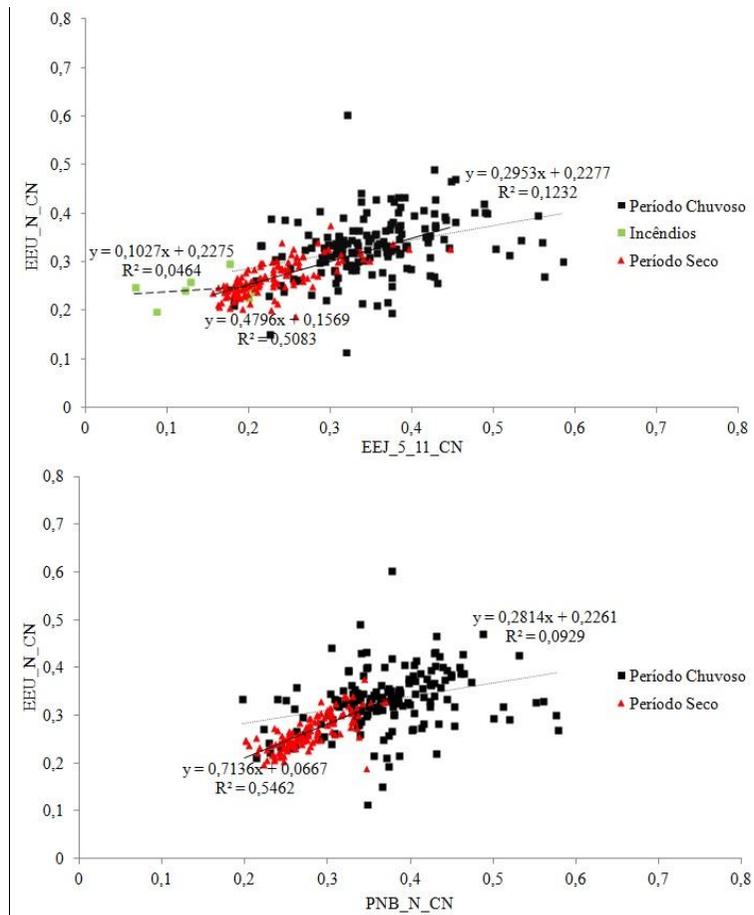
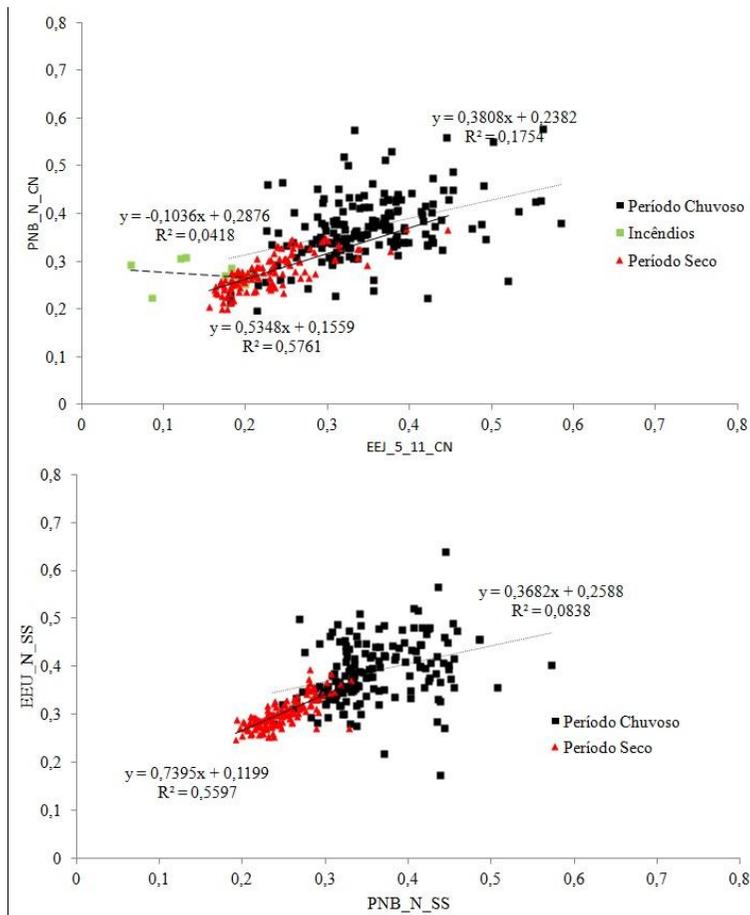


Figura 23 - Ajuste do coeficiente de determinação do EVI entre as áreas em estudo para o período seco, chuvoso e com registro de incêndios.

Tabela 6 - Coeficiente de determinação (R^2) do ajuste das áreas com e sem registro de queimadas para o período seco, chuvoso e com registro de queimadas.

	R^2					
	NDVI			EVI		
	Período Chuvoso	Período Seco	Incêndios	Período Chuvoso	Período Seco	Incêndios
EEJ_5_11_CN x EEU_N_CN	0,192	0,7972	0,0003	0,1232	0,5083	0,0464
EEJ_5_11_SS x EEU_N_SS	0,3408	0,8369	0,0338	0,1487	0,5255	0,1083
EEJ_5_11_CN x PNB_N_CN	0,2452	0,7273	0,1239	0,1754	0,5761	0,0418
EEJ_5_11_SS x PNB_N_SS	0,3259	0,7571	0,115	0,1466	0,664	0,1549
PNB_7_10_CN x EEU_N_CN	0,2114	0,7373	0,2508	0,0557	0,4839	0,0617
PNB_7_10_SS x EEU_N_SS	0,2059	0,7695	0,3018	0,1741	0,4994	0,0239
PNB_7_10_CN x PNB_N_CN	0,6508	0,8822	0,9039	0,2029	0,6694	0,7495
PNB_7_10_SS x PNB_N_SS	0,4365	0,8756	0,0169	0,341	0,7997	0,0018
RBC_4_6_7_10_SS x EEU_N_SS	0,0247	0,7474	0,0419	0,1049	0,3961	0,3728
RBC_4_6_7_10_SS x PNB_N_SS	0,3021	0,7347	0,4782	0,1153	0,5413	0,4412
PNB_N_CN x EEU_N_CN	0,5374	0,9059	-	0,0929	0,5462	-
PNB_N_SS x EEU_N_SS	0,5882	0,9455	-	0,0838	0,5597	-
Média	0,3384	0,8097	0,22665	0,14704	0,56413	0,20023

5.2 Dinâmica dos incêndios florestais

A Figura 24A mostra o perfil sazonal a partir do NDVI das áreas no PNB e RBC. Ao longo de todo o perfil, em geral, os maiores índices são constatados nas áreas que não houve nenhum registro de incêndio (PNB_N_SS e PNB_N_CN) e na área que houve quatro (4) registros de incêndios (RBC_4_6_7_10_SS). Em geral, verificou-se os menores índices ao longo de todo o perfil.

A Figura 24B elucida o perfil sazonal do EVI das áreas do PNB e RBC, é possível verificar que a área RBC_4_6_7_10_SS apresentou os menores valores ao longo do perfil. Em alguns anos o PNB_7_10_CN apresentou valores menores que este.

A Figura 24C e a Figura 24D mostraram o padrão sazonal das áreas do EEJ e EEU definido pelo NDVI e EVI, respectivamente. Nessas figuras observou-se também que o perfil sazonal das áreas sem registro de incêndios apresenta valores mais altos ao longo do perfil.

Nas áreas com registro de incêndios, especialmente com alta frequência, como é o caso da área RBC_4_6_7_10_SS, as queimadas podem ser um fator preponderante para manter os índices de vegetação em níveis baixos ao longo do perfil temporal. Contudo, é importante ressaltar que isso denota também que essas áreas são mais abertas e assim mais propensas à ocorrência de incêndios.

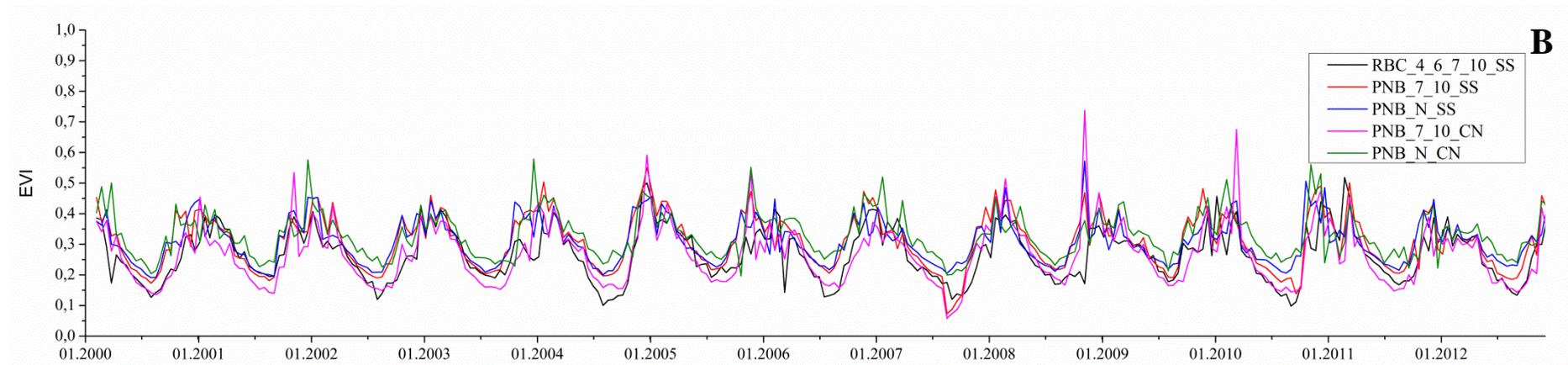
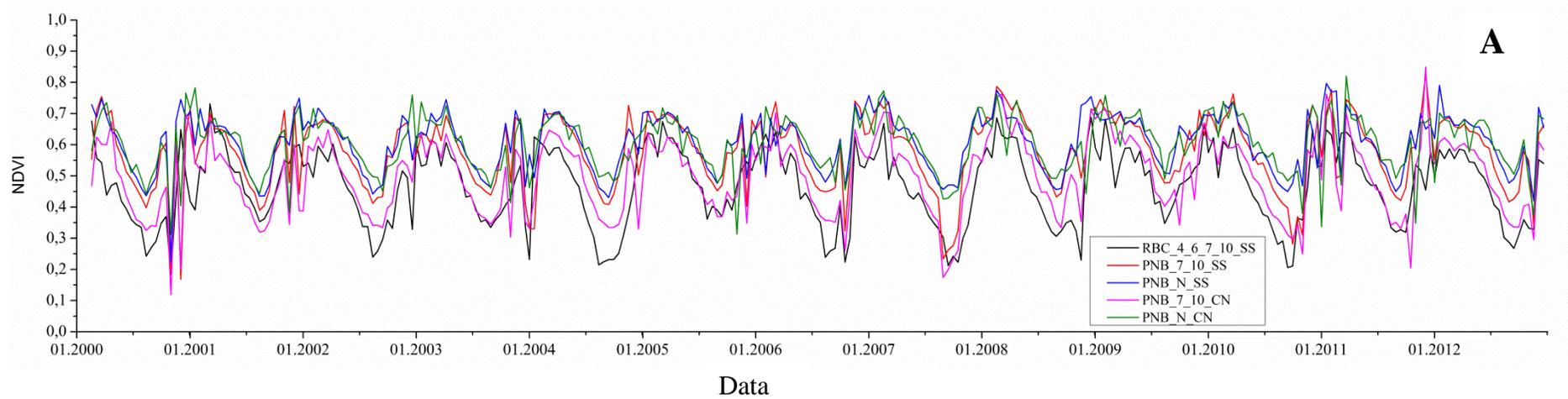


Figura 24 - Perfil sazonal do NDVI e EVI em cada área de estudo. Data

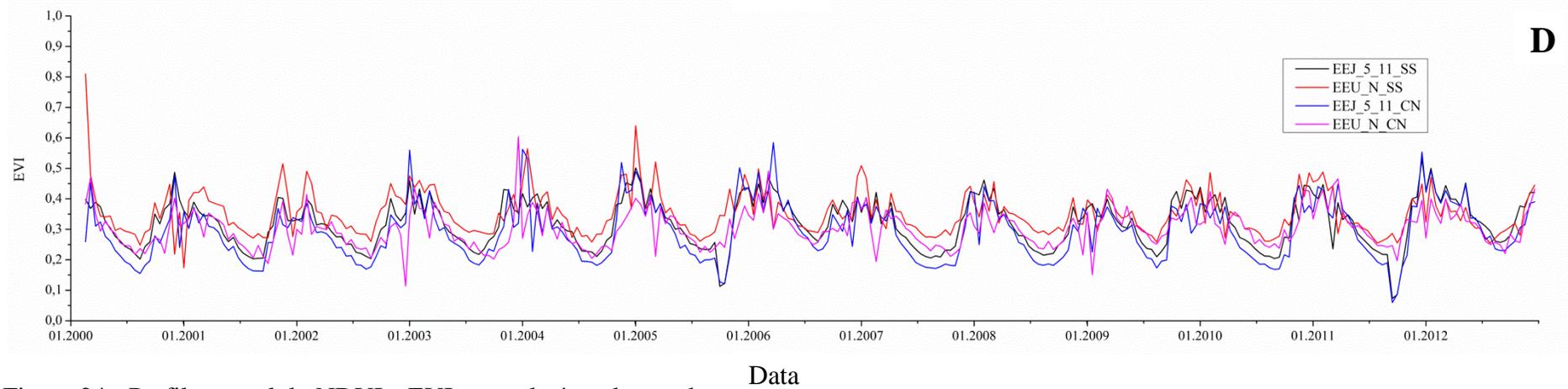
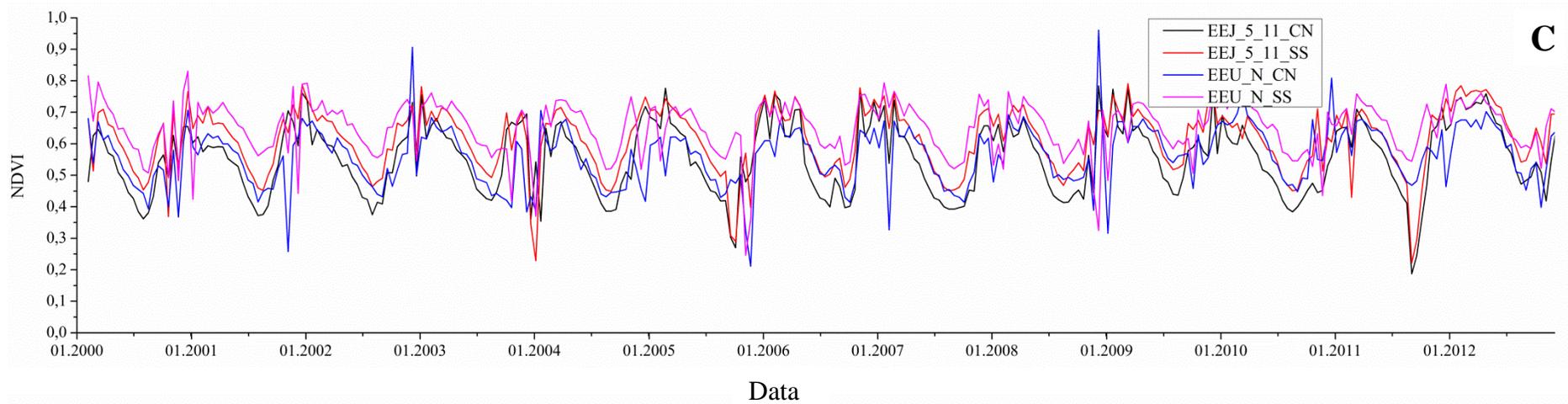


Figura 24 - Perfil sazonal do NDVI e EVI em cada área de estudo.

A Figura 25 mostra o perfil dos índices de vegetação focalizado nos anos com registro de incêndio, cada gráfico contém uma área com registro de incêndio e uma área de referência. Como citado anteriormente, esses gráficos são apenas ilustrativos. A definição do período de recuperação do vigor da vegetação não levou em consideração as áreas de referência.

Apesar dos ruídos é possível verificar claramente o impacto dos incêndios nos índices de vegetação. Nos anos com registro de incêndio há uma ruptura significativa dos índices comparados com as áreas de referência. As áreas queimadas pré-fogo, em geral, apresentam características semelhantes à condição das áreas de referência, padrão relatado também por Goetz et al., (2006).

Nas Figura 25A e Figura 25B observa-se que há uma queda brusca do NDVI em 2005 quando houve uma queimada e a recuperação dos valores normais deste. O índice da área de referência cai bruscamente também logo após a recuperação do índice da área queimada, isso pode ter sido ocasionado por ruídos, problemas nas imagens ou incêndio na área de referência que não foi detectado.

Em geral, na data do distúrbio a amplitude entre os valores dos índices de vegetação das áreas queimadas e de referência é maior no NDVI do que no EVI. Não foi possível constatar diferenças significativas do comportamento pós-fogo entre áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais. A queda acentuada dos índices após a passagem do fogo e em seguida o aumento gradual do NDVI e EVI indica o potencial de recuperação das formações vegetais do Cerrado.

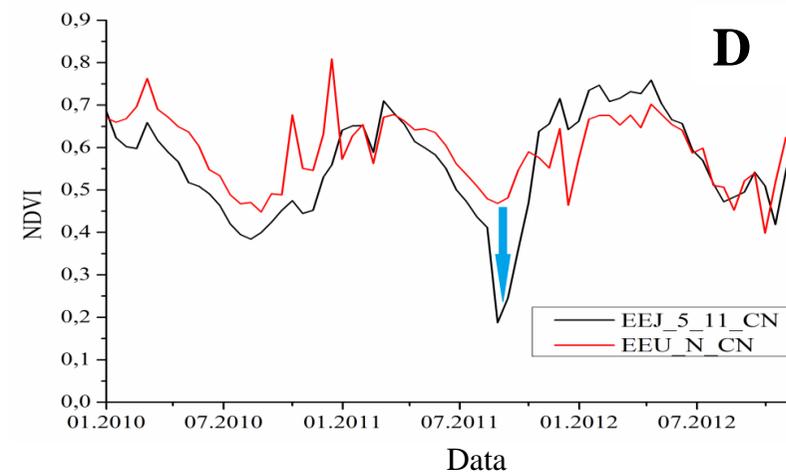
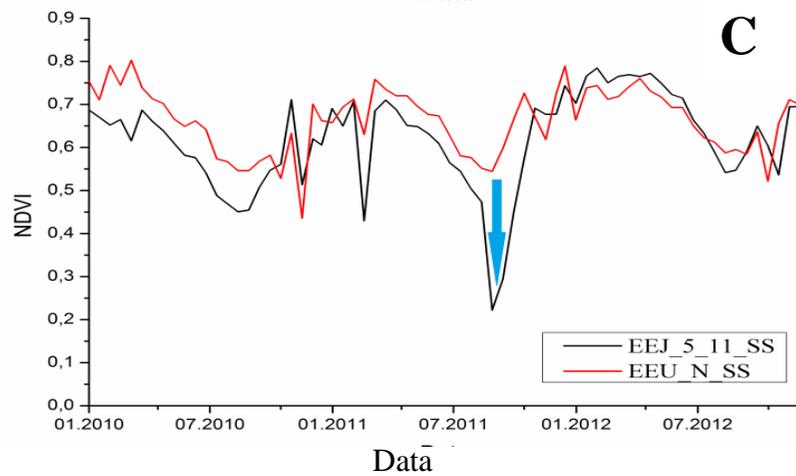
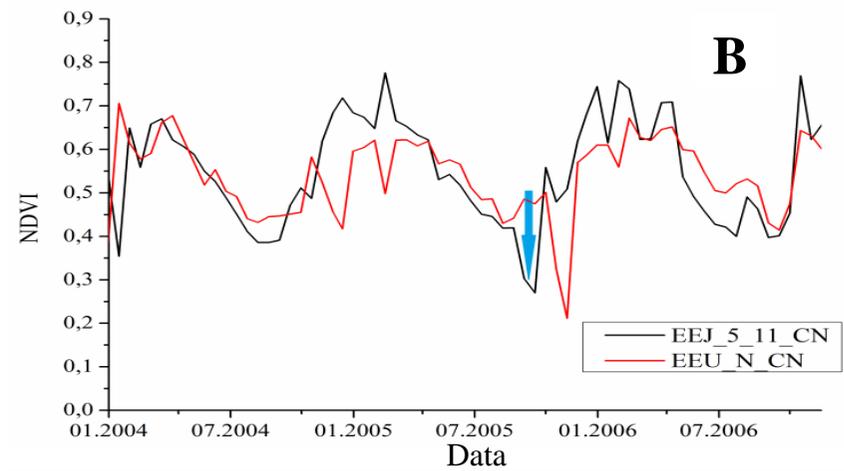
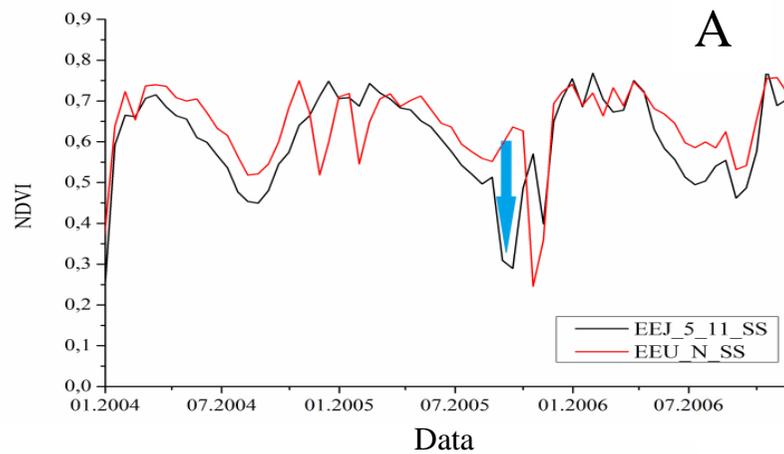


Figura 25: Perfil do NDVI e EVI nas áreas em estudo no momento do incêndio juntamente com as áreas de referência. A seta azul indica o momento do distúrbio.

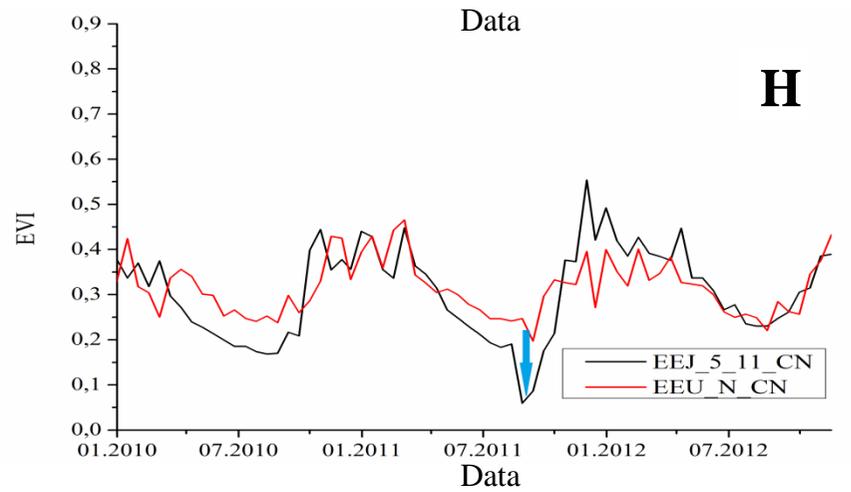
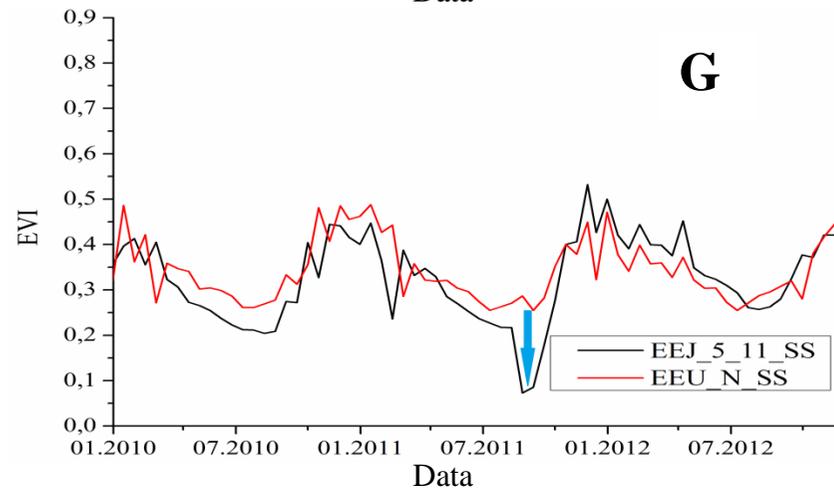
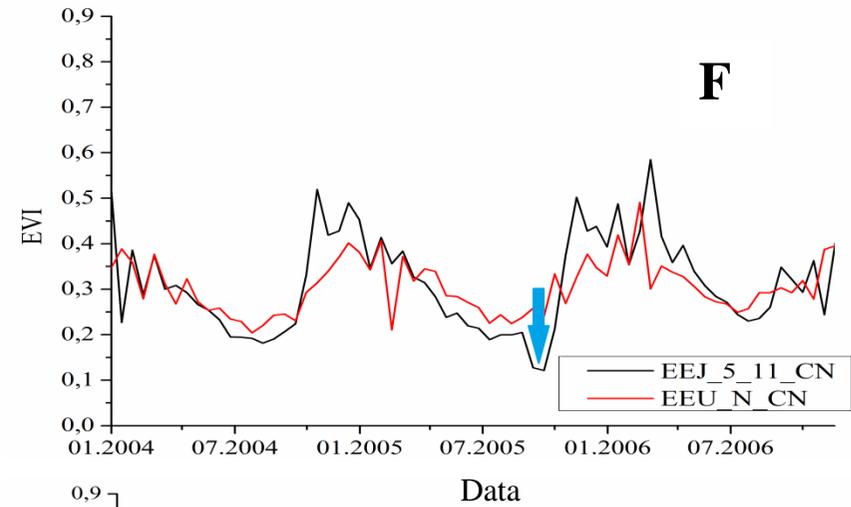
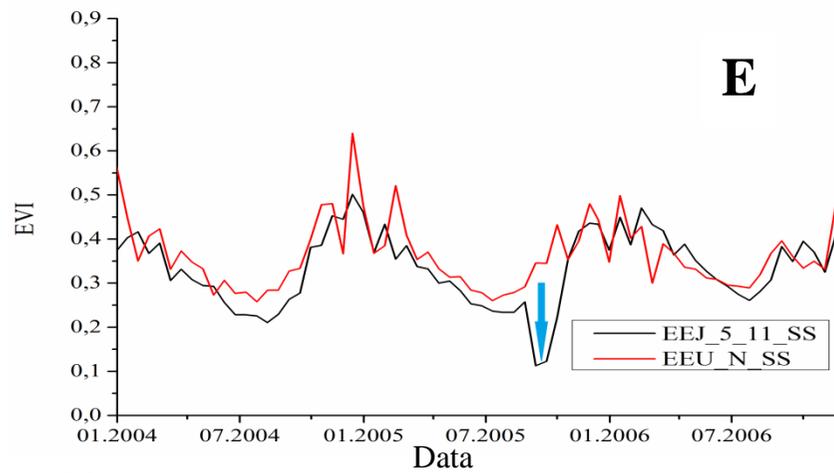


Figura 25: Perfil do NDVI e EVI nas áreas em estudo no momento do incêndio juntamente com as áreas de referência. A seta azul indica o momento do distúrbio.

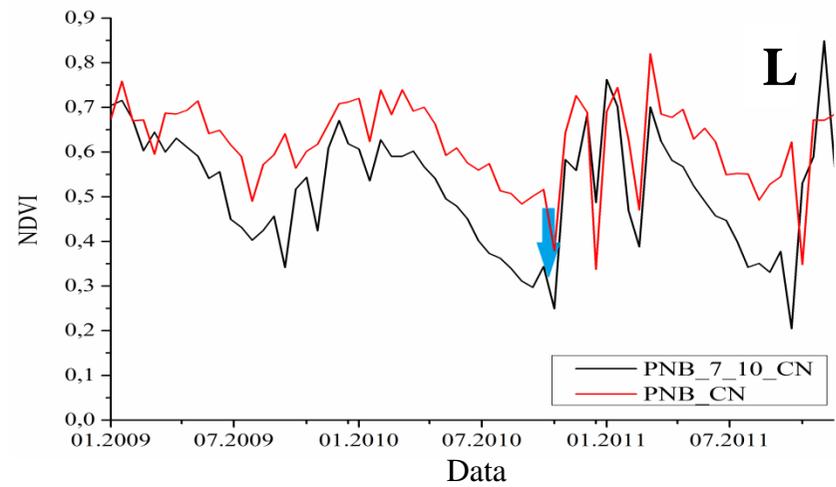
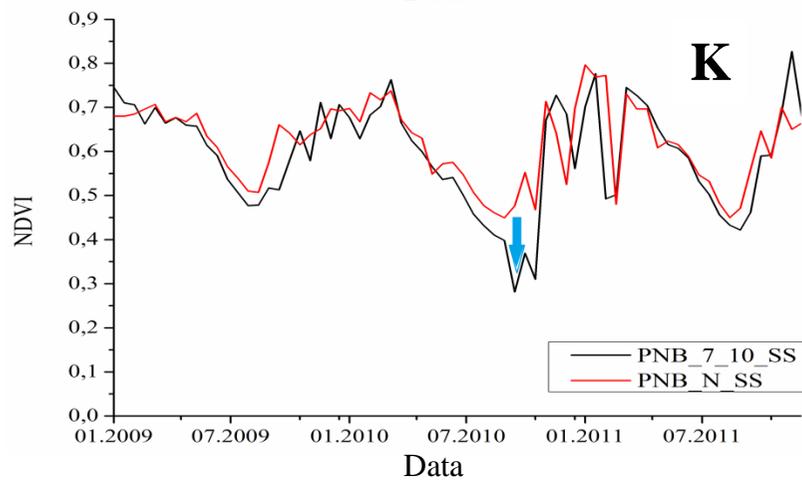
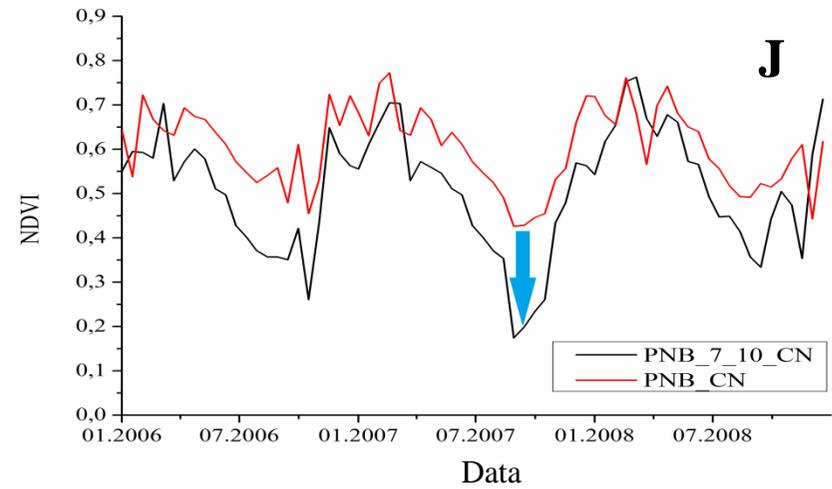
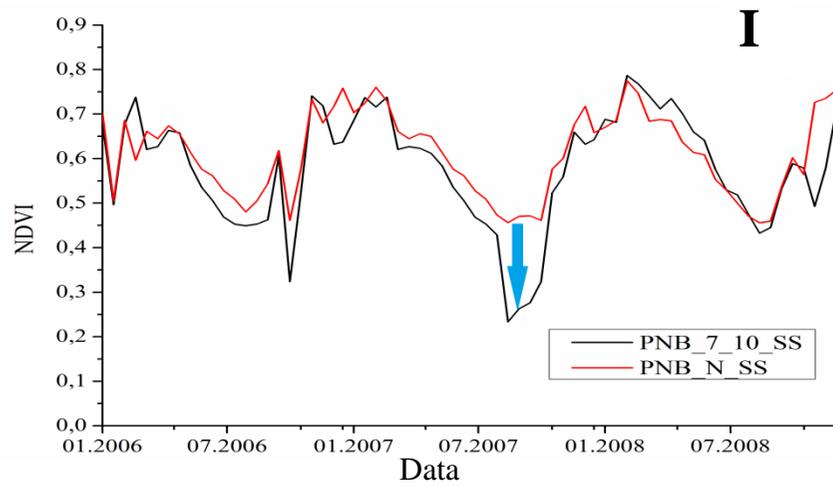


Figura 25: Perfil do NDVI e EVI nas áreas em estudo no momento do incêndio juntamente com as áreas de referência. A seta azul indica o momento do distúrbio.

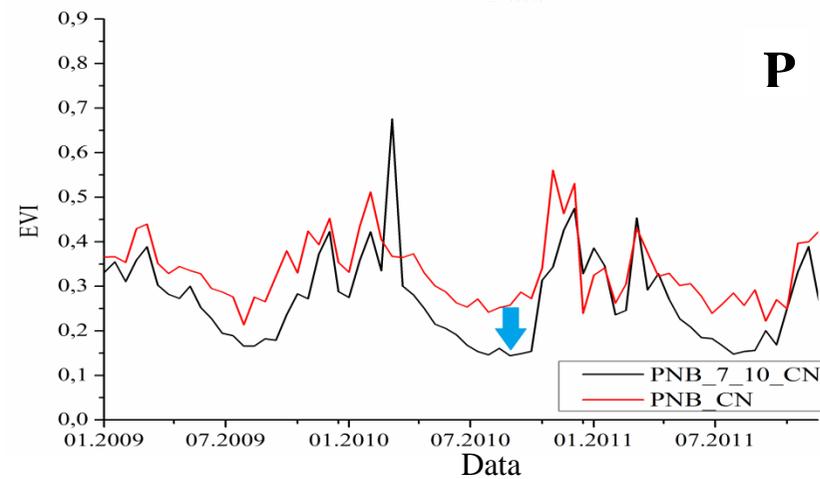
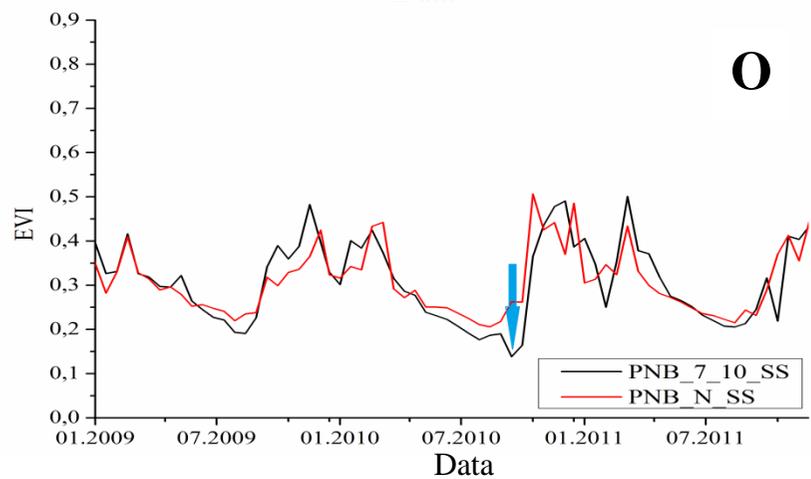
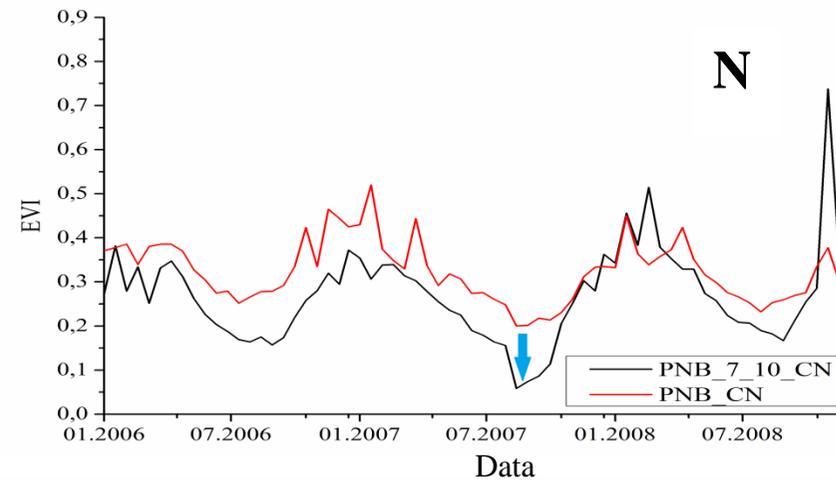
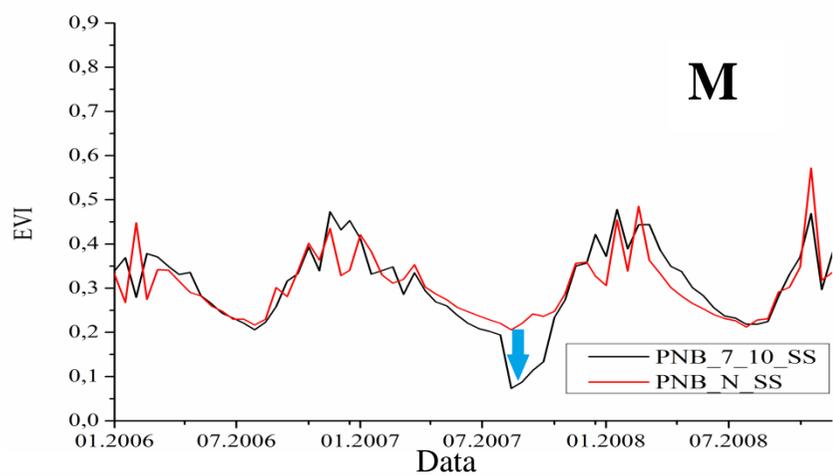


Figura 25: Perfil do NDVI e EVI nas áreas em estudo no momento do incêndio juntamente com as áreas de referência. A seta azul indica o momento do distúrbio.

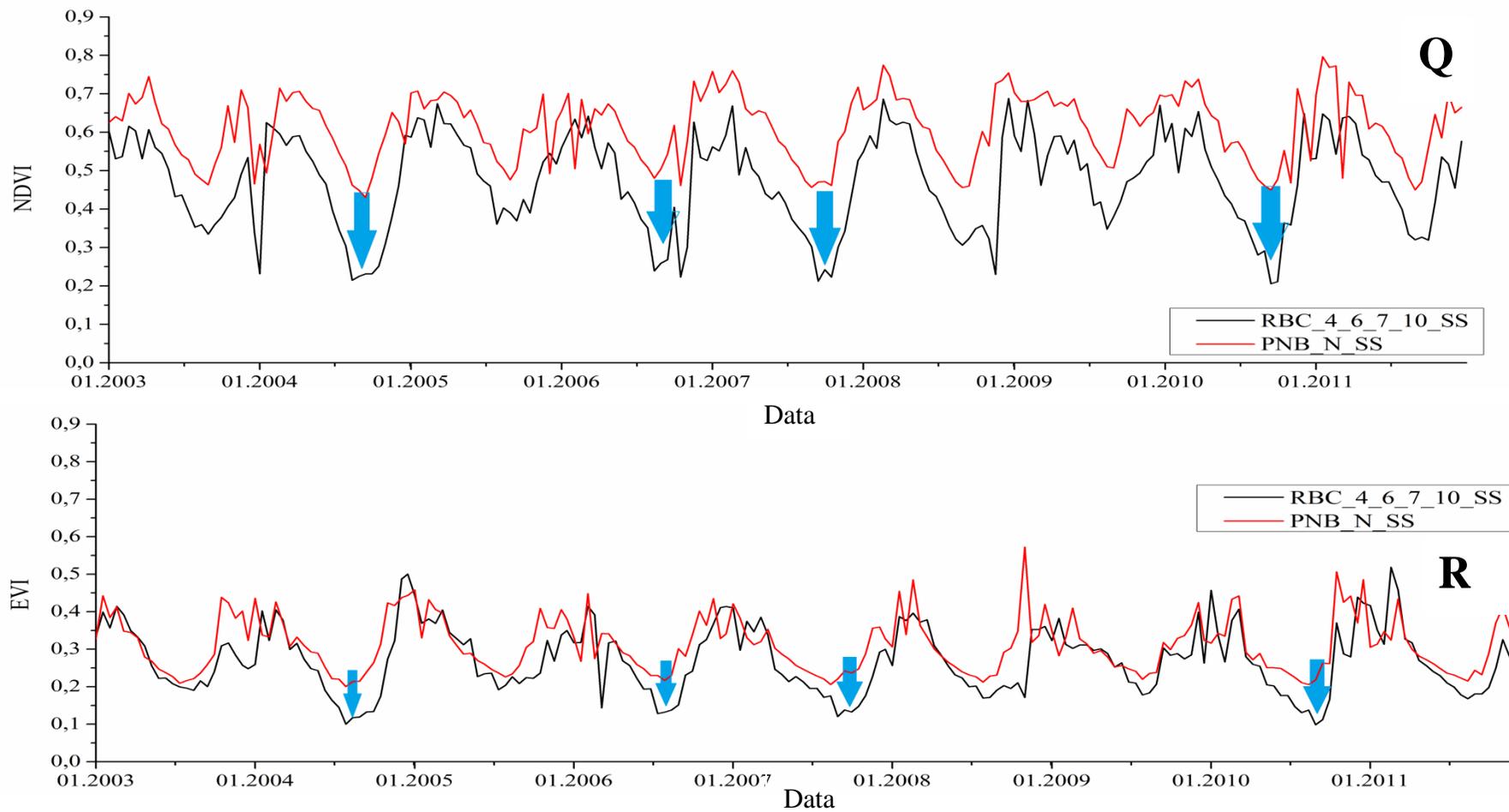


Figura 25 - Perfil do NDVI e EVI nas áreas em estudo no momento do incêndio juntamente com as áreas de referência. A seta azul indica o momento do distúrbio.

Como verificado neste estudo (Figura 25), após a passagem do fogo sobre a vegetação há um queda acentuada nos índices de vegetação, contudo, a recuperação é muito rápida.

Nas Figura 25B, D, F, H e G fica mais evidente que após a ocorrência do fogo a recuperação dos índices de vegetação aos valores pré-fogo pode superar os índices das áreas de referência. Isso ocorre devido a maior disponibilização de nutrientes nas camadas mais superficiais do solo devido à mineralização rápida da matéria orgânica com a passagem do fogo, os nutrientes mais abundantes são potássio e fósforo (COUTINHO, 1990). Esses nutrientes ficam mais acessíveis às gramíneas que apresenta alta taxa fotossintética.

Nas Figura 25Q e Figura 25R que representam a RBC para o NDVI e EVI, respectivamente, com quatro (4) registros de incêndios, verificou-se que os índices da área de referência, em geral, é sempre maior que das áreas queimadas, isso é mais evidente ainda no NDVI. Esse fator denota que áreas queimadas mais frequentemente não conseguem recuperar a taxa fotossintética e fitomassa foliar conforme o padrão das áreas de referência a ponto de influenciar os valores dos índices de vegetação.

A Tabela 7 sintetiza a média e o desvio padrão do tempo de recuperação do vigor da vegetação e a amplitude dos índices de vegetação do período mais seco e/ou com fogo até o ponto em que há recuperação com base na metodologia explicada a partir da Figura 11. Esses valores médios foram calculados em áreas de referência, onde a recuperação do vigor da vegetação se dá após um período seco; anos sem registro de incêndios em áreas em que algum ano no período estudado (2000 a 2012) houve registro; e em anos com registro de incêndios.

Tabela 7 - Média e desvio padrão da quantidade de dias necessários para a recuperação do vigor da vegetação após um período seco e pós-fogo e a amplitude dos índices de vegetação.

NDVI								
	Cerrado sentido restrito				Campos naturais			
	Dias		Amplitude		Dias		Amplitude	
	Média	Sdv	Média	Sdv	Média	Sdv	Média	Sdv
A*	56	35	0,23	0,073	52	36	0,24	0,063
B*	76	41	0,24	0,068	70	43	0,26	0,066
C*	100	50	0,40	0,061	94	46	0,43	0,076

EVI								
	Cerrado sentido restrito				Campos naturais			
	Dias		Amplitude		Dias		Amplitude	
	Média	Sdv	Média	Sdv	Média	Sdv	Média	Sdv
A*	90	28	0,14	0,028	73	40	0,14	0,034
B*	95	32	0,17	0,036	92	32	0,18	0,030
C*	105	31	0,28	0,048	102	37	0,29	0,065

*Legenda: A: Áreas de referência; B: Anos sem registro de incêndios em áreas com algum registro de incêndio no período estudado; C: Anos queimados em áreas com algum registro de incêndio no período estudado.

A recuperação pós-período seco nas áreas de referências para o NDVI apresentou média de 56 dias com desvio padrão de 35 dias em Cerrado sentido restrito e 52 dias com desvio padrão de 36 dias em áreas de Campos naturais. Para o EVI esse período foi maior, média de 90 dias com desvio padrão de 28 dias em áreas de Cerrado sentido restrito e média de 73 dias e desvio padrão de 40 dias em áreas de Campos naturais.

Nos anos sem registro de incêndios com algum registro de fogo no período estudado, ou seja, recuperação se dá somente pela estação seca registrou-se média de 76 dias e desvio padrão de 41 dias em áreas de Cerrado sentido restrito. Em áreas de Campos naturais registrou-se média de 70 dias com desvio padrão de 43 dias, esses valores se referem aos NDVI. Para o EVI a média de dias em áreas de Cerrado sentido restrito foi de 95 dias e desvio padrão de 32, em áreas de Campos naturais a média em dias foi de 92 e desvio padrão de 32 dias.

A recuperação do NDVI pós-fogo em áreas de Cerrado sentido restrito de 100 dias e desvio padrão de 50 dias, em Campos naturais a média em dias foi de 94 dias e 46 dias de desvio padrão. Para o EVI a média foi de 105 dias e desvio padrão de 31 dias e 102 dias e desvio padrão de 37 dias, respectivamente, para áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais.

O período necessário para recuperação da vegetação pós-fogo apresentou os maiores valores médios em dias em comparação com a recuperação das áreas após um período seco. É possível observar que essa diferença foi pequena, especialmente para o EVI.

Referente à amplitude do NDVI e EVI, observa-se menor amplitude nas áreas de referência, seguido nas áreas em anos sem fogo com algum fogo na área entre 2000 a 2012 e a maior amplitude foi constatada nas áreas queimadas de fato no ano corrente. A amplitude é maior para o NDVI. Em geral, a amplitude do NDVI é 40% maior que a do EVI.

O menor período necessário para a recuperação após um período seco foi de 52 dias e o tempo máximo encontrado foi de 95 dias. Nas áreas onde a recuperação se deu de fato pelo período pós-fogo o menor período foi de 94 dias e período máximo de 105 dias.

Observa-se que o desvio padrão foi alto, isso denota que o período necessário para recuperação da vegetação pós-fogo e pós-seca tem grande variação entre as áreas do Cerrado e depende das condições climáticas do período. E não houve diferença substancial para o período de recuperação e amplitude dos índices de vegetação entre as áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais.

A média do período necessário para recuperação do vigor da vegetação pós-fogo foi maior que a recuperação pós-seca, contudo, a diferença foi pequena e com o alto desvio padrão. Então, essa diferença não é tão significativa.

Como relatado por França et al., (2007) a passagem do fogo até a rebrota da vegetação ocorre em curto espaço de tempo, esse padrão foi diagnosticado no presente estudo. Após a passagem do fogo com a queda brusca da fitomassa foliar e atividade fotossintética o retorno ao estado original ocorre em questão de poucos meses. A primeira evidência de queimadas detectadas por imagens de satélite no Cerrado é o depósito de cinzas e carvão. Devido a intempéries, como vento e chuva, esse material fica pouco tempo sobre o solo, não ultrapassando algumas semanas (FRANÇA et al., 2007). Após isso, o solo fica exposto e esse período dura até a rebrota da vegetação. Em geral, no Cerrado essa fase não demora muito, na ordem de algumas semanas, pois no Cerrado a rebrota inicia-se paulatinamente após alguns dias da queimada mesmo sem registro de chuvas. Quando a vegetação recobre todo o solo exposto após o fogo, a nova cobertura apresenta uma configuração verde bem vistosa, e não tem folhas secas, apresentando um alto contraste com a vegetação circunvizinha. Essa nova vegetação

apresenta alta atividade fotossintética e, conseqüentemente, apresenta altos valores nos índices de vegetação (FRANÇA et al., 2007).

Gitas et al., (2012a) aplicaram o método BFAST (*Breaks for Additive Seasonal and Trend*) em uma série do MODIS para detectar mudanças rápidas e graduais causadas pela ação do fogo em uma região no Mediterrâneo, Norte da Grécia. Constataram que o período e recuperação da vegetação pós-incêndio é de 4 anos.

Van Leeuwen et al., (2010) por meio de várias abordagens com o uso do MODIS/NDVI 250 m monitoraram e avaliaram a evolução da resposta da vegetação pós-fogo, verificaram que em uma área de estudo nos EUA após 4 anos da queimada ainda era muito claro a diferença da área queimada e da área de referência, já em uma região em Israel essa amplitude da área queimada e de referência ainda era clara após 9 anos.

Na Sibéria em uma floresta boreal, Cuevas-González et al., (2009) empregaram o NDVI e NDSWIR (*Normalized Difference Shortwave Infrared Index*) oriundos do MODIS para investigar a dinâmica da vegetação pós-fogo. Evidenciaram que nessa floresta são necessários mais de 13 anos para os índices recuperarem completamente após a passagem do fogo. Ainda elucida a importância do emprego no estudo de pares de áreas queimadas e não queimadas para distinguir efeitos da sazonalidade climática e efeitos dos incêndios.

Goetz et al., (2006) visando entender a variabilidade interanual na floresta boreal do Canadá em relação ao distúrbio do fogo e recuperação da floresta usando dados do AVHRR, reportaram que distúrbios ocorridos em 1989 e 1995 levaram 5 anos para alcançar os níveis pré-fogo. Goetz et al., (2006) relataram que o período encontrado em seu estudo é muito menor do que foi encontrado por Hicke et al., (2003) que reportou uma taxa de recuperação de 9 anos na América do Norte.

Goetz et al., (2006) relataram que a diferença na taxa de recuperação dos sinais encontrada pode estar associada à seleção de toda a área queimada ou apenas as áreas com maior severidade do fogo. Outro fator que pode influenciar na detecção da recuperação da vegetação pós-fogo é o tamanho da área selecionada (HICKE et al., 2003), assim como o uso de dados com resolução espacial mais fina (CUEVAS-GONZÁLEZ et al., 2009). Contudo, esses fatores respondem a diferença de resposta de vegetação pós-fogo apenas dentro do mesmo ecossistema.

No caso do presente estudo que o período de recuperação dos índices de vegetação pós-fogo é muito menor em comparação aos resultados encontrados nos

estudos aqui citados decorre de uma gama de fatores naturais e antrópicos. A reposta da vegetação pós-fogo é fortemente dependente do tipo de vegetação, topografia, solo, clima, tamanho, frequência e severidade do incêndio (DIAZ-DELGADO et al., 2002; LEON et al., 2012). Essas condições determinam o potencial de regeneração e funcionamento ecológico dos ecossistemas pós-fogo.

Diferente do Cerrado brasileiro, os ecossistemas aqui citados como as florestas boreais, apresentam dinâmica de crescimento mais lento. Essas formações vegetais estão adaptadas a invernos frios rigorosos, até com presença de neve em alguns períodos do ano.

No Cerrado o aumento da temperatura do solo com a passagem do fogo é momentânea. Apenas alguns centímetros de camada de solo são suficientes para isolar o calor, dessa forma, os sistemas radiculares das plantas não são danificados e conseguem rebrotar alguns dias depois do distúrbio. A maioria das espécies do Cerrado apresenta camada de súber espessa, atuando, assim como um isolante térmico que protege os tecidos vivos das plantas. O fogo pode induzir a germinação de algumas espécies, o aumento brusco da temperatura pode ocasionar o aparecimento de fissuras em sementes duras, tornando-as permeáveis e que por fim, favorece a germinação (COUTINHO, 2002; GOTTSBERGER e SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006). Algumas espécies só conseguem se reproduzir quando são afetadas pelo fogo, conhecidas como pirófitas, como exemplo a *Bulbostylis paradoxa* que só floresce após a passagem do fogo (GOTTSBERGER e SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006).

Como o Cerrado é formado por um mosaico de fisionomias, é importante ressaltar que nem todas as fisionomias têm as mesmas adaptações ao fogo. O Cerradão e Floresta estacional, por exemplo, não é tão tolerante ao fogo, como um Campo limpo ou um Campo sujo que podem exigir queimadas para a sua estabilização e conservação (COUTINHO, 2002).

Veraverbeke et al., (2012) relatam que há ecossistemas com alto poder resiliente às queimadas devido as estratégias adaptativas, enquanto outros são mais vulneráveis. Coutinho (2002) relata a fantástica capacidade das espécies do Cerrado de emitir novos brotos após um incêndio. Relata que poucas semanas são suficientes para o verde substituir as áreas com cinzas, e assim, nessas áreas o Cerrado torna-se um verdadeiro jardim.

Apesar do poder resiliente do Cerrado após a passagem do fogo deve-se atentar aos danos à fauna. Os incêndios antes da ocupação humana não eram desastrosos. Nesse

período os animais podiam fugir livremente do fogo para áreas vizinhas, diferente de hoje que todas as áreas são cercadas por arames farpados. A fauna e flora das áreas queimadas podiam ser recolonizadas pelos ecossistemas vizinhos, hoje as unidades de conservação são cercadas por áreas urbanas e monoculturas (COUTINHO, 2002).

No presente estudo, é considerada a recuperação da vegetação pós-fogo quando os índices de vegetação que nos dá ideia da taxa fotossintética e fitomassa foliar atingem valores anteriores ao distúrbio. Contudo, ressalta-se que a recuperação total de um ecossistema ocorre de fato quando há recuperação da fauna, flora, estética da paisagem e parâmetros ligados ao solo (INBAR et al., 1998).

Coutinho (2002) relata que a proteção total e absoluta contra o fogo no Cerrado é uma utopia. No Cerrado ocorre o acúmulo de biomassa seca e a invasão de gramíneas como o capim gordura, *Melinis minutiflora*, que invade encaves do Cerrado, em especial formações campestres (D'ANTONIO e VITOUSEK, 1992; ALVES e SILVA, 2011) que se tornam um combustível altamente inflamável ocasionando incêndios de grandes proporções e até mesmo impossível de ser controlado pelo homem.

Nesse sentido, queimada programada em forma de rodízio, em pequenas parcelas, levando em consideração questões técnicas e ecológicas para reduzir o combustível no solo, pode ser adotada como uma forma de mitigar a severidades dos incêndios e até mesmo preveni-los.

6 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que os perfis dos índices de vegetação (NDVI e EVI) definiram satisfatoriamente a marcante sazonalidade climática no Cerrado. A inclusão da série história de precipitação permitiu o melhor entendimento da dinâmica sazonal do Cerrado.

Os dados de precipitação mostraram que a dinâmica da vegetação é fortemente influenciada pelo regime de chuvas no Cerrado, maiores valores no período chuvoso (outubro a abril) e redução no período seco (maio a setembro). Conforme a transformada de Fourier, verifica-se que um ano no Cerrado há um ciclo sazonal completo.

Os resultados estatísticos mostraram ajuste positivo entre os índices e a precipitação, o que aponta que a precipitação é um fator que direciona o crescimento da vegetação. O EVI foi o índice que apresentou maior correlação, possivelmente por ser um índice melhorado por não apresentar problemas de saturação.

Foi possível verificar que há uma defasagem na resposta da vegetação quando há alterações na precipitação pluvial. Foi verificada que a maior correlação do NDVI com precipitação ocorre com dois meses de defasagem, o EVI responde melhor a precipitação no mês corrente em áreas de Cerrado sentido restrito e com um mês de atraso em áreas de Campos naturais.

A redução dos índices de vegetação acompanhada com a redução da precipitação ocorre de forma mais gradual, por outro lado o aumento dos índices com o aumento da precipitação ocorre de forma mais rápido. Isso denota as adaptações das espécies do Cerrado, em especial as lenhosas, com raízes profundas que conseguem captar água a grandes profundidades, tornando-se, dessa forma, menos suscetíveis a flutuações da precipitação.

Esses resultados da análise da sazonalidade climática do Cerrado corroboram para o correto entendimento da complexa relação entre a vegetação do Cerrado com a precipitação. O bom entendimento é fundamental já que essa interação pode ter implicações para o clima regional e balanço hídrico (WEISS et al., 2004).

Ressalta-se que outras variáveis ambientais como a umidade do solo, temperatura, déficit hídrico, exercem influência sobre a dinâmica da vegetação e que

precisam ser estudados, o completo entendimento do mecanismo de influência do clima sobre os índices de vegetação está longe de ser esclarecido.

Chuvieco et al., (2008) afirmam que obter informações sobre a trajetória de recuperação da vegetação pós-fogo e entender o regime do fogo é fundamental devido os efeitos dos incêndios florestais em nível global e regional. Além de permitir entender o impacto do fogo sobre a vegetação e ainda subsidia ações para o manejo pós-fogo (VERAVERBEKE et al., 2012), principalmente diante do cenário das previsões do aumento do número grandes incêndios em todo o mundo devido às mudanças climáticas (GRISSINO-MAYER e SWETNAM, 2000).

Dessa forma, esse estudo desponta com grande importância para o preenchimento de uma lacuna de informações sobre o Cerrado brasileiro. Há uma carência de informações sobre a resposta da vegetação pós-fogo usando sensoriamento remoto em savanas e florestas tropicais, esses estudos se concentram principalmente em florestas boreais, ecossistemas mediterrâneos e florestas temperadas.

Os dados do MODIS foram adequados para descrever a reposta da vegetação pós-fogo. Após a passagem do fogo há uma queda brusca dos índices, seguida por um aumento gradual dos mesmos, o que indica potencial de recuperação das formações vegetais do Cerrado.

A média de dias necessários para recuperação da vegetação pós-fogo foi de 100 dias nas áreas de Cerrado sentido restrito e Campos naturais para o NDVI e EVI. O período de recuperação é altamente flutuante entre as áreas. A quantidade de dias de recuperação pós-fogo foi maior que nas outras áreas que a recuperação ocorre após o período seco, contudo, a diferença é pequena, em especial para o EVI. Isso denota que o fogo influencia o período de recuperação da vegetação, contudo é o período seco que de fato conduz a recuperação do NDVI e EVI.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N.; COSTA JÚNIOR, M. Contribuição ao estudo do sudoeste goiano. **Boletim Paulista de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 98, p. 123-138, 1951.

Adamoli, J.; Fukuhara, M.; Silva, J. A. Aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo de queimas em pastagens nativas da região dos Cerrados. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2., Brasília, DF, 1982. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1982. v.2, p. 811-820.

ALHO, C.J.R. Desafios para a conservação do Cerrado, em face das atuais tendências de uso e ocupação. In: **CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Aldicir Scariot, José Carlos Sousa-Silva, Jeanine M. Felfili (Organizadores). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

ALVEZ, R.J.V.; SILVA, N.G. O Fogo é Sempre um Vilão nos Campos Rupestres? **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 120-127, 2011.

ANDERSON, L.O.; LATORRE, M.L. SHIMABUKURO, Y.E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 58.

Andrade, L. A. Z. Impactos do fogo no banco de sementes do solo de Cerrado sentido restrito. **Tese de Doutorado**, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 2002.

AQUINO, F.G., WALTER, B.M.T.; RIBEIRO, J. F. Dinâmica de populações de espécies lenhosas de Cerrado, Balsas, Maranhão. **Revista Árvore**, v. 31, p.793-803, 2007.

BARKER, J.L.; HARDEN, M.K.; ANUTA, E.A.; SMID, J. E.; HOUGHT, D. MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization. Washington: Nasa, 1992, 84p.

BECERRA, J. A. B.; ALVALÁ, R. C. S. Detection of tropical Savannah (Cerrado) physiognomies in the Legal Amazon by the application of the vegetation and moisture indices with MODIS time series data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8. (ICSHMO), 2006, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** 2006. p. 861-867.

BECERRA, J. A. B.; CARVALHO, S.; DA SILVA, E. A. D.; MARTINS, I. A.; RANDOW, C. Variabilidade sazonal do clima e da vegetação no bioma Cerrado: I. Abordagem diagnóstica por sensoriamento remoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 2010, Belém. **Anais...** 2010.

BECERRA, J.A.B.; ALVALÁ, R.C.S.; SHIMABUKURO, Y. Precipitação, fogo e índices de vegetação na detecção de fisionomias de savana tropical na região Amazônica Brasileira. In: IX Simpósio Nacional Cerrado, 2008, Brasília, DF e II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. **Anais...**2008.

BECERRA, J.A.B.; SHIMABUKURO, Y.D.; ALVALÁ, R.C.S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, 125-134, 2009.

BECK, P.S.A.; ATZBERGER, C.; HOGDA, K.A.; JOHANSEN, B.; SKIDMORE, A.K. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p. 321-334, 2006.

BORLAUG, N.E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In: R. Bailey (ed.). **Global warming and other eco-myths**. p. 29-60. Competitive Enterprise Institute, Roseville, EUA. 2002.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SAMPAIO, C.S.; SILVA, N.C.; COUTO JÚNIOR, A.F.; GOMES, R.A.T.; CARVALHO, A.P.F.; SHIMABUKURO, Y.E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n.4, p.505-517, 2008.

CARVALHO JUNIOR, O.A.C.; COUTO JUNIOR, A.F.; SILVA, N.C.; MARTINS, E.S.; CARVALHO, A.P.F.; GOMES, R.AT. Avaliação dos classificadores espectrais de mínima distância euclidiana e spectral correlation mapper em séries temporais NDVI-MODIS no campo de instrução militar de Formosa (GO). **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61/04, 2009.

CASADY, G.M.; VAN LEEUWEN, W.J. D.; MARSH, S.E. Evaluating Post-wildfire Vegetation Regeneration as a Response to Multiple Environmental Determinants. **Environ Model Assess**, n. 15, p. 295–307, 2010.

CASTRO, L.H.R.; MOREIRA, A.M.; ASSAD, E.D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos Cerrados brasileiros. In: ASSAD, E.D. **Chuvos nos Cerrados: análise e espacialização**. Brasília, Embrapa-CPAC/Embrapa-SPI, 1994. P. 423.

CHUVIECO, E.; OPAZO, S.; SIONE, W.; VALLE, D.; ANAYA, J.; DI BELLA, C.; CRUZ, I.; MANZO, L.; LOPEZ, G.; MARI, N.; GONZALEZ-ALONSO; MORELLI, F.; SETZER, A. W.; CSISZAR, I.; KANPANDEGI, J. A.; BASTARRIKA, A.; LIBONATI, R. Global burned-land estimation in Latin-America using MODIS composite data. **Ecological Applications**, v. 18, n. 1, p. 64-79, 2008.

- COLLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 3, n. 3, p. 175-183, 1974.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: **Fire in the tropical biota**. Ed J. G. Goldammer. New York: Springer-Verlag, 1990, p. 82-105.
- Coutinho, L. M. O conceito de Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, n. 1, p.17-23, 1978.
- Coutinho, L.M. As Queimadas e seu Papel Ecológico. **Brasil Florestal**, n. 44, p. 7-23, 1980.
- COUTINHO, L.M. O bioma do cerrado. In: A.L. Klein (org.). **Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois**. Editora UNESP, p. 77-91. 2002.
- CUEVAS-GONZALEZ, M.; GERARD, F.; BALZTER, H.; RIANO, D. Analysing forest recovery after wildfire disturbance in boreal Siberia using remotely sensed vegetation indices. **Global Change Biology**, n. 15, p. 561–577, 2009.
- D'ANTONIO, C.M.; VITOUSEK, P.M. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, n. 23, p. 62-87, 1992.
- DALDEGAN, G. A. Análise espaço-temporal de queimadas em áreas nativas de Cerrado: RPPN Serra do Tombador, GO. **Dissertação de Mestrado** – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia. 2012.
- DALLA NORA, E. L.; MARTINI, D. Z. Analysis of the seasonal dynamics of some Atlantic Forest biome physiognomies with basis of vegetation indices derived from MODIS/TERRA sensor/Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA. **Ambiência**, v. 6, n. 1, p. 97 - 108. 2010.
- DIAS, B. F. S. Impactos do Fogo sobre a Biodiversidade do Cerrado. Dep. Ecologia. Brasília: Universidade de Brasília. **Notas Técnicas da Disciplina Ecologia do Fogo**, 1998.
- DIAZ-DELGADO, R.; LLORET, F.; PONS, X.; TERRADAS, J. Satellite evidence of decreasing resilience in Mediterranean plant communities after recurrent wildfires. *Ecology*, v. 83, n. 8, p. 2293–2303. 2002.
- Diaz-Delgado, R.; Pons, X. Spatial patterns of forest fires in Catalonia (NE of Spain) along the period 1975–1995. Analysis of vegetation recovery after fire. **Forest Ecology and Management**, n. 147, p. 67–74. 2001.
- DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; PASTORE, J. A.; AGUIAR, O. T. Fitossociologia e evolução da densidade da vegetação do Cerrado. Assis. SP. **Bol. Tec. Inst. Flor.** N. 41, p. 59-78. 1987.

- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, n. 38, p. 201-341. 1972.
- EITEN, G. Vegetation of Brasília. **Phytocoenologia**, n. 12, p. 271-292. 1984.
- ESCUIN, S.; FERNÁNDEZ-REBOLLO, P.; NAVARRO, R. M. Aplicación de escenas Landsat a la asignación de grados de afectación producidos por incendios forestales. **Revista de Teledetección**, n. 1, p. 25–36. 2002.
- FARRAR, T. J.; NICHOLSON, S. E.; LARE, A. R. The influences of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana. II. NDVI response to soil moisture. **Remote Sensing of Environment**, n. 50, p. 121–133. 1994.
- FERRAZ-VICENTINI, K. R. C. Análise palinológica de uma vereda em Cromínia, GO. **Dissertação de Mestrado**, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 1993.
- FERREIRA L.G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E.E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). v. 87, n. 4, p. 534–550. 2003.
- FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.10, p.1837-1860. 2004.
- FRANÇA, H. Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2000.
- FRANÇA, H.; RAMOS NETO, M. B.; SETZER, A. O fogo no Parque Nacional das Emas. **MMA, Série Biodiversidade**, v. 27. 2007.
- FRANÇA, H.; RIBEIRO, K. T. Mapeamento de queimadas no Parque Nacional da Serra do Cipó e na Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira, MG: 1984-2007. **Relatório Técnico do Ministério do Meio Ambiente**. 75 p. 2008.
- GAO, X.; HUETE, A.R.; NI, W.; MIURA, T. Optical–biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 609 – 620, 2000.
- GITAS, I.Z.; KATAGIS, T.; TOUKILOGLOU, P. Burned area mapping and post-fire monitoring of a Mediterranean forest using NDVI time-series of low resolution imagery and the BFAST method. **Ambiência**, v.8 Ed. Especial, p. 461 – 470. 2012a.
- GITAS, I.Z.; MITRI, G.; VERAVERBEKE, S.; POLYCHRONAKI, A. Advances in remote sensing of post-fire vegetation recovery monitoring – a review. In: **Remote Sensing of Biomass – Principles and Applications**. Ed. L Fatoyinbo. 333p. 2012b.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P.; WANDERLEY, M. G. L. ; PIRANI, J. R. Caracterização e endemismos nos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. In: Cavalcanti, T. B. & Walter, B. M. T. (org.). **Tópicos atuais em botânica**. Ed. SBB/CENARGEN, Brasília. p. 311-318. 2000.

GOETZ, S.J.; FISKE, G.J.; BUNN, A.G. Using satellite time-series data sets to analyze fire disturbance and forest recovery across Canada. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, p. 352–365. 2006.

GOTTSBERGER, G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. 2006. Life in the Cerrado: A South American Tropical Seasonal Vegetation. Vol. II. **Pollination and Seed Dispersal**. Ulm: Reta Verlag, 384 p. 2006.

Governo do Distrito Federal. ZONEMANTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO DISTRITO FEDERAL – ZEE/DF. **Relatório de Potencialidades e Vulnerabilidades, Brasília**. 2010.

Grissino-Mayer, H. D.; Swetnam, T. W. Century-scale climate forcing of fire regimes in the American Southwest. **Holocene**, v. 10, n. 2, p. 213–220. 2000.

GUIDON, N.; DELIBRIAS, G. Carbon-14 dates point to man in the Americas 32,000 year ago. **Nature**, v. 321, n. 6072, p. 769-771, 1986.

GURGEL, H.C.; FERREIRA, N.J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. **Int. J. Remote Sens.**, v. 24, p. 3595–3609. 2003.

HADLEY, N.F.; SZAREK, S.R. Productivity of desert ecosystems. **BioScience**, v. 31, p. 747–753. 1981.

HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal In: PINTO, M. N. **Cerrado; caracterização, ocupação e perspectivas**, 2.ed. Universidade de Brasília, Brasília, p. 321-344. 1993.

HARIDASAN, M. Solos. In: Felfili, J. M.; Rezende, A. V. & Silva Júnior, M. C. (ed.). **Biogeografia do bioma Cerrado-Chapada dos Veadeiros**. Ed. UnB, Brasília. Pp. 27-43. 2007.

HENRIQUES, R. P. B.; Hay, J. D. Patterns and dynamics of plant populations. In Oliveira, P. S. & R. S. Marquis, **Ecology and Natural History of a Neotropical savanna: The Cerrados of Brazil**. p. 140-178. The University of Columbia Press. 2002.

Henriques, R.P.B. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. **CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Aldicir Scariot, José Carlos Sousa-Silva, Jeanine M. Felfili (Organizadores). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

HICKE, J.A.; ASNER, G.P.; KASISCHKE, E.S.; FRENCH, N.H.F.; RANDERSON, J.M.; COLLATZ, G.J.; STOCKS, B.J.; TUCKER, C.J.; LOS, S.O.; FIELD, C.B. Post-fire response of North American boreal forest net primary productivity analyzed with satellite observations. **Global Change Biology**, v. 9, p. 1145–1157. 2003.

HOFFMANN, W.A. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. **Ecology**, v. 80, p. 1354-1369. 1999.

HOFFMANN, W.A.; MOREIRA, A. The role of fire in population dynamics of woody plants. In Oliveira, P. S. & R. S. Marquis. **Ecology and Natural History of a Neotropical savanna: The Cerrados of Brazil**. p. 159-177. The University of Columbia Press. 2002.

HOPKINS, B. Ecological processes at the forest–savanna boundary. In: Furley, P.A., Procter, J. & Ratter, J.A. (eds.) **Nature and dynamics of the forest–savanna boundaries**. pp. 21–33. Chapman & Hall, London, UK. 1992.

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 Sensing of Environment**, v. 59, p. 440 – 451, 1997.

HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. (Special Issue) **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195– 213, 2002.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; VAN LEEUWEN, W. Modis Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document. v2. NASA - GSFC, Greenbelt, MD. 1996.

HUETE, A.R.; DIDAN, K.; SHIMABUKURO, Y.E.; RATANA, P.; SALESKA, S.R.; HUTYRA, L.R.; YANG, W.; NEMANI, R.R.; MYNENI, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, v. 33:L06405. 2006.

IBGE. Mapa de biomas do Brasil: escala 1:500.000. 2004. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/>. Acesso em 21/01/2013.

INBAR, M.; TAMIR, M.; WITTENBERG, L. Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. **Geomorphology**, v. 24, p. 17-33. 1998.

JAKUBAUSKAS, M. E.; LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, n. 1-3, p. 127–139, 2002.

JAKUBAUSKAS, M.E.; LEGATES, D.R.; KASTENS, J.H. Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 67, n. 4, p. 461 – 470, 2001.

JONGEJANS, E.; SCHIPPERS, P. Modeling seed dispersal by wind in herbaceous species. **Oikos**, v. 87, p. 362–372. 1999.

JUSTICE, C O.; VERMOTE, E., TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, P. D.; HALL, D.K, SALOMONSON, 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.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1247. 1998.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISETTE, J. T.. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sens. Environ.** v. 83, p. 3 – 15. 2002a.

JUSTICE, C.O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y.. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 244-262. 2002c.

JUSTICE, C.O.; HOLBEN, B.N.; GWYNNE, M.D. Monitoring East African vegetation using AVHRR data. **Int. J. Remote Sensing**, v. 7, p. 1453-1474. 1986.

KLINK, C. A.; SOLBRIG, O. T. Efeito do fogo na biodiversidade de plantas do Cerrado. In: SARMIENTO, G.; CABIDO, M. (Ed.). **Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina**. Mérida: Cyted y Cielat, 1996. p. 231-244.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, p. 707-713. 2005.

Kobler, B.; Berbert, J. "NASA Earth Observing System Data Information System (EOSDIS)," Digest of Papers: **11th IEEE Symp. Mass Storage Systems**, IEEE Computer Soc. Press, Los Alamitos, CA, p. 18-19. 1991.

KOMAREK, E. V. Lightning and fire ecology in Africa. In: **Tall Timbers Fire Ecology Conference**, 12., Lubbock, Texas. Proceedings... Lubbock, Texas: Tall Timbers Research Station, v. 11, p. 473-509. 1972.

LANGE, O.L.; KAPPEN, L.; SCHULZE, E.D. Water and Plant Life. Springer, New York, 536p. 1976.

LEON, J.R.R.; VAN LEEUWEN, W.J.D.; CASADY, G.M. Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments. **Remote Sens.** v. 4, n. 598-621. 2012.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVÃO L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado com índices de

vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. R. **Árvore**, v.31, n.2, p.295-305, 2007.

Lima, J.E.F.W.; Silva, E.M. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. In: **CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**/Aldicir Scariot, José Carlos Sousa-Silva, Jeanine M. Felfili (Organizadores). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

LIN, G.; PHILLIPS, S.L.; EHLERINGER, J.R. Monsoonal precipitation responses of shrubs in a cold desert community on the Colorado Plateau. **Oecologia**, v. 106, p. 8–17. 1996.

LU, H.; RAUPACH, M.R.; MCVICAR, T.M.; BARRET, D.J. Decomposition of vegetation cover into woody and herbaceous components using AVHRR NDVI time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p. 1-18, 2003.

LUNETTA, R. S.; KNIGHT, J. F.; EDIRIWICKREMA, J.; LYON, J. G.; WORTHY, L. D. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 105, p. 142-154. 2006.

MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.; CALDAS, E.; GONÇALVES, D.; SANTOS, N.; TABOR, K.; STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Brasília: **Conservation International do Brasil**. 2004.

MALO, A. R.; NICHOLSON S. E. A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. **Journal of Arid Environments**, v. 19, p. 1–24. 1990.

MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. **Acta Botânica Brasilica**, v.19, n.3, p.493-500, 2005.

MEIRELLES, M. L.; KLINK, C.A.; SILVA, J. C. S. Um modelo de estado y transiciones para el Cerrado brasileño. **Ecotropicos**, v. 10, p. 45-50. 1997.

MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; MIRANDA A.C. The fire factor, p. 51-68. In: Oliveira, P.S.& Marquis, R.J. (orgs.). **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Columbia University Press. 424p. 2002.

MIRANDA, H.S.; SATO, M.N. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. **CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**/Aldicir Scariot, José Carlos Sousa-Silva, Jeanine M. Felfili (Organizadores). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

MIRANDA, M. I. Efeitos de diferentes regimes de queimadas sobre a comunidade de gramíneas do Cerrado. **Dissertação de Doutorado**. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2002.

- MOORHEAD, D.L.; REYNOLDS, J.F. Mechanisms of surface litter mass loss in the northern Chihuahuan Desert: a reinterpretation. **Journal of Arid Environments**, v. 16, p. 157–163. 1989.
- MOREIRA, A. G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **J. Biog.** v. 27, p. 1021-1029. 2000.
- MOREIRA, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação. São Jose dos Campos, 422p. 2001.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858. 2000.
- NEILSON, R.P. High-resolution climatic analysis and southwest biogeography. **Science**, v. 232, p. 27–34. 1986.
- NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. 3. ed. São Paulo: **Edgard Blucher**, 363p. 2008.
- OKIN, G.S.; MURRAY, B.; SCHLESINGER, W.H. Degradation of sandy arid shrubland environments: observations, process modeling, and management implications. **Journal of Arid Environments**, v. 47, p. 123–144. 2001.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; Ratter, J.A. Fisionomias vegetais e floras nativas do Bioma Cerrado. In: Paulo S. Oliveira, Robert J. Marquis.(Org.). **Cerrados do Brasil: ecologia e história natural de uma savana neotropical**. New York: Columbia University Press. p.91-120.2002.
- PARDI LACRUZ, M. S. Análise harmônica de séries temporais de dados MODIS como uma nova técnica para a caracterização da paisagem e análise de lacunas de conservação. 2006. 129 p. (INPE-14610-TDI/1190). **Tese de Doutorado em Sensoriamento Remoto** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.
- PIVELLO, V.R.; COUTINHO, L.M. A quantitative successional model to assist in the management of Brazilian Cerrados. **For. Ecol. Manag.** v. 87, p. 127-138. 1996.
- PONZONI, F. J.; LEE, D. C. L.; HERNANDEZ FILHO, P. Avaliação de área queimada e da regeneração da vegetação afetada pelo fogo no Parque Nacional de Brasília através de dados do TM/Landsat. São José dos Campos: INPE, 1986.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: **Parêntese**, 2010, 127p.
- PROENÇA, C.E.B.; MUNHOZ, C.B.R.; JORGE, C.L.; NÓBREGA, M.G.G. Listagem e nível de proteção das espécies de fanerógamas do Distrito Federal, Brasil. In: **Flora**

do Distrito Federal, Brasil (T.B. Cavalcanti & A.E. Ramos, eds). EMBRAPA-CENARGEN, Brasília, v.1, p. 87-359. 2001.

RATANA, P.; HUETE, A. Seasonal dynamics of native and converted cerrado physiognomies with MODIS data. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. **Proceedings**. 2004 IEEE International, p. 4336-4339, 2004.

RATANA, P.; HUETE, A.R.; FERREIRA, L. Analysis of Cerrado Physiognomies and Conversion in the MODIS Seasonal–Temporal Domain. **Earth Interactions**, v. 9. 2005.

RATTER, J.A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J.F.; DIAS, T.A.B. & SILVA, M.R. Estudo preliminar da distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia Cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma Cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 5. n. 1, p. 5-43. 2000.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In.: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. **Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA, v. 1, p. 152-212. 2008.

RIBEIRO, J.F.; BRIDGEWATER, S.; RATTER, J.A.; SOUSA-SILVA, J.C. Ocupação do bioma Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal. **CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**/Aldicir Scariot, José Carlos Sousa-Silva, Jeanine M. Felfili (Organizadores). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônomo para estimar a produtividade de soja. *Pesq. agropec. bras.* [online]. V. 42, n.1, p. 73-80. 2007.

RIZZINI, C. T. A flora do Cerrado. In Ferri, M. G. (Ed) **Simpósio sobre o Cerrado**. p. 127-177. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1963.

RIZZINI, C. T. Tratado de Fitogeografia do Brasil. Aspectos florísticos. Editora Hucitec & Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1979.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia: EDUFU, 228p. 2003.

ROY, P.S. Forest fire and degradation assessment using satellite remote sensing and geographic information system. In: Sivakumar, M.V.K.; Roy, P.S.; Harmesen, K.; Saha, S.K., eds, 2010. **Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology**, p. 361-400. 2004.

RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Coord.). Sensor MODIS e suas Aplicações Ambientais no Brasil. 1.ed. São José dos Campos: Editora Parêntese, 425 p. 2007.

SALA, O.E.; LAUENROTH, W.K.; REID, C.P.P. Water relations: a new dimension for niche separation between *Bouteloua gracilis* and *Agropyron smithii* in North American semi-arid grasslands. **Journal of Applied Ecology**, v. 19, p. 647–657. 1982.

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

SAMPAIO, C. S. Abordagem metodológica baseada nos dados multitemporais MODIS EVI/NDVI para classificação da cobertura vegetal na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO. 73 p. **Dissertação de Mestrado em Geografia** - Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G.. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 166, p. 113-124. 2010.

SATO, M.N. Efeito a longo prazo de queimadas na estrutura da comunidade de lenhosas da vegetação do Cerrado sentido restrito. **Tese de Doutorado**, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 2003.

SCHOWENGERDT, R. A. Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing. San Diego: Academic Press, 522 p. 1997.

SELLERS, P.J.; HEISER, M.D.; HALL, F.G.; VERMA, S.B.; DESJARDINS, R.L.; SCHUEPP, P.M.; MACPHERSON, J.I. The impact of using area-averaged land surface properties -topography, vegetation condition, soil wetness - In calculations of intermediate scale (approximately 10 km²) surface-atmosphere heat and moisture fluxes. **Journal of Hydrology**, v.190, 3-4, p. 269-301, 1997.

SILVA, C.M.J. Avaliação espaço-temporal dos incêndios florestais no Distrito Federal entre 1999 E 2010. **Monografia de projeto final em Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília, 54p. 2010.

Silva, J.M.C.; Bates, J.M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. **BioScience**, v. 52, p. 225-233. 2002.

STRAHLER, A.; TOWNSHEND, J.R.G.; MUCHONEY, D.;BORAK, J.; FRIEDL, M; GOPAL, S.; HYMAN, A. MOODY, A.; LAMBIN, E. MODIS land cover product algorithm theoretical basis document (ATBD). Version 4.1. Washington: NASA, 102p. 1996.

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. Remote sensing: the quantitative approach. New York, McGraw-Hill, 396 p. 1978.

VAN LEEUWEN W, CASADY G, NEARY D, BAUTISTA S, ALLOZA J, CARMEL J, WITTENBERG L, MALKINSON D, ORR B. Monitoring post-wildfire vegetation response with remotely sensed time series data in Spain, USA and Israel. **International Journal of Wildland Fire**, v. 19, p. 75–93. 2010.

- VAN LEEUWEN, W.J.D. Monitoring the effects of forest restoration treatments on post-fire vegetation recovery with MODIS multitemporal data. **Sensors**, v. 8, p. 2017–2042. 2008.
- VERAVERBEKE, S.; GITAS, I.; KATAGIS, T.; POLYCHRONAKI, A.; SOMERS, B.; GOOSSENS, R. Assessing post-fire vegetation recovery using red–near infrared vegetation indices: Accounting for background and vegetation variability. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 68, p. 28–39. 2012.
- VERAVERBEKE, S.; LHERMITTE, S.; VERSTRAETEN, W.W.; GOOSSENS, R. A timeintegrated MODIS burn severity assessment using the multi-temporal differenced Normalized Burn Ratio (dNBRMT). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 13, n. 1, p. 52–58. 2011b.
- VERAVERBEKE, S.; VERSTRAETEN, W.W.; LHERMITTE, S.; GOOSSENS, R. Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a Mediterranean environment with Landsat Thematic Mapper. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 12, p. 3521–3537. 2011a.
- VERMOTE, E.F.; EL SALEOUS, N.Z.; JUSTICE, C.O. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.97-111, 2002.
- WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. 2006. 373f. **Tese de Doutorado em Ecologia**. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.
- WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A. M.; RIBEIRO, J. F. O conceito de savana e de seu componente Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. e Ribeiro, J. F. (Eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados. p. 19-45. 2008.
- WANG, J.; PRICE, K.P.; RICH, P. M. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p. 3827–3844. 2001.
- WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24 n. 11, p. 2345–2364. 2003
- WEISS, J.L.; GUTZLER, D.S.; COONROD, J.E.A.; DAHM, C.N. Seasonal and inter-annual relationships between vegetation and climate in central NewMexico, USA. **Journal of Arid Environments**, v. 57, p. 507–534. 2004.
- WOLFE, R.E.; NISHIHAMA, M.; FLEIG, A.J.; KUYPER, J.A.; ROY, D.P.; STOREY, J.C.; PATT, F.S. Achieving Sub-Pixel Geolocation Accuracy in Support of Modis Land Science. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p.31– 49. 2002.

YANG, Y.; YANG, L.; MERCHANT, J.W. An assessment of AVHRR/NDVI-ecoclimatological relations in Nebraska, USA. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, p. 2161–2180. 1997.

ZHANG, X.; FRIEDL, M. A.; SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A.H.; HODGES, J.C.F.; GAO, F.; REED, B.C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 84, p. 471–475. 2003.