



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**FELIPE GIMENES RODRIGUES SILVA**

**RELAÇÃO DA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO COM A OCORRÊNCIA DE  
INCÊNDIOS FLORESTAIS EM TERRAS INDÍGENAS NO BIOMA CERRADO**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

FELIPE GIMENES RODRIGUES SILVA

**RELAÇÃO DA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO COM A OCORRÊNCIA DE  
INCÊNDIOS FLORESTAIS EM TERRAS INDÍGENAS NO BIOMA CERRADO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Nilton Cesar Fielder

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

## AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade do Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de cursar o mestrado e à CAPES pela concessão da bolsa no período da pós-graduação e ao Instituto Federal de Mato Grosso, por permitir o afastamento dos profissionais para obter mais conhecimentos e assim, somar ainda mais com a instituição.

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada, sempre me guiando pelos bons caminhos.

Meus pais Djalma e Saira, que jamais mediram esforços para me oferecer um estudo e educação de qualidade, sempre me guiaram pelos melhores caminhos e me apoiaram nos piores momentos e me fizeram acreditar na vitória e sobretudo na minha capacidade. Tenho muito que agradecer esses dois, por abdicar sem hesitar de muitas coisas ao longo de suas vidas em prol do crescimento profissional de seus filhos e por isso dedico tudo isso a vocês.

A minha filha Giovanna que mesmo distante tenho ela em pensamentos, devido ao grande amor que sinto, dedico essa vitória a ela. Minha sobrinha Manuela, que assim como minha filha tenho muito afeto e amor.

As minhas irmãs Maiara Trajano e Marília por serem pessoas muito especiais na minha vida;

A Mahira Miranda, pelo companheirismo nos momentos difíceis.

Aos meus familiares que participaram diretamente de minha formação como pessoa: Luci, Laurita, Bal, Cida, Laurice, Joel, Mimo, Papito, Trajano, Dova, Vavá, Dinho, Raquel, Cesar, Josias, Maura, Edilson e Nunes (em memória).

As minhas avós Carmem e Maria Luzia (em memória), grandes exemplos que sempre seguirei.

Aos Meus Amigos, Junior (Ronival), Tiago (Roniguel), Rodrigo, Cesinha Compadre Bolom), Vitor, Lucas, Rosalvo, Trajaninho, Luquinhas, Fabricio, Leila, Marco, Marcio, Andreia, Ezielbe (Paraiba), Kleube (Zé Rainha), Baixota, Girimba, Muchaca, João e Pedro.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos, pela amizade, atenção e conhecimentos compartilhados, por ser uma pessoa de grande coração e que nunca mediu esforços para ajudar seu próximo.

Aos meus amigos de Jerônimo Jerry, José Valério, Bode Zé, Lay, Leandro, Saulo, Evandro e Flavinho.

Ao meu amigo Juarez Benigno Paes, pelo companheirismo, amizade, conversas construtivas e orientações.

Ao Grupo de pesquisa *Geotechnology Applied to Global Environment* (GAGEN), pela amizade, companheirismo e experiências compartilhadas;

Aos amigos do laboratório de Geoprocessamento Kaise, Marks, Samuel e Taís pelo convívio e por fazerem parte e dar apoio no momento de descrença durante o mestrado;

Aos membros da banca examinadora, Dr. Nilton Cesar Fidler, Dr. Rodrigo Sobreira Dr. Alexandre Rosa dos Santos Dr. Pesquisador Samuel pelas valiosas contribuições.

"A satisfação está no esforço e não apenas na realização. " "Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer. "

Mahatma Gandhi

"Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena acreditar no sonho que se tem, que seus planos nunca vão dar certo, que você nunca vai ser alguém. Pois, se você quiser alguém em quem confiar, confie em si mesmo, quem acredita sempre alcança! "

Renato Russo

"A fé na vitória tem que ser inabalável".

O Rappa

## RESUMO

SILVA, Felipe Gimenes Rodrigues. Dinâmica da vegetação e relação com ocorrência de incêndios no Bioma Cerrado. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos; Co-orientador: Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler.

O Bioma Cerrado encontra-se ameaçado pelo avanço do desmatamento e uso indiscriminado do fogo. Neste cenário o estudo das terras indígenas por meio de informações obtidas do sensoriamento remoto auxilia na avaliação da vegetação e suas relações com a ocorrência de incêndios. Neste contexto, objetivou-se avaliar a dinâmica temporal da vegetação, relacionando com a precipitação e a ocorrência de incêndios florestais em terras indígenas, localizadas no Bioma Cerrado no estado de Mato Grosso, Brasil. Desta forma, foram utilizados dados oriundos dos índices de vegetação obtidos pelo *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e gerados do produto do MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS, instrumento do satélite TERRA. Para as análises de Área de Queima ao longo da série, as imagens foram provenientes do produto MCD45A1 do mesmo sensor. As imagens foram adquiridas no período de 2007 a 2016, e por último, as imagens de precipitação do sensor *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). Com as imagens de NDVI, TRMM e Área de Queima, foram padronizados no programa *ArcGis* para assim, serem trabalhados no *software TerrSet*, foi utilizado o módulo *Earth Trends Modeler*, fazendo a análise de correlação entre os elementos de precipitação, índice de vegetação e área de queima, considerando diferentes defasagens (-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3), para assim obter o tempo de resposta das variáveis dependentes em relação as independentes. Em relação às análises das tendências interanuais das séries temporais de índices de vegetação, estas foram realizadas por meio das metodologias de tendência monotônica de Mann-Kendall e análises de tendências sazonais. As imagens foram importadas, para o *software TerrSet*, no qual também foi utilizado o módulo *Earth Trends Modeler* (ETM) para processamento e análise das tendências de comportamento dos índices de vegetação. Para a análise de anomalias do índice de vegetação,

precipitação e área de queima, não foram encontrados períodos anômalos. As correlações obtidas, foram mais significativas em regiões de campos abertos com R de 0,84 para o NDVI e Precipitação e para NDVI e área de queima R de - 0,74. A Tendência monotônica de Mann-Kendall, denotam certa estabilidade do índice de vegetação com variações positivas em regiões de campos abertos e em apenas um local (aldeia Areões) com redução do vigor vegetativo. A análise de tendências Sazonais identificou diferentes resposta da vegetação, uma vez que esse bioma apresenta diversificada fitofisionomia mostrando a sazonalidade da vegetação com diferentes fases em amplitudes. Em todos os anos foram quantificadas extensas áreas de queima, totalizando aproximadamente um milhão de hectares / ano; A variação das tendências, evidenciam as várias fitofisionomias e suas respostas em relação ao ganho e perda de biomassa. A melhor resposta da correlação e regressão do NDVI x Precipitação foi observada em função do tipo de vegetação de campos abertos. A Área de queima tende a aumentar com a redução do NDVI, principalmente em regiões com vegetações mais abertas. Por fim, em relação a sazonalidade não foi encontrado um padrão definido de ciclos e fases da vegetação.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Precipitação, Incêndios Florestais, Índice de Vegetação.

## ABSTRACT

SILVA, Felipe Gimenes Rodrigues. Vegetation dynamics and relation with occurrence of fires in the Cerrado Biome. 2017. Dissertation (Master's degree on Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Advisor: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-advisor: Prof. Dr. Nilton Cesar Fielder.

The Cerrado Biome is threatened by the advance of deforestation and the indiscriminate use of fire. In this scenario, the study of indigenous lands through information obtained from remote sensing helps to evaluate the vegetation and its relation to the occurrence of fires. In this context, the objective was to evaluate the temporal dynamics of the vegetation, related to the precipitation and the occurrence of forest fires in indigenous lands, located in the Cerrado Biome in the state of Mato Grosso, Brazil. Thus, data from the vegetation indices obtained by the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and generated from the product of the MOD13Q1 provided by the MODIS sensor, instrument of the satellite TERRA. For the analysis of Burn Area throughout the series, the images came from the MCD45A1 product of the same sensor. The images were acquired from 2007 to 2016, and lastly, rainfall images from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor. With the images of NDVI, TRMM and Burn Area, they were standardized in the ArcGis program so that they were worked in the TerrSet software program, the Earth Trends Modeler module was used, making correlation analysis between elements of precipitation, vegetation index and (3, -2, -1, 0, 1, 2, 3), in order to obtain the response time of the dependent variables in relation to the independent variables. With the images of NDVI, TRMM and Burn Area, they were standardized in the ArcGis program so that they were worked on the TerrSet software, using the Earth Trends Modeler module, doing the correlation analysis between elements of precipitation, vegetation index and area (-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3), in order to obtain the response time of the dependent variables in relation to the independent ones. In relation to the analyzes of the interannual trends of the time series of vegetation indices, these were carried out using Mann-Kendall monotonic trend methodologies and analyzes of seasonal trends. The images were imported for the TerrSet software, in which the Earth Trends Modeler (ETM) module was also used to process and analyze the vegetation index behavior trends. For the analysis

of anomalies of vegetation index, precipitation and burning area, no anomalous periods were found. The correlations obtained were more significant in open field regions with R of 0.84 for NDVI and Precipitation and for NDVI and R burning area of - 0.74. The Monotonic Trend of Mann-Kendall, denote a certain stability of the vegetation index with positive variations in open field regions and in only one place (Areões village) with reduced vegetative vigor. The analysis of seasonal trends identified different vegetation responses, since this biome presents a diversified phytophysiology showing the seasonality of vegetation with different phases in amplitudes. In all years, large areas of burning were quantified, totaling approximately one million hectares per year; The variation of the trends, evidences the various phytophysionomies and their answers regarding the gain and loss of biomass. The best correlation and regression response of NDVI x precipitation was observed according to the type of open field vegetation. The Area of burning tends to increase with the reduction of NDVI, mainly in regions with more open vegetations. Finally, in relation to seasonality, a defined pattern of cycles and vegetation phases was not found.

**Keywords:** Remote sensing, Precipitation, Forest Fires, Vegetation Index.

## LISTAS DE SIGLAS

AQ – Área de Queima

CERES – Sensor de Energia Radiante da Superfície Terrestre e das Nuvens

EOS – Earth Observing System

EOSDIS – Earth Observing System Data and Information System

ETM – Earth Trends Modeler

HDF – Hierarchy Data Format

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IV – Índice de Vegetação

JAXA – Japan Aerospace Exploration

LIS – Sensor de Imageamento de Relâmpagos

LPDAAC – Land Processes Distributed Active Archive Center

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer

MRT – Modis Reprojection Tools

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

PR – Radar de Precipitação

REM – Reação da Radiação Eletromagnética

STA – Seasonal Trend Analysys

T.i. – Terras Indígenas

TMI – Imagiador de Micro-ondas

TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission

VIRS – Radiômetro no Visível e no Infravermelho

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1	TERRAS INDÍGENAS – T.I. ....	15
2.2	CERRADO E INCÊNDIOS FLORESTAIS .....	15
2.3	PRECIPITAÇÃO (CLIMA) X BIOMA CERRADO .....	18
2.4	SENSORIAMENTO REMOTO .....	19
2.4.1	<b>Sensoriamento remoto no monitoramento da vegetação .....</b>	<b>20</b>
2.4.2	<b>Monitoramento remoto de incêndios florestais no Bioma Cerrado</b>	<b>21</b>
2.4.3	<b>Sensor <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i> – MODIS</b> .....	<b>22</b>
2.4.4	<b>Índices de Vegetação .....</b>	<b>24</b>
2.4.5	<b>Produto de Incêndios MODIS – MCD45A1 .....</b>	<b>26</b>
2.4.6	<b><i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i> – TRMM.....</b>	<b>27</b>
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	30
3.2	OBTENÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	32
3.3	OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS METEOROLÓGICOS .	35
3.4	ANÁLISE TEMPORAL DA ÁREA DE QUEIMA – MCD45A1/MODIS .....	36
3.5	PROCESSAMENTO TERRSET .....	37
3.5.1	<b>Análises de tendências, correlações e defasagens .....</b>	<b>37</b>
3.5.2	<b>Tendência Monotônica de Mann-Kendall .....</b>	<b>38</b>
3.5.3	<b>Sazonalidade da vegetação .....</b>	<b>39</b>
3.5.4	<b>Anomalias NDVI, precipitação e área de queima.....</b>	<b>40</b>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1	MODELAGEM LINEAR DO NDVI X TRMM.....	42

4.2	ÁREA DE QUEIMA X VEGETAÇÃO .....	46
4.3	ÁREA DE QUEIMA X PRECIPITAÇÃO .....	48
4.4	RESULTADOS PERFIL TEMPORAL .....	49
4.5	RESULTADOS ANOMALIAS.....	51
<b>4.5.1</b>	<b>Anomalias NDVI.....</b>	<b>51</b>
<b>4.5.2.</b>	<b>Anomalia de Área de Queima.....</b>	<b>53</b>
4.5.3	Anomalias TRMM.....	55
4.6	Tendência Monotônica de Mann-Kendall.....	57
4.7	Sazonalidade do NDVI.....	59
5.	CONCLUSÕES .....	63
	REFERENCIAS .....	64

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui vasta extensão territorial e parte desse território é destinada as Terras Indígenas – T.i., somando 704 unidades ou 13,8 % do território nacional, contemplando diversos biomas, segundo dados do Instituto Socioambiental – ISA (2016). O ISA afirma, que só o estado de Mato Grosso possui 90.677.065 hectares e desse total, 15.022.842 pertencem aos povos indígenas.

Sendo assim, a criação de unidades indígenas, contribui no ganho socioambiental, refletindo diretamente na manutenção da cultura das populações indígenas e conservação de diversos biomas (ZIMMERMAN et al., 2001). Como exemplo, o Cerrado mato-grossense possui uma área de 30 milhões de ha e aproximadamente 4.5 milhões são pertencentes a T.i.

O Bioma Cerrado, também denominado “Savana brasileira” é um dos maiores ecossistemas do Brasil, com reconhecimento internacional da sua biodiversidade, sendo incluído na lista daqueles com grande diversidade e constante ação antrópica com risco de perda ou desequilíbrio de seu ecossistema, denominados internacionalmente de *hotspots* (CARDOSO DA SILVA; BATES, 2002). Assim, esse bioma é constantemente afetado pelos incêndios florestais, refletindo diretamente na perda de biomassa e redução do vigor vegetativo (RYAN, 2000).

Desta maneira, esse bioma encontra-se ameaçado, pois muitas espécies de vegetais e animais estão sendo extintas, pelo constante avanço da agricultura e uso indiscriminado do fogo (FIEDLER et al., 2004). Apesar de sua relevante importância ambiental o mesmo tem sido alterado pelo uso e ocupação do solo nas últimas décadas, causado pela crescente pressão para a abertura de novas áreas agrícolas, colocando em risco a integridade de seus habitats (MACHADO et al., 2004).

Neste cenário, o fogo cumpre um papel em uma série de interações, tanto no distúrbio da dinâmica da vegetação (PAUSAS; VALLEJO, 1999; CAIRNEY; BASTIAS, 2007; JESÚS, 2012; NUNES et al., 2014), e também como elemento importante para algumas espécies, impactando diretamente na produtividade, resiliência, biodiversidade e ciclo hidrológico do local, podendo ainda ser uma fonte

expressiva de gases de efeito estufa causando impactos de níveis globais prejudicando processos atmosféricos (FRENCH; KASISCHKE; WILLIAMS, 2003).

De forma geral, o meio ambiente é afetado pela constante ação antrópica, degradando e reduzindo a biodiversidade. Com isso, o sensoriamento remoto surge como uma ferramenta propícia para avaliar o comportamento temporal da vegetação relacionada com a precipitação e ocorrência de incêndios no bioma. Diante do exposto, essa área de estudo é um elemento essencial no monitoramento da dinâmica vegetal dos ecossistemas do planeta, usando índices de vegetação derivados da reflectância das bandas de vermelho e infravermelho próximo, tornando-se uma ferramenta útil na correlação de dados climáticos e comportamento da vegetação em escala espaço-temporal (PETTORELLI et al., 2005; TIAN et al., 2016).

Assim, o uso de satélites multiespectrais torna-se uma ferramenta comum no mapeamento dos efeitos dos incêndios florestais (WIMBERLY; REILLY, 2007). O reconhecimento mundial do crescente aumento dos incêndios florestais e seu potencial em modificar, alterar e degradar ecossistemas levaram estudiosos a apontarem seus esforços ao estudo desse fenômeno por meio de sensores orbitais capazes de detectar esses eventos em escalas regionais, continentais e mundiais (GIGLIO et al., 2009). Dessa forma, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos utilizando sensor *Moderate Resolution Imaging Spectro Radiometer* – MODIS para análise de incêndios florestais (JUSTICE et al., 2002; ROY; BOSCHETTI; TRIGG, 2006; HARRIS; VERAVERBEKE; HOOK, 2011;).

Nessa vertente, o estudo da paisagem e sua fenologia torna-se um desafio, pela dificuldade de mensurar os eventos fenológicos, e principalmente, quando se trata de grandes áreas. Assim, o interesse por avaliar e monitorar a dinâmica da paisagem aumentou nos últimos tempos, causado pela disponibilidade de dados provenientes do monitoramento orbital com boa resolução, utilizados entre outras funções, na observação das mudanças climáticas e seus impactos na dinâmica da vegetação (CRIMMINS; CRIMMINS; DAVID BERTELSEN, 2010). Além disso, muitas propriedades dos processos biológicos da vegetação podem ser monitoradas por satélites, que constituem uma forma de avaliação rápida do comportamento biológico da vegetação (MEIER et al., 2015).

Em adição, os avanços dos métodos computacionais resultaram em mapas que descrevem as alterações florestais em alta resolução (HANSEN et al., 2013; EVANGELIDIS et al., 2014). Dessa forma, esses métodos aplicados à análise temporal com resoluções moderadas, por meio de sensores, geram resultados satisfatórios (DE JONG et al., 2012; FORKEL et al., 2013).

Em decorrência da falta ou escassez de informações relacionadas à dinâmica da vegetação e sua relação com a precipitação e incêndios florestais ocorridos em terras indígenas localizadas no Bioma Cerrado, torna-se necessário o monitoramento e correlação de variáveis para a compreensão desses eventos ambientais. Assim, o monitoramento do mesmo é necessário como medida conservacionista, uma vez que, essas áreas são cercadas por unidades agropecuárias, que podem resultar em ações antrópicas ocasionando impactos ambientais, como os incêndios florestais.

Diante do exposto, a precipitação e o Índice de Vegetação – IV são os principais elementos explicativos da ocorrência de incêndios florestais, e diagnosticar a influência da precipitação na fenologia do Bioma Cerrado, se a vegetação e precipitação contribuem de fato, na explicação dos incêndios florestais, são questões a serem respondidas pelo presente estudo. O qual tem por objetivo avaliar a dinâmica temporal da vegetação, relacionando com a precipitação e a ocorrência de incêndios florestais em terras indígenas, localizadas no Bioma Cerrado no estado de Mato Grosso, Brasil.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 TERRAS INDÍGENAS – T.I.

No Brasil existem várias Terras Indígenas – T.i. distribuídas ao longo de seu território, segundo a Fundação Nacional do Índio – FUNAI (2016) existem 462 terras indígenas regularizadas, que em sua somatória totaliza 12,2% do território nacional, distribuídas em todos os Bioma. Tendo, o estado Mato-grossense aproximadamente 40% de sua área coberta pelo bioma Cerrado e 14% da mesma constitui-se de T.i.

Segundo Leonel (2000), os povos indígenas tem como tradição a utilização do fogo de forma indiscriminada. Diante disto, a busca de informações referente ao uso do fogo por esses povos também pode ser tratada como variável explicativa de possível ocorrência de incêndios no Bioma Cerrado.

### 2.2 CERRADO E INCÊNDIOS FLORESTAIS

As savanas tropicais cobrem quase um terço da superfície terrestre do mundo, mais da metade da África e da Austrália, 45% da América do Sul e cerca de 10% da Índia e do Sudeste Asiático (RATTER; RIBEIRO; 1997). O Cerrado (“Savana brasileira”) é o segundo maior bioma do Brasil, considerado um dos principais do país, depois da Amazônia. Ocupa grande parte do território brasileiro, sendo uma das últimas fronteiras agrícolas do mundo (BORLAUG, 2002).

Segundo Gottsberger; Silberbauer-Gottsberger (2006) Ratter e Ribeiro (1997) o Cerrado brasileiro possui extensão aproximada entre 20% a 25% do território, ou uma área de 1,5 a 2 milhões de km<sup>2</sup>. Os autores afirmam, que o

dimensionamento, das extensões desse Bioma são incertos, por causa da grande dificuldade de classificação do mesmo.

Em adição, Klink e Machado (2005) afirmam que, 500.000 km<sup>2</sup> dessa vegetação são pastagens e 100.000 km<sup>2</sup> agricultura. Com isso, Machado et al. (2004) ao trabalharem no monitoramento desse bioma, com o sensor MODIS com imagens de 2002, detectou uma área de desmatamento com cerca 55% da área total do bioma.

Além disso, Mayaux et al. (2005) relatam que a principal razão subjacente é a relação entre a ocorrência de incêndios e o desmatamento que possuem correlação positiva entre os incêndios e as mudanças do uso e ocupação terrestre, dentro de um dado bioma. Em suma, os dados de incêndios provenientes de imagens de satélite podem servir como um alimentador de informações, na definição nas mudanças na cobertura terrestre.

Os incêndios podem ser de origem natural ou antropogênica. Sendo classificados com incêndios de superfície aqueles que possuem uma frente de queima e como principal fonte de combustível as folhas, capins e galhos caídos todos na superfície do solo; e incêndios de copa de árvores e arbustos. Este tipo é sustentado por um de superfície, e pode ser considerado o mais intenso e difícil contenção (HERRERA, 2016).

Sabe-se ainda que, os incêndios são influenciados por diferentes fatores, como clima, topografia e estrutura da vegetação, os quais determinam o grau de intensidade do fogo (HERRERA, 2016). Sendo assim, a ocorrência do mesmo podem causar impactos de relevância socioeconômico ambiental, levando pesquisadores a buscarem informações que ajudam na compreensão do seu comportamento, para assim obterem medidas de contenção com maior sucesso e menor degradação ambiental (BOWMAN et al., 2009; VIEGAS, 2012; HERRERA, 2016).

Nesse contexto, muitos ecossistemas são modificados quando perturbados pelo fogo, interferindo na estrutura vegetal e influenciando diretamente na sua variabilidade, podendo ter diversas formas de resposta, dependendo do regime de incêndios (CHRISTENSEN et al., 1989; NE'EMAN; LAHAV; IZHAKI, 1995). Sendo assim, o fogo desempenha um papel importante, principalmente na dinâmica da vegetação (JESÚS, 2012; NUNES et al., 2014).

O bioma Cerrado é conhecido pela produção de biomassa principalmente na estação chuvosa e, durante a seca as gramíneas entram em estado de dormência ou redução da atividade fotossintética levando a parte aérea a entrar em senescência (KLINK; SOLBRIG, 1996). Assim, os incêndios florestais nessa vegetação consomem principalmente as plantas mais fina, gerando incêndios de superfície (MIRANDA et al., 2002).

A ocorrência de incêndios florestais com grande frequência acaba exaurindo a biomassa e expelindo gases de efeito estufa na atmosfera, impactando diretamente nas condições climáticas (GREGOIRE; TANSEY; SILVA, 2003; GREGOIRE et al., 2013), podendo ter forte influência sobre o clima, principalmente na quantidade de dióxido de carbono metano (WILLIAMS et al., 2007) e na quantidade de ozônio na troposfera (MARUFU et al., 2000).

Bowman et al. (2009) reportam um crescente aumento de incêndios florestais, não só em um continente específico, mas no planeta todo e em vários ecossistemas, independente da capacidade de monitoramento dos países atingidos. Os autores destacam ainda no período entre 1997 e 1998, mais de 20 milhões de hectares foram queimados na América Latina, causando um gasto de 10 a 15 bilhões de dólares.

Desse modo, Kauffman; Cummings; Ward (1994) consideram o fogo como parte de um elemento essencial nos processos ecológicos, influenciando diretamente na composição, ciclagem e estrutura dos ecossistemas.

Nesse sentido, Medeiros e Miranda (2005) afirmam que muitas espécies possuem estratégias que às protegem dos danos do fogo, e muitas necessitam do mesmo para emitir suas brotações, além de possuir a estrutura morfológica resistente por apresentarem cascas espessas, suberização do tronco e dos galhos, e frutos com capacidade de proteção das sementes, que fazem do fogo elemento tanto benéfico quanto maléfico a esse ecossistema. Os autores ainda complementam que dependendo da intensidade dos incêndios, pode afetar diretamente na capacidade de rebrota ou resiliências da vegetação.

## 2.3 PLUVIOSIDADE X BIOMA CERRADO

Nas últimas décadas, o aumento populacional elevou a necessidade de novas áreas para a produção agropecuária, transformando grandes áreas de savanas (cerrado) em áreas produtivas, influenciando assim os ecossistemas nativos (RAMANKUTTY et al., 2008). As alterações climáticas têm afetado diretamente os processos ecológicos, modificando a intensidade dos distúrbios e alterando todo um sistema existente (GOETZ et al., 2005). Além disso, Shukla; Nobre; Sellers (1990) afirmam que todas as alterações afetam o equilíbrio da associação entre a vegetação e clima, caso um componente seja modificado.

Em adição, Becerra; Shimabukuro; Alvalá (2009) relatam que o Bioma Cerrado encontra-se extremamente fragilizado, pelo avanço do desmatamento acompanhado pelas atividades agropecuárias, substituindo toda a vegetação nativa por culturas comerciais. Quanto ao crescente avanço das atividades que impactam diretamente o Cerrado, estão diretamente ligadas aos programas públicos de regularização fundiária e de desenvolvimento agrícola, que em muitas vezes, resultam em problemas principalmente ambientais (PEREIRA; FABRÉ, 2009).

Com isso, torna-se necessário utilizar meios para obter um estudo mais aprofundado e suas consequências diretas à vegetação e clima. A utilização do sensoriamento remoto para a avaliação e monitoramento desses distúrbios, estão disponíveis em diversas ferramentas dos satélites, que analisam as mudanças ocorridas em diversos ecossistemas (ROY et al., 2014). Assim, a detecção remota tem sido amplamente utilizada para avaliar o comportamento da vegetação após perturbações em vários ecossistemas (GOETZ et al., 2005).

Para tanto, a compreensão das mudanças climáticas e sua correlação com a vegetação é uma das questões de importância no entendimento da dinâmica de muitos biomas (NEMANI, 2003). As alterações climáticas, em particular, são as possíveis causas de variações nas condições das florestas, cujo equilíbrio ambiental é frágil e vulnerável as perturbações (MASELLI, 2004).

Castro; Moreira; Assad (1994) relatam que, o Cerrado da América do Sul é um dos mais úmidos do planeta, com características nítidas de sazonalidade do

clima, com estações secas e chuvosas bem definidas. Os autores complementam que o período chuvoso se concentra quase que na sua totalidade, no intervalo dos meses de outubro a abril, podendo atingir zero de precipitação e umidade relativa com valores inferiores a 20%, nos demais meses.

As variações das chuvas induzem flutuações nos fluxos biogeoquímicos (GRACE et al., 1995, 2006). Ratter; Bridgewater; Ribeiro, 1996 e Ratter; Ribeiro, (1997) descrevem a forte sazonalidade no clima, solos empobrecidos, acompanhada da elevada toxidez e a frequente ocorrência de incêndios, diante disso, o Cerrado encontra-se sob forte pressão ambiental.

A interação da vegetação com o clima (Fenologia) evidencia os eventos biológicos e as estações do ano, desde a sua floração como a queda de suas folhas. A vegetação acaba atuando como elemento indicador e extremamente sensível as mudanças climáticas (RICHARDSON et al., 2010). Nessa vertente, as mudanças na dinâmica da vegetação podem ser em resposta às mudanças climáticas, tanto local como global (GALLINAT; PRIMACK; WAGNER, 2015).

## 2.4 SENSORIAMENTO REMOTO

Essa técnica pode ser definida como a teledetecção por meio da Reação da Radiação Eletromagnética – REM em alvos localizados na superfície terrestre, com essa interação (REM x alvos), obtém-se dados ou informações que possa extrair de determinado local do nosso planeta informações a cerca da dinâmica da vegetação, mudanças climáticas, incêndios e outros fenômenos meteorológicos (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Com essa técnica, a coleta de dados ocorre de modo passivo (satélite dependem da REM da luz solar) ou ativo (satélites emitem a própria REM), obtendo as informações dos alvos localizados na superfície. Os métodos de coleta possuem níveis de altitude, interferindo diretamente na escala, que podem ser: orbital, aéreo e campo ou laboratório. Com destaque, para o nível orbital, com maior área de abrangência e menor custo envolvido (FLORENZANO, 2011). Sendo assim, a

aplicação dessa ferramenta ocorre em diferentes escalas, e diversas propostas de estudos e sobretudo em diferentes ecossistemas (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Na escolha de um sensor orbital adequado para determinado alvo na superfície terrestre, deve-se relevar alguns fatores, como a eficiência, frequência na aquisição de dados, ângulo de visada, custos, comportamento espectral dos alvos, fatores que podem interferir no seu comportamento, qualidade, capacidade de resolução espacial, temporal, espectral e radiométrica. Bem como a geometria de visada, que interfere diretamente nos parâmetros avaliados (FLORENZANO, 2011).

#### **2.4.1 Sensoriamento remoto no monitoramento da vegetação**

A determinação da natureza dos alvos pelas técnicas de sensoriamento remoto é embasada no fato de que diferentes materiais são caracterizados por reflectâncias próprias em cada banda do espectro eletromagnético. Isso reflete diretamente no diagnóstico dos elementos avaliados. Por outras palavras, essas imagens oferecem dados multiespectrais de acordo com a composição de cada objeto, tudo proveniente da interação da REM com o alvo avaliado (MOREIRA, 2011).

Quando se detém nos padrões de vegetação, observa-se que a determinação e diferenciação da vegetação por métodos de sensoriamento remoto são possíveis em diferentes intervalos de comprimento de onda do espectro eletromagnético. Na região do visível a interação da radiação eletromagnética com a vegetação tem como fator determinante a reflectância dos pigmentos da folha. No infravermelho próximo com a estrutura foliar, bem como, no infravermelho médio com o conteúdo de água da folha (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Na região do visível, o comportamento da reflexão é determinado pela clorofila. A maior parte da REM é absorvida na faixa do visível entre os intervalos de 0,4-0,5  $\mu\text{m}$  (azul), 0,6-0,7  $\mu\text{m}$  (vermelho), enquanto no intervalo de 0,5-0,6  $\mu\text{m}$  (verde) é refletida. Já na faixa dos 0,7-1,3  $\mu\text{m}$  (infravermelho próximo) a reflexão

espectral é alta e com baixa absorção. Nos comprimentos de onda acima de 1,3  $\mu\text{m}$ , o conteúdo de água das folhas influencia mais fortemente a interação com a radiação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

O padrão espectral da vegetação é único (em relação a outros alvos naturais) e dinâmico, pois apresenta, além do seu padrão de resposta espectral, também a característica temporal destes alvos, associada à fenologia ao longo do seu ciclo. Assim, o sensoriamento remoto permite estender as análises da vegetação em diferentes escalas temporais e espaciais, em função da natureza contínua dos dados espectrais no tempo, desenvolvendo estudos sobre o comportamento sazonal e mudanças da composição biofísica e bioquímica de dosséis (ZHOU et al., 2001; BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2009; MA et al., 2013; FERRAZ et al., 2014;).

#### **2.4.2 Monitoramento remoto de incêndios florestais no Bioma Cerrado**

Os incêndios florestais desempenham um papel importante em muitos ecossistemas, pois tem alto potencial em modificar a estrutura do bioma e influenciar diretamente na dinâmica da vegetação (RIAÑO et al., 2007). Neste contexto, Amiro et al. (2006) afirmam que o grau de incidência do incêndio pode levar a floresta ao seu esgotamento modificando seu ciclo e prejudicando a sua capacidade de resiliência. Com isso, a paisagem de qualquer bioma pode ser modificada, parcial ou totalmente pela remoção das camadas de vegetação causadas pelo fogo, exauridas pela combustão da biomassa (EPTING; VERBYLA, 2005).

Durante as últimas décadas ocorreu um aumento expressivo nos focos de incêndios no Brasil e estima-se a ocorrência de milhares por ano, que afeta diretamente muitos ecossistemas (FLORENZANO, 2011). Sendo assim, as técnicas e ferramentas do sensoriamento remoto na obtenção de dados de estudo da vegetação são importantes, uma vez que a extração de dados pela interação do alvo com a radiação eletromagnética faz dessa ciência importante ferramenta no

estudo dos fenômenos que ocorrem com a vegetação, como incêndios (NOVO, 2008).

Dentre os diversos sensores aplicados no estudo da vegetação, destaca-se o sensor MODIS, uma das ferramentas de monitoramento acoplado ao satélite Aqua e Terra que foi projetado para melhorar a capacidade de mapeamento do fogo (KAUFMAN et al., 1998). A principal melhoria na detecção de incêndios deve-se ao produto MOD14 (Terra) associado ao MYD14 (Aqua), que geram os produtos de fogo, os quais possuem maior reprocessamento das séries temporais do sensor MODIS (GIGLIO; SCHROEDER; JUSTICE, 2016).

Este sensor passou por melhorias no mapeamento de identificação de incêndios florestais, podendo atingir escalas continentais (LOBODA; O'NEAL; CSISZAR, 2007). Neste sentido, Schroeder et al. (2008) afirmam que o algoritmo da coleção 6 destina-se a abordar as limitações observadas com o produto fogo e a coleção 5 anterior, designada a detectar alarmes falsos, provocados pela supressão de grandes incêndios encobertos pela fumaça espessa.

Sendo assim, Justice et al. (2002) afirmam que a ferramenta MODIS possui bandas espectrais do infravermelho médio e termal com resolução espacial de 1 km no nadir, e faixa de visada de 2.330 km e resolução temporal de duas visitas por dia, disponibilizando como produto um identificador de área de queima e anomalias térmicas/fogo MOD45A1. Estas características são fundamentadas em dados das bandas 21 ou 22, e a aplicadas a detecção de incêndios.

#### **2.4.3 Sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* – MODIS**

Há muito tempo a humanidade busca informações sobre as mudanças climáticas e suas possíveis causas, principalmente cientistas e políticos voltam suas forças na busca desse conhecimento. Na convenção de Estocolmo em 1972 foram discutidas as influências antrópicas, e como suas alterações refletem diretamente no meio socioeconômicas e ambientais. Visto que, as mudanças e a magnitude delas foram tomando proporções desconhecidas, indagando o meio

científico de quais mecanismos que a natureza detém para reverter as mudanças causadas pelo homem (RUDORFF; SHIMABUKURO; CEBALLOS, 2007).

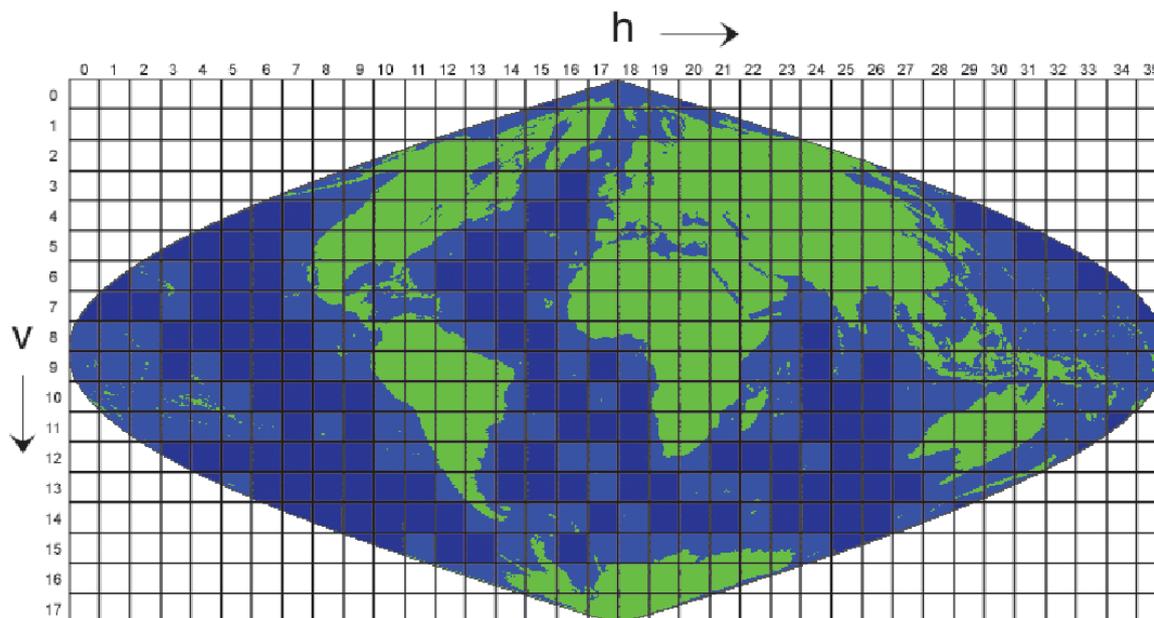
No objetivo de entender essas alterações, houve a criação de um programa internacional denominado *Earth Observing System* – EOS , liberado pela *National Aeronautics and Space Administration* - NASA e *Earth Observing System Data and Information System* - EOSDIS, para o estudo dos processos de mudanças globais (RUDORFF; SHIMABUKURO; CEBALLOS, 2007).

Sendo assim, vários sensores remotos surgiram ao longo do tempo, objetivando a observação e monitoramento de todo o planeta. Com isso, o sensor MODIS a bordo do satélite Terra, teve seu lançamento em 1999, e começou a fornecer dados em fevereiro de 2000. Assim, este sensor veio com uma proposta bem definida, de obter informações de todo o planeta, desde a atmosfera, oceano e terra. Este sensor contém bandas com resoluções espaciais e espectrais bem definidas para o alvo avaliado (JUSTICE et al., 2002).

O sensor MODIS é um sensor passivo (depende da luz solar), portanto, possui uma órbita heliosíncrona (sincronia com o Sol), com altitude de 705 km, quase polar e resolução temporal de um dia, sua latitude de aquisição maior que 30 graus. Além disso, esse sensor contém resolução radiométrica de 12 bits e opera na obtenção de informações com 36 bandas espectrais. Assim, trabalha com vários comprimentos de ondas, atuando desde o visível até o infravermelho termal. A resolução espacial contém imagens de 250 metros para as bandas 1 e 2; 500 metros para as bandas de 3 a 7; e 1000 metros para as outras 29 bandas (NASA, 2010).

Em adição, o MODIS disponibiliza seus produtos em formatos *Hierarchy Data Format* – HDF, disponibilizados na projeção sinusoidal e divididos em quadrantes, com mesma área e tamanho denominados de *tiles* que possuem dimensões de 10 x 10 graus (1.200 x 1.200 km) ou as cenas deste sensor cobre uma faixa de 2.330 km de largura, o que facilita a correlação entre os dados e a sua localização na Terra, cada *tile* possui uma referência numérica vertical e horizontal (Figura 1), para recobrimento total da Terra são necessárias 460 *tiles* (NASA, 2016).

Figura 1 – Sistema de referenciamento do sensor MODIS, demonstrando as *tiles* que recobrem toda a Terra.



Fonte: Adaptado da NASA (2016).

#### 2.4.4 Índices de Vegetação

O Sistema de Observação da Terra (EOS) tem um dos principais objetivos a análise da vegetação e sua dinâmica ao longo do tempo. Um dos produtos gerados por essa missão é o MOD13, que trabalha com informações relacionadas à vegetação e sua variação no espaço e tempo, com intervalos de imagens de 16 dias (SOLANO et al., 2010).

As características espectrais da vegetação estão intimamente relacionadas com fatores estruturais como teores de água e conteúdo de clorofila da vegetação, e possuem muitas aplicações para estudo e interpretação de dados de sensoriamento remoto quanto ao monitoramento da vegetação e mapeamento sob diferentes escalas temporais e espaciais (ATZBERGER, 2013).

Para o monitoramento da vegetação, é preciso criar alguns mecanismos de extração de dados desse alvo. Assim surgiu o índice de vegetação, que busca explorar propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do

visível e infravermelho próximo. A obtenção desse índice leva em consideração diversas questões inerentes não só do alvo avaliado, mas também, do meio em que está localizado, como o relevo, geometria de aquisição e influência dos valores de reflectância da vegetação. Assim, a fundamentação da presunção desse índice reside no comportamento oposto da reflectância da vegetação nas duas regiões espectrais mencionadas (visível com baixa reflectância e infravermelho próximo alta reflectância) (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Os Índices de Vegetação (NDVI e EVI) contidos no produto MOD13Q1 são sensíveis às variações sazonais e temporais das condições da vegetação (HUETE et al., 2002) e fornecem informações espacial e temporal das condições da cobertura vegetal, possibilitando com isso, inferir sobre variações fenológicas, eventos climáticos atípicos, distúrbios e variações interanuais na vegetação (RUDORFF; SHIMABUKURO; CEBALLOS, 2007).

De acordo com Ramme; Lamparelli; Rocha (2010), os índices de vegetação são determinados por meio da combinação das bandas espectrais que mais reagem com a vegetação. Os índices mais utilizados são adquiridos a partir de dados das bandas do vermelho e infravermelho próximo. Estes demonstram o contraste da alta absorvidade da radiação eletromagnética pela clorofila na banda do vermelho com a alta refletividade pelas estruturas e componentes foliares na região espectral do infravermelho próximo (TUCKER, 1979).

Entre os diversos produtos do sensor para estudo da superfície terrestre, o produto MOD13Q1 oferece o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação realçado (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, muito utilizado no estudo do vigor vegetativo de diversos biomas (ANDERSON et al., 2003).

Segundo Huete et al. (2002), o NDVI é um dos índices de vegetação mais utilizados e visa a diferença entre bandas espectrais, uma do vermelho variando de (6–7 micrometros) e infravermelho próximo variando de (7–1,3 micrometros). Esse índice foi proposto por Rouse et al. (1974); e normalizaram a razão simples, variando de -1 a +1 (Equação 1). O autor destaca que, utilizando esse índice para alvos terrestres, os valores podem chegar aproximadamente em 0,80.

$$NDVI = \frac{R_{IVP} + R_V}{R_{IVP} - R_V} \quad (1)$$

Em que:

$R_{IVP}$ : reflectância na faixa do infravermelho próximo; e  $R_V$ : reflectância na faixa do vermelho.

#### 2.4.5 Produto de Incêndios MODIS – MCD45A1

Com os frequentes eventos de incêndios florestais, e a grande emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, torna-se necessário a busca ou entendimento das zonas de maior incidência desse fenômeno natural e antrópico. Sabe-se também, do potencial de queima de biomassa, como um dos principais agentes nas mudanças no sistema terrestre, assim, muitas pesquisas se voltam na busca por informações ou dados de fogo em escalas que podem atingir níveis globais (GIGLIO et al., 2009).

Com isso a quantização exaustiva das áreas de queima, para assim, transformar essas informações não só em forma estatística, mas também como fonte de dados que podem colaborar na prevenção e recuperação de áreas afetadas por incêndios, conforme (GÓMEZ; PILAR MARTÍN, 2011).

As técnicas de sensoriamento remoto tornam-se uma das opções para obtenção de informações sobre o fogo, desde sua severidade as alterações proporcionadas pelo o mesmo, na vegetação e sua estrutura e também a frequência dos acontecimentos numa sessão de tempo (POLLET; OMI, 2002).

Diante disso, muitos sensores trabalham na busca de informações sobre o fogo com destaque ao produto disponibilizados pelo satélite Terra e Aqua, onde se encontra o sensor MODIS. O produto MCD45A1 tem como objetivo o mapeamento áreas de queima, seguido do dia de ocorrência (datas Julianas), com resolução espacial de 500 m e a disponibilidade de imagens mensais (ROY et al., 2005).

Esse produto oferece dados geolocalizados, calibrados, robustos e sobretudo corrigidos atmosféricamente, com resolução moderada permite grandes avanços no mapeamento por satélites das áreas queimadas. Assim, esse sensor gera informações sobre a área de queima a partir do ano 2000 (BOSCHETTI et al., 2015).

O produto disponibiliza oito subprodutos, porém utilizam-se apenas os citados, conforme (BOSCHETTI et al., 2015):

1. Burn date (2 bytes): Dias julianos aproximado da queima para oito dias antes de começar o mês e oito dias depois de terminar o mês. Os códigos indicam a situação do pixel.
  - 0 – não queimado;
  - 1 – 366 – dia juliano da ocorrência da queima;
  - 900 – neve ou aerossóis;
  - 9998 – corpos d’água (continentais);
  - 9999 – corpos d’água (mares e oceanos); e
  - 10000 – dados insuficientes.
2. BA pixel QA (1 byte): Confiança da detecção (1 (mais confiante) a 4 (menos confiante)). A descrição inicia no valor 1 com pixels de detectados com segurança, o valor 2 indica que a direção de queima pode ser para traz ou para a frente, valor 3 passa por uma análise, valor 4 segunda análise e valor 5, detecção sobre áreas agrícolas é aconselhado a não usar dados com essa classificação pela baixa precisão.

#### **2.4.6 Missão de Mensuração das Chuvas Tropicais– TRMM**

O Cerrado brasileiro tem proporções relevantes em extensão territorial, dessa forma, para levantar informações relacionadas a sua distribuição pluviométrica demanda grande quantidade de estações meteorológicas ao longo de seu território. A precipitação é um dos elementos atmosféricos com maior dificuldade de se mensurar causado pelas grandes variações no espaço e no tempo (KUMMEROW et al., 2000). No entanto, muitas estações possuem dados temporais

com falhas ou dados não coletados, refletindo diretamente na qualidade das informações, uma vez que o trabalho consiste na avaliação temporal.

Segundo Tapiador et al. (2012) e Brown et al. (2008), as redes globais de medidores de precipitação não possuem quantidades suficientes, e ainda estão distribuídos de forma desigual em grande parte do globo terrestre, podendo gerar indicadores tendenciosos limitando a compreensão da distribuição pluviométrica e reduzindo a confiabilidade dos dados em grandes áreas.

Por outro lado, Masih et al. (2011) verificaram que a estimativa da distribuição espacial das chuvas pode ser melhorada com a inclusão de dados de satélites. Além disso, as estimativas de precipitação por satélite abrem novos caminhos para uma previsão eficiente em regiões de difícil acesso e com escassas observações terrestres (MORENO; VIVONI; GOCHIS, 2012). Diante disso, o primeiro radar de precipitação foi instalado a bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) em 1997 (KUMMEROW, 1998; KUMMEROW et al., 2000). Sendo assim, buscam-se informações sobre a distribuição pluviométrica por meio do satélite TRMM, este responsável especificamente pela mensuração da pluviosidade na região tropical do mundo inteiro.

O TRMM possui a missão de mensurar a precipitação, projeto que teve o envolvimento conjunto entre a NASA e *Japan Aerospace Exploration - JAXA*, este responsável pelo primeiro sistema de precipitação espacial do mundo e também forneceu o foguete H-to para lançamento do mesmo. Sendo assim, houve uma colaboração ou esforço conjunto para o sucesso desse projeto, desde então os dados de observação TRMM são processados e fornecidos de forma gratuita (NASA, 2016).

Além disso, o mesmo transporta um conjunto de instrumentos a bordo da missão TRMM, sendo: imagiador de micro-ondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor de imageamento de relâmpagos (LIS) (LINARES, 2012; NASA, 2016). Com órbita oblíqua não-heliossíncrona com baixa altitude, operando em 350 km de altitude e após 2001 elevando para 403 km, com essa alteração permitiu avanços relativamente altos na resolução temporal e espacial (LINARES, 2012).

Com grande quantidade de instrumentos voltados para a avaliação e mensuração da precipitação, Nóbrega; Souza; Galvíncio, (2008) relatam que a utilização dos sensores orbitais na estimativa da pluviosidade se mostra uma alternativa relevante e com dados de qualidade.

De Almeida et al. (2015) ao correlacionarem informações de estações meteorológicas convencionais e automáticas com dados obtidos por meio do produto 3B43 do satélite TRMM, em que observou alta e significativa correlação no valor  $r$  de 0,83 (intervalo de confiança a 95% de probabilidade de 0,80 a 0,86) significativo a 5% de significância ( $p$ -valor  $< 2,2e^{-16}$ ), em todos os municípios avaliados, mostrando a alta capacidade e segurança na obtenção de informações pluviométricas.

Em trabalho de validação de dados do V7 TRMM 3B43 e sua correlação com bases meteorológicas Nastos; Kapsomenakis; Philandras (2016) descrevem o bom encaixe das informações. Ou seja, alta correlação entre as variáveis, e a descrição média da precipitação foram satisfatórias, mostrando que o produto V7 TRMM 3B43 monitora adequadamente o regime pluviométrico da Grécia.

Diante do exposto, os dados provenientes do satélite TRMM em comparação com as estações meteorológicas possuem diferença, porém aceitáveis, e podem estar relacionadas ao tamanho da escala, pois os satélites trabalham com áreas extremamente extensas e estimam a precipitação média de cada pixel e as estações são pontuais (DE ALMEIDA et al., 2015).

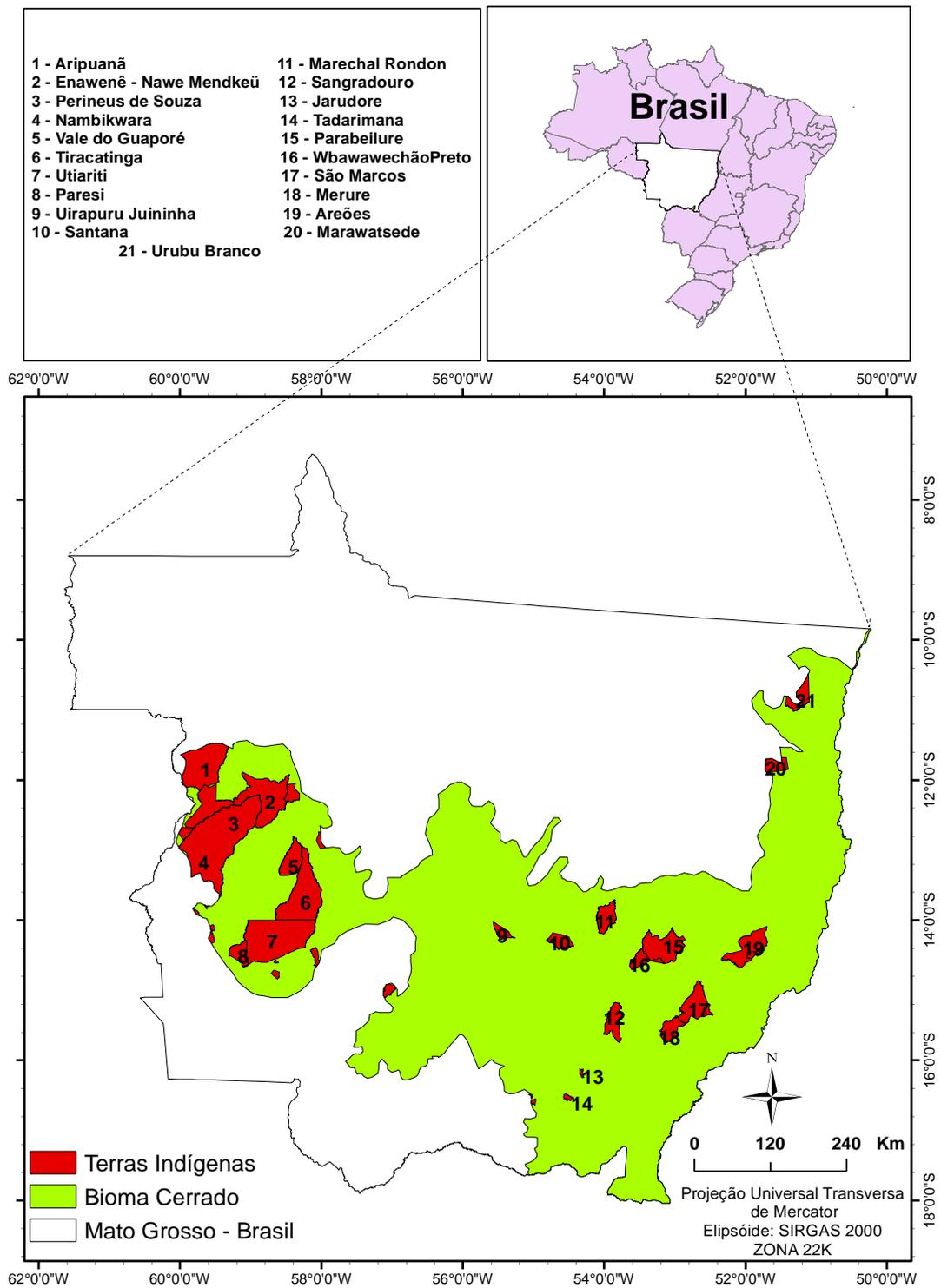
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em terras indígenas no Bioma Cerrado, dentro dos limites do estado do Mato Grosso localizado entre os paralelos 9°33'17" e 17°51'11" S e os meridianos 60°15'32" e 50°42'41" W (Figura 2).

O clima predominante do Cerrado é do tipo tropical sazonal, com inverno seco e o verão chuvoso. Segundo a classificação de Köppen (1931), a temperatura média anual oscila entre 22 a 23°C, as médias mensais têm pequenas variações, podendo chegar a 40°C e as mínimas mensais de alta amplitude de variação.

Figura 2 – Localização das terras indígenas no cerrado Mato-grossense.



Fonte: o autor

### 3.2 OBTENÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

No estudo, os dados utilizados para análise do padrão sazonal da vegetação nas terras indígenas, foi oriundo do índice de vegetação NDVI do produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS, instrumento do satélite Terra. Para as análises de áreas queimadas ao longo da série temporal de 10 anos (2007 - 2016), as imagens foram provenientes do produto MCD45A1 do sensor MODIS, satélites Aqua e Terra.

As imagens NDVI do produto MOD13Q1 e de área de queimas do produto MCD45A1 apresentam-se na projeção sinusoidal, com um nível de quantização de 16 bits, em formato *hierarchical data format* (HDF) e foram pré-processadas com o aplicativo *Modis Reprojection Tools* (MRT) para a obtenção de coordenadas planas, conversão do formato HDF para o formato Geotiff. Esses conjuntos de dados MODIS são obtidos na versão V005 (HUETE et al., 2002), no formato HDF, no qual cada imagem cobre uma área de 10 x 10 graus (1200 x 1200 km). As demais fases de processamento foram executadas no programa ArcGIS 10.3.1.

As imagens MODIS foram extraídas do portal (<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>) que integra o programa da NASA *The Earth Observing System Data and Information System* (EOSDIS). Este programa visa fornecer dados de observação do Planeta Terra para a comunidade científica do mundo todo de forma fácil e confiável (KOBLER; BERBERT, 1991). As imagens foram adquiridas no período de 01/01/07 a 31/12/16, nessa avaliação temporal foram extraídas imagens considerando a resolução temporal do satélite de 16 dias dos índices NDVI, totalizando 230 imagens (NDVI) 230 (*Pixel Reliability*) e 230 (*VI Quality*), na sessão temporal avaliada.

Essas imagens são denominadas *ready-to-use* (prontas para serem utilizadas), pois são disponibilizadas, georreferenciadas e com correção atmosférica pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* – LPDAAC (2014) e correspondem ao *tile* H12V10, no qual se localiza a área de estudo. Como citado anteriormente, cada imagem resulta de um mosaico da seleção dos *pixels* com melhor qualidade de um período de 16 dias para o NDVI. Dessa forma, as imagens representam todo o período em análise.

Segundo Solano et al. (2010), o sensor MODIS trabalha na criação de imagens do índice de vegetação compostas, originadas de várias observações, podendo chegar até quatro por dia, ao longo de 16 dias chegando a 64 observações. O autor afirma que o motivo de várias observações, está diretamente ligado a presença de nuvens e interferências atmosféricas que acometem os *pixels*, podendo mascarar informações da superfície, assim, os dados são filtrados utilizando os *pixels* de melhor qualidade.

O produto MODIS disponibiliza um total de sete imagens contidas no formato HDF, entretanto utilizaram-se as imagens NDVI, *Pixel Reliability* e *VI Quality*, das quais foram recortadas pela ferramenta *Extract by Mask* presente no *software ArcGis*, assim, obteve-se a área das terras indígenas do Cerrado matogrossense. Com isso, foi utilizado o *Pixel Reliability* e *VI Quality* para a redução de ruídos na imagem NDVI, selecionando apenas dados de alta confiabilidade e atribuindo *NoData* para valores descartados por baixa representatividade (-1, 2, e 3) e zero para dados considerados bons (0 e 1) para *Pixel Reliability*.

Além disso, às imagens de *VI quality*, que possuem valores que variam de 0 a 65.534, dos quais foram reclassificados com o intuito de gerarem dois intervalos de 4 a 37572 atribuindo "0" e 37572 a 60000 e classificado como *NoData*, originando número binário em que cada um foi transformando em um número decimal. A partir disso, somou-se o *Pixel Reliability + VI Quality + NDVI* para gerar uma imagem livre de pixels de baixa confiabilidade.

No *software ArcGIS 10.3.1* foi realizado todo o pré-processamento das imagens, desde a reclassificação até a retirada dos *pixels* espúrios, sendo obtidas imagens com alta confiabilidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Descrição da Imagem *Pixel Reliability* do produto MOD13Q1

Valor do Pixel	Qualidade	Descrição	Valores após reclassificação
0	Dado bom	Alto Grau de confiabilidade	0
1	Dado marginal	Pode ser utilizado, mas olhe outra informação de qualidade.	0
2	Neve e Gelo	Alvo coberto de gelo ou neve	<i>NoData</i>
3	Nuvens	Dados acometidos pela presença de nuvens.	<i>NoData</i>

Fonte: Adaptado de Didan et al. (2015).

Após a reclassificação foi utilizada a ferramenta *Raster calculator* do ArcGIS 10.3.1 para sobreposição das imagens NDVI, QA e PR, ao utilizar a soma das camadas gerando assim uma imagem NDVI com valores confiáveis de do índice de vegetação.

Visto que existe a necessidade de realizar a detecção e extração desses *pixels* de baixa representatividade, atribuindo o valor *NoData*, assim, conseguiu-se reduzir, consideravelmente a influência de nuvens e ruídos atmosféricos na obtenção do índice de vegetação.

Para o pré-processamento do produto MCD45A1, Araújo; Ferreira Júnior (2011) relatam que o mesmo, oferece oito imagens, porém, foram utilizadas a imagem *ba\_qa* (índice de confiança da detecção que varia de 1 a 4, sendo 1 mais confiante e 4 menos confiante) e *burndate* que define a área de queima. Posteriormente, os dados foram cruzados, assim, foi obtida a seleção de *pixels* com maior grau de confiabilidade na determinação da data de queima no *burndate* (valores anuais de 1 a 366 dias julianos). Com isso, foi possível obter a seleção de *pixels* com alto índice de confiabilidade (valor 1).

### 3.3 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Para a obtenção de dados meteorológicos, especificamente pluviométricos, foi utilizado o sensor *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) disponibilizadas gratuitamente do portal <https://disc.gsfc.nasa.gov/TRMM> (Ges DISC, 2017). Este sensor coleta informações na região tropical como um todo, com resolução espacial de  $0,25^\circ$  (aproximadamente 27,83 km).

Visto que a área de estudo não compreende toda a região tropical, foi preciso fazer um recorte do mesmo por meio da ferramenta *extract by mask*. Posteriormente, aplicou-se a conversão das unidades disponibilizadas pelo TRMM que estão em milímetros por hora ( $\text{mm h}^{-1}$ ) para ( $\text{mm mês}^{-1}$ ), ao utilizar o *Raster calculator*, esses valores foram obtidos ao multiplicar o total de horas mensais pelo valor de cada *pixel*, ao considerar os anos bissextos.

Além disso, os *pixels* do TRMM passaram por um tratamento de conversão ao usar a ferramenta *Environment Settings* em *Raster Analysis*, e em *Cell Size* foi especificado *As Specified Below* com valor de 0,00225, para assim serem obtidos *pixels* com a mesma resolução aos obtidos pelo sensor MODIS-MOD13Q1 com 250 metros de resolução espacial, todo procedimento realizado no *software* ArcGIS 10.3.1.

Todas as conversões tiveram como objetivo, a padronização do banco de dados, pois todos foram enviados para o *software* TerrSet, e processados no módulo *Earth Trend Modeler*. Esse módulo trabalha com a geração de informações temporais, que para obtenção do processamento é necessário a padronização dos dados.

### 3.4 ANÁLISE TEMPORAL DA ÁREA DE QUEIMA – MCD45A1/MODIS

Essas imagens são denominadas *ready-to-use*, pois são disponibilizadas, georreferenciadas e com correção atmosférica pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* – LPDAAC (2014) e correspondem ao *tile* H12V10. A resolução temporal de 30 dias do MCD45A1 gerando apenas uma imagem mensal de área de queima, totalizando um montante de 120 imagens para o produto.

Para análise do padrão de distribuição espacial de recorrências de áreas queimadas dentro dos limites do Cerrado matogrossense foi utilizado como referência o produto MODIS MCD45A1, cujas áreas selecionadas foram as de máxima confiabilidade (valor 1) (BOSCHETTI et al., 2015). O recorte temporal da análise compreendeu o período entre 2007 a 2016, para a análise da recorrência ou frequência do fogo.

O produto MOD45A1 possui um conjunto de dados após sua conversão do formato HDF para GEOTIFF, distribuídas em camadas, definidas para cada *pixel* de 500 m, contendo informações de qualidade e queima por *pixel*. Além disso, o processamento detecta mudanças espectrais, temporais e estruturais em áreas queimadas, especialmente das características de depósitos de carvão, cinzas e vegetação alterada (BOSCHETTI et al., 2015).

O MCD45A1 oferece oito imagens, porém, foi utilizada apenas o *ba\_qa* [índice de confiança da detecção que varia de 1 (mais confiante) a 4 (menos confiante)] e *burndate* que define a área de queima. Posteriormente, os dados foram filtrados para se obter a seleção de *pixels* rotulados como área de queima por meio do *burndate* (valores anuais de 1 a 365 dias). Com isso, foi obtida a seleção de *pixels* com alto índice de confiabilidade (valor 1) (BOSCHETTI et al., 2015).

Foi analisado o comportamento do vigor da vegetação nas terras indígenas, de modo a identificar possíveis impactos causados pelo fogo, por meio da análise de ocorrências de anomalias (diminuição anormal de biomassa) ao longo dos perfis espectrais do índice de vegetação, que se apresentar mais adequado para estudo de séries temporais na região (definido a partir da relação com as variáveis meteorológicas).

## 3.5 PROCESSAMENTO TERRSET

### 3.5.1 Análises de tendências, correlações e defasagens

O estudo sobre as diferentes variáveis contidas nesse trabalho foi processado por meio do *software* TerrSet, que contém ferramentas criadas principalmente para executar análise de tendências e estudo de diversos ecossistemas, assim, esse módulo *Earth Trends Modeler* (ETM), consegue estabelecer composições de séries temporais de diferentes variáveis que se deseja, podendo utilizar diferentes metodologias de observações de imagens satélites.

Dentro do módulo ETM consta a ferramenta *linear Modeling*, que utiliza da correlação de Pearson para gerar os coeficientes da série temporal e verifica o grau de associação entre as imagens utilizadas. Essa correlação utiliza valores entre -1 e 1, considerando que quanto mais próximo de 1, maior o grau de associação, ou seja, caso uma variável aumente ou diminua, conseqüentemente a outra variável irá se desenvolver no mesmo sentido reduzindo ou aumentando. Porém, quanto mais próximo de -1, os valores indicam associação contrária, ou seja, se uma variável aumenta conseqüentemente a outra diminui ou vice-versa e por fim, se os valores estiverem próximos de 0, indica ausência de correlação, ou seja, as variáveis não se associam não surtem efeito uma sobre a outra.

Sendo assim, as relações contidas entre as imagens utilizadas no estudo foram analisadas por meio do cálculo dos valores de correlação pela regressão. Para a obtenção desses dados, também utilizou o programa *TerrSet* e sua ferramenta *Linear Modeling*, também presente no módulo ETM. Nessa etapa, levaram em consideração as relações entre as séries temporais, comparando o índice de vegetação (dependente) com a precipitação (independente), área de queima (dependente) e precipitação (independente) e por fim, área de queima (dependente) e índice de vegetação (independente). Com intuito de verificar a relação e o grau de associação dessas variáveis e suas influencias na dinâmica temporal da área de estudo.

Sendo assim, foram consideradas na análise diferentes defasagens, consideradas pelo programa como *Lag*. Como exemplo quando considerado *lag* 0, quer dizer que as séries temporais estão sendo comparadas em intervalos de tempo correspondente; um atraso negativo *lag* -1 desloca a variável independente para um mês anterior, ou seja, o mês de outubro de precipitação irá obter correlação como o mês de novembro do índice de vegetação. Assim, com esse procedimento obteve as correlações entre as variáveis analisadas.

### 3.5.2 Tendência Monotônica de Mann-Kendall

A sessão temporal de 10 anos de imagens forma um conjunto de dados que foram examinados *pixel a pixel*, fazendo uso do método que indica se a tendência é não linear e se está em acréscimo ou decréscimo. Os valores gerados por essa equação limitam-se entre -1 e 1; esses valores quando negativo denotam uma tendência decrescente no caso do índice de vegetação com perda de vigor vegetativo e de biomassa e quando positivo denotam uma tendência crescente que no caso seria aumento do vigor vegetativo e ganho de biomassa.

Com essa técnica proposta por (MANN,1945; KENDALL, 1975), foram estimados os coeficientes de Mann-Kendall, descritos na equação 2 e 3.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (2)$$

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & \text{se}(x_i - x_j) < 0 \\ 0, & \text{se}(x_i - x_j) = 0 \\ -1, & \text{se}(x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Em que,

S= é o coeficiente de correlação de Mann-Kendall;  $x_i$  e  $x_j$  são os dados estimados da sequência de valores; n é o numero de elementos da série temporal.

Tabém foi utilizado a equação 4

$$\tau = 2s / [n(n - 1)] \quad (4)$$

Em que,

$\tau$  = tau de Mann-Kendall;

s= sinal;

n= número de elementos da série temporal

A tendência Monotônica de Mann-Kendall consiste em um teste não-paramétrico que compara as medidas de um determinado ano e medidas de anos anteriores, assim, obtém a soma dos valores positivos e negativos. Valores esses, que quando somados denotam a intensidade e a direção da tendência (BEURS et al., 2009).

### 3.5.3 Sazonalidade da vegetação

Mediante as informações coletadas de NDVI para as terras indígenas do estado de Mato Grosso, com a intenção de entender o ciclo anual de entrada de fenômenos ambientais e exibir ciclos sazonais, incluindo a precipitação e índice de vegetação do Bioma Cerrado. Aproveitando também, a alta resolução temporal das imagens de MOD13Q1, possibilitando o acompanhamento do ciclo sazonal da vegetação.

Para isso, foi utilizado o módulo *Seasonal Trend Analysys* (STA) presente no software *Terrset*. Essa ferramenta faz uso da regressão Harmônica, na sua primeira etapa, aplica-se essa equação em cada *pixel* da sessão temporal e em cada ano da série, extraíndo assim, as médias anuais (amplitude 0), ciclo anual (amplitude 1 e fase 1) e o ciclo semi-anual (amplitude 2 e fase 2), assim, produzindo cinco parâmetros que descrevem o ciclo sazonal (amplitudes 0, 1 e 2) e (fases 1 e 2), conforme a Equação 3.

$$y = \alpha_0 + \sum_{n=1}^{n=2} \alpha_n \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + \varphi_n \quad 3$$

em que:  $y$  = é a variável resultante da soma dos harmônicos;  $\alpha_0$  = é o termo constante de amplitude;  $\alpha_n$  = são amplitudes;  $\varphi_n$  = são ângulos de fase variando de

0 a 359°;  $n$  = é um harmônico (um multiplicador inteiro);  $t$  = é o tempo; e  $T$  = é o comprimento temporal das séries.

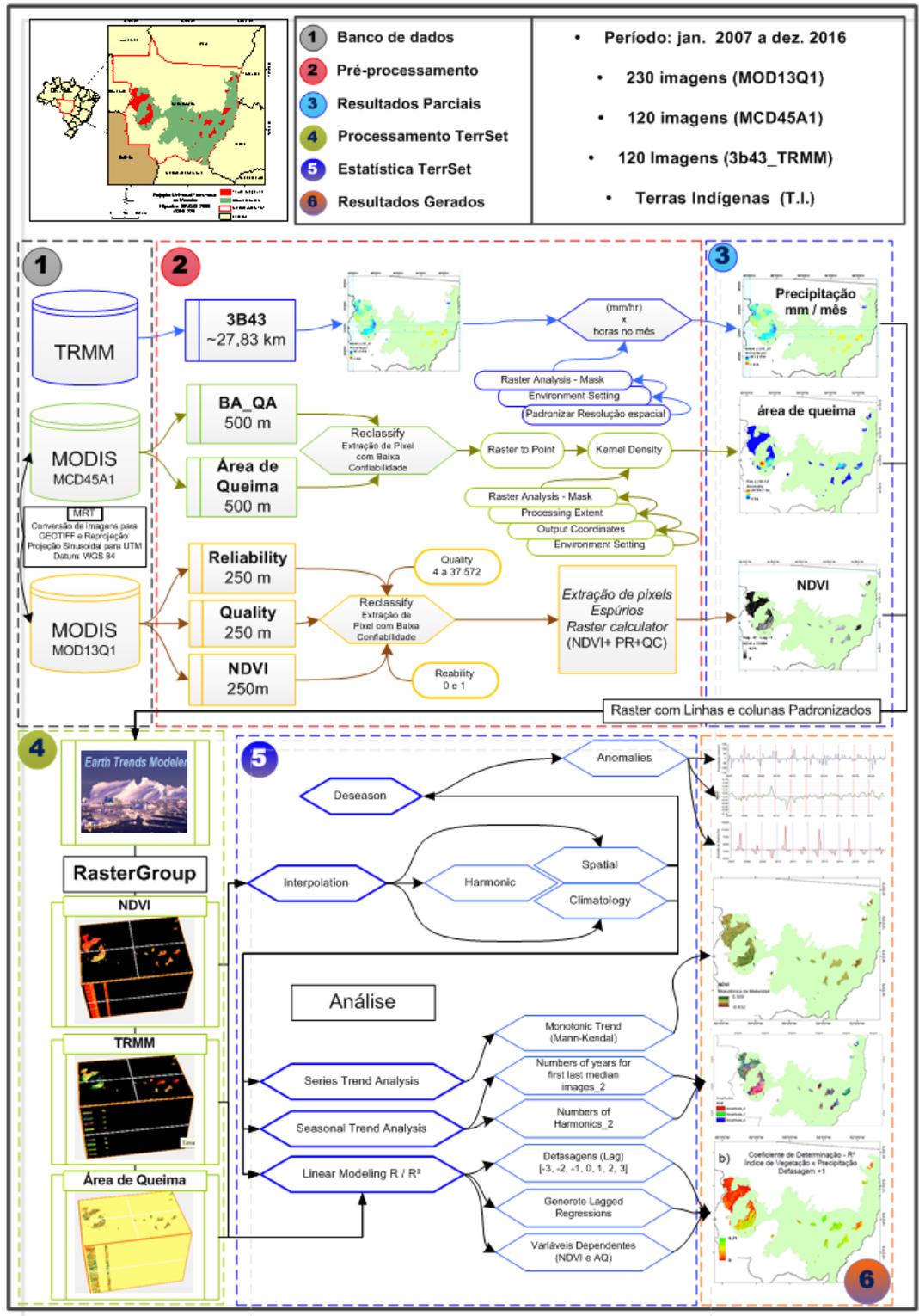
Seguindo os procedimentos utilizados por essa ferramenta, atingiu-se à segunda etapa, do qual foram realizados para cada *pixel* análises não-paramétricas, com o uso da opção de operador de declividade da mediana de Theil-Sen para avaliar séries curtas ou ruidosas. O cálculo utilizado por essa ferramenta STA determina a inclinação entre cada *pixel* e os combina para obter o valor mediano. Para elaborar essa tendência mediana, essa ferramenta rejeita a degradação acima de 29% da série temporal, resultando em cinco mapas; três de amplitude e dois de fase (A0, A1, A2, F1 e F2) formando uma composição Green/Red/Blue – RGB.

#### **3.5.4 Anomalias NDVI, precipitação e área de queima**

Para realizar o perfil temporal de anomalias do índice de vegetação (MOD13Q1), precipitação (TRMM3B43) e área de queima (MCD45A1), foram calculados os desvios em relação às médias. As anomalias padronizadas incluem a divisão pelo desvio padrão. Com esses dados médios foram elaborados gráficos de anomalias, que é a diferença da média mensal do índice de todo o período avaliado e suas médias referentes a cada mês nos 10 anos avaliados.

Assim, comparando os dados mensais referentes a cada mês, com a média mensal da sessão temporal dos 10 anos, possibilitou a inferência de períodos atípicos, ou seja, anômalos nas variáveis analisadas. A elaboração do perfil temporal de anomalias, foi possível por meio do programa TerrSet e sua ferramenta presente no módulo *Earth Trends Modeler – Deseason*. Toda a metodologia empregada consta de forma resumida na Figura 3.

Figura 2 – Fluxograma metodológico.



Fonte: o autor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 MODELAGEM LINEAR DO NDVI X TRMM

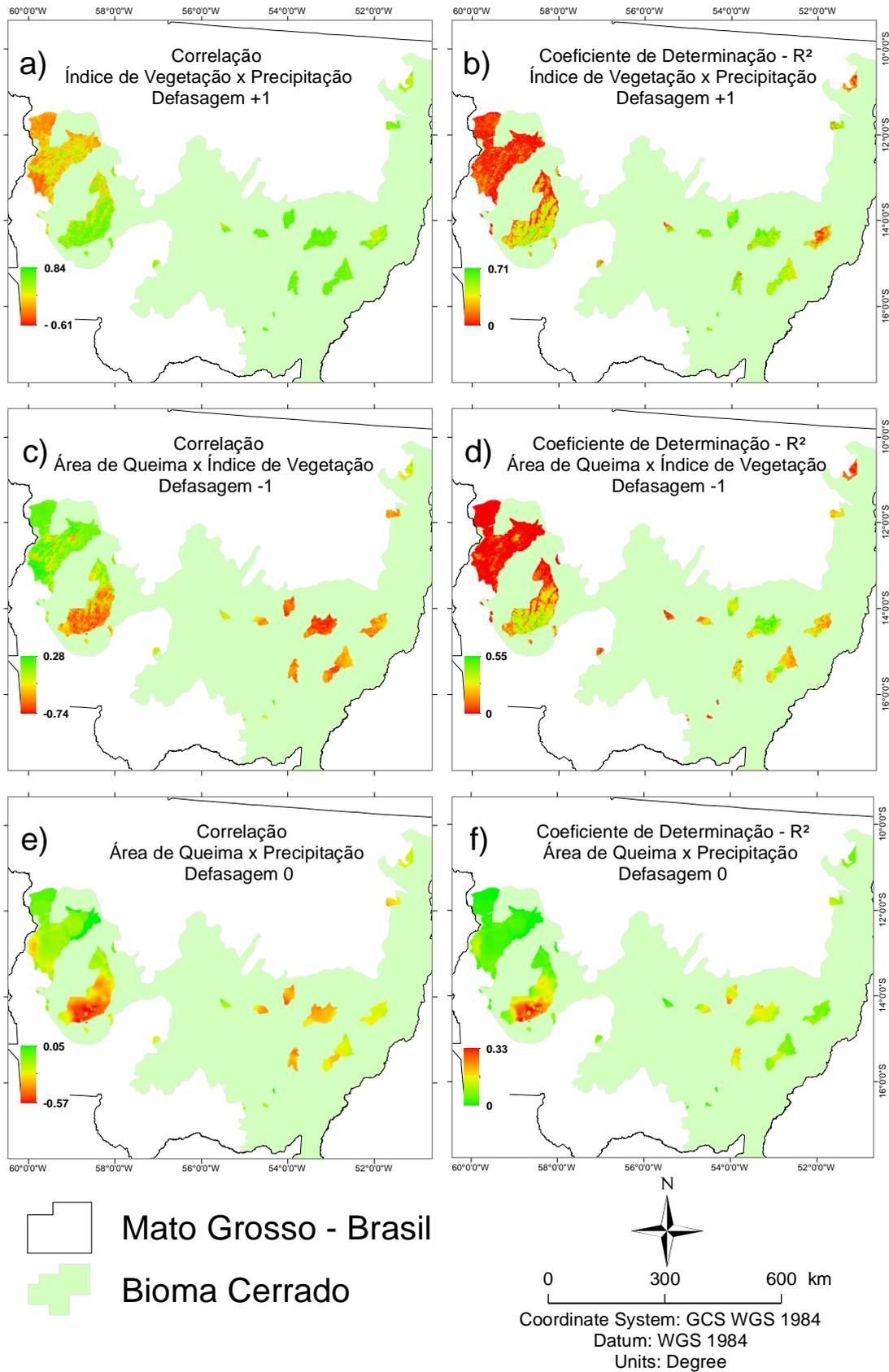
Para uma compreensão mais nítida das relações existentes entre as variáveis analisadas, são apresentadas na Figura 4 as imagens das relações obtidas entre NDVI e TRMM (a / b), Área de queima e Índice de vegetação (c / d) e Área de queima e Precipitação (e / f), com isso, obtiveram-se as correlações entre as variáveis.

Dessa forma, a Figura 4 apresenta as seguintes informações: a) Valor de R do Índice de Vegetação (dependente) e Precipitação (independente), para a defasagem +1; b) Valor de  $R^2$  do Índice de Vegetação (dependente) e Precipitação (independente), para a defasagem +1; c) Valor de R do Área de Queima (dependente) e Índice de Vegetação (independente), para a defasagem -1; d) Valor de  $R^2$  do Área de Queima (dependente) e Índice de Vegetação (independente), para a defasagem -1; e) Valor de R do Área de Queima (dependente) e Precipitação (independente), para a defasagem 0; f) Valor de R do Área de Queima (dependente) e Precipitação (independente), para a defasagem 0.

Conforme dados levantados do NDVI em todas as reservas indígenas do Bioma Cerrado Mato-grossense, com a relação entre o NDVI e a precipitação, por meio da modelagem linear, foi possível obter os valores de R e  $R^2$  (Figura 4a e b), considerando o melhor resultado de defasagem *lag* 1, que desloca a variável independente para um mês posterior. Com isso, foi possível verificar o quanto da variável independente (precipitação) explica as variações da dependente (NDVI).

Dentre as terras indígenas exceto para uma, localizada no extremo oeste do estado (aldeias Aripuanã, Enawenê – Nawe Mendkeü, Perineus de Souza e Nambikwara), os valores da correlação – R não seguiu o padrão das demais, sendo negativos em alguns locais. A resposta pode ser em função do NDVI às chuvas, ao considerar diferentes defasagens (*lag* -1, -2, -3, +1 e +2) e por ser situada na zona de transição entre os Biomas Cerrado e floresta Amazônica.

Figura 3 – Correlação e coeficientes de determinação das variáveis analisadas.



Fonte: o autor.

Sendo assim, a correlação obtida entre as variáveis estudadas, foram de valores relevantes, sugerindo elevado grau de associação com valores de R que variam entre 0,84 e -0,61, mostrando forte associação entre as variáveis, para a defasagem de +1. Assim, grande parte das terras indígenas obtiveram R próximo ou até mesmo no valor de 0,84, mostrando a importância da precipitação no estudo da dinâmica da vegetação, entretanto, uma das unidades avaliadas não seguiu o padrão dos valores de R, obtendo correlação negativa com valores próximos de -0,61 e em grande parte próximo de zero, principalmente em regiões de mata de galeria não demonstrando correlação com a variável independente.

Os resultados obtidos para o coeficiente de determinação –  $R^2$  foram para grande parte da área, valores baixos, principalmente naquelas com maiores densidades de vegetação e regiões de matas de galeria, a variável independente não conseguiu explicar por si só, as alterações fenológicas do NDVI. Entretanto, os maiores valores  $R^2$  foram encontrados em vegetações menos densas, em muitos locais foram consideradas campinas com a presença arbustiva, identificada por apresentar raízes superficiais e terem menor resistência a ausência de água.

Esses resultados corroboram com os encontrados por Huete et al. (2006) ao estudarem o metabolismo e fenologia da vegetação por imagens de satélites, descrevem que nas regiões de florestas ripárias houve baixa correlação, próximo de zero. Ou seja, a oferta de água constante no solo aliada ao alcance de solos mais profundos do sistema radicular do Bioma Cerrado, reflete na manutenção das atividades fotossintéticas de toda a vegetação reduzindo o grau de associação da vegetação e precipitação.

Em trabalhos relacionados à avaliação temporal da vegetação e precipitação demonstram que a vegetação é sensível a precipitação acumulada, contudo, essa resposta não é encontrada de maneira imediata, devendo considerar uma defasagem entre as variáveis (WANG; RICH; PRICE, 2003; HERRMANN; ANYAMBA; TUCKER, 2005).

Em contrapartida, Hulme (2001), ao avaliar a paisagem desértica na região do Sahel – África, encontrou resultados que corroboram com o presente trabalho, uma vez que, o autor relata que as questões fenológicas da vegetação está intimamente relacionada à sazonalidade das chuvas, e sua maior produtividade está contida nos meses de verão úmidos mais chuvosos com forte influência na

produtividade da vegetação. Contudo, o resultado obtido por esse autor, considerou defasagem -1 e o presente trabalho considerou o valor +1.

Além disso, Bucci et al. (2008) relatam que o Bioma Cerrado possui a característica climática definida pela sazonalidade, ou seja, durante cinco meses do ano com poucos eventos de precipitação e os demais muito chuvosos. Resultados também obtidos Miranda et al. (2002) ao descreverem que a precipitação se concentra quase que na sua totalidade no intervalo dos meses de outubro a abril e os demais meses podendo atingir zero e umidade relativa com valores inferiores a 20%.

Essa interação entre vegetação e clima descreve a fenologia do bioma e a vegetação atua como elemento indicador extremamente sensível as mudanças climáticas (RICHARDSON et al., 2010). Nessa vertente, as mudanças na dinâmica da vegetação podem ser em resposta às climáticas, tanto local como global (GALLINAT; PRIMACK; WAGNER, 2015).

Em contrapartida, Huete et al. (2006) relatam que grande parte do Bioma Cerrado não é influenciada diretamente pela precipitação. O autor explica que em regiões de mata de galeria ou próximas aos rios e mediante a adaptação do próprio bioma em relação à sazonalidade da precipitação, leva esse tipo de vegetação a ter maior estabilidade fisiológica e produção de biomassa constante.

Arato et al. (2003) relatam, que em alguns tipos de vegetação pode-se considerar uma defasagem de até dois meses para se obter respostas da vegetação em relação a precipitação.

Em estudos realizados por Kuntschik (2004) sobre a estimativa de biomassa no Cerrado, explica que esse Bioma tem vários tipos de resposta à disponibilidade hídrica, pela sua grande variedade de fitofisionomias. As florestas constituídas de cerradão e zona de ecótono tem menor resposta temporal às variações hídricas nos períodos secos e úmidos. Fatores esses que explicam o baixo grau de associação entre a região do extremo oeste (aldeias Aripuanã, Enawenê – Nawe Mendkeü, Perineus de Souza e Nambikwara) com a precipitação.

Diante do exposto, Derner et al. (2008) constataram que, há poucos estudos relacionados com os efeitos ocasionados pela precipitação na dinâmica da vegetação. Além disso, os autores complementam que a precipitação em diferentes localidades varia completamente quando se depara com topografia elevadas ou

extremamente inclinadas, refletindo diretamente na disponibilidade de água durante as principais fases de crescimento da vegetação.

Com isso, pode-se inferir que existe a necessidade de mais estudos relacionados a esse tipo de vegetação e a inserção de mais variáveis explicativas, para assim, descrever de fato a dinâmica da vegetação. Com a evidência de que o vigor vegetativo delineou satisfatoriamente em relação à precipitação. O incremento do NDVI ocorreu com o aumento da precipitação, considerando a defasagem +1, refletindo no ganho de biomassa e aumento da atividade fotossintética. Descrevendo a forte interação do Bioma Cerrado com a precipitação, porém, o coeficiente de determinação infere, que não só a precipitação explica o aumento ou redução do NDVI.

## 4.2 ÁREA DE QUEIMA X VEGETAÇÃO

Os valores de Área de Queima – AQ e NDVI foram trabalhados utilizando a modelagem linear, considerando *Lag* -1 (defasagem, por exemplo, alterações nos meses de maio do índice de vegetação afetarão nos resultados da área de queima dos meses de junho), ou seja, considerou-se um atraso negativo que desloca a variável independente (NDVI) para o mês anterior. Assim, obtiveram-se resultados da correlação – R que variaram de 0,28 a -0,74 e grande parte da área estudada possui valores negativos, exibindo a associação negativa existente entre o NDVI e AQ, mostrando que caso haja redução NDVI, conseqüentemente maior será a AQ, e quando o NDVI aumentar, menor será a AQ.

Assim, da mesma forma como ocorreu nos valores obtidos entre NDVI e Precipitação, a correlação manteve-se constante em toda área de estudo, porém em uma determinada terra indígena – T.I, já descrito anteriormente, não obteve os mesmos padrões das demais T.Is, possivelmente por causa da localização próxima ou por estar inserida na região de ecótono entre os Biomas citados.

Para o coeficiente de determinação  $R^2$ , esse valor permitiu verificar a qualidade do ajuste obtido e a equidade da resposta, quanto a variável

independente explica a dependente, logo, o valor máximo encontrado foi  $R^2 = 0,55$ , valor esse que descreve a necessidade de inserção de mais variáveis para explicar o fenômeno. Entretanto, o coeficiente de determinação  $R^2$  não obteve caráter explicativo novamente na T.i. localizada na região oeste (aldeias Aripuanã, Enawenê – Nawe Mendkeü, Perineus de Souza, Tiracatinga e Nambikwara) e outra na região nordeste do estado (Aldeia Urubu branco), onde ambas estão em região de ecótono, obtendo valores de  $R^2$  próximos de zero.

Herrera (2016), para a floresta Temperada Tropical do México, descreve que os incêndios tem grande ocorrência como incêndio de superfície, que tem como principal fonte de combustível a matéria orgânica (folhas mortas, galhos e cascas) do solo e vegetação rasteira como o capim em sanescência. Materiais esses abundantes no Bioma Cerrado, onde a grande presença das gramíneas e vegetação arbustiva contribuem para o início e propagação dos incêndios florestais.

Questões essas que são compartilhadas por Klink; Solbrig (1996) ao relatarem que o Bioma Cerrado possui grande produção de biomassa, principalmente na estação chuvosa e durante a seca, as gramíneas, em especial, entram em estado de dormência ou redução da atividade fotossintética levando a parte aérea a senescência. Assim, os incêndios florestais nessa vegetação consomem principalmente essa vegetação mais fina, gerando incêndios de superfície (MIRANDA et al., 2002).

Ainda Schmidt et al. (2011) confirmam a presença de maneira global de matéria orgânica no solo e quantidade de carbono que supera em três vezes ao encontrado na atmosfera e vegetação terrestre. Fatores esses que definem a relação entre os incêndios florestais e a vegetação como elemento crucial no entendimento dos incêndios.

Além disso, em estudos realizados por Mayaux et al. (2005), relatam que a existem outras razões subjacente é a relação entre a ocorrência de incêndios e o desmatamento, que possuem correlação positiva entre a ocorrência de incêndios e a mudanças do uso e ocupação do solo dentro de um dado bioma.

### 4.3 ÁREA DE QUEIMA X PRECIPITAÇÃO

Resultados encontrados também, na análise de regressão entre as variáveis Área de Queima e Precipitação, que foram trabalhadas na ferramenta modelagem linear, considerando Lag 0, considerando que as variáveis foram analisadas lado a lado. Os resultados obtidos de R variam entre 0,28 a -0,74, visto que, grande parte da área de estudo teve correlação negativa entre as variáveis analisadas e novamente as duas T.Is localizadas nos extremos oeste (aldeias Aripuanã, Enawenê – Nawe Mendkeü, Perineus de Souza, Nambikwara, Utiariti, Paresi, Tiracatinga e Vale do Guaporé) e nordeste (aldeia Urubú Branco), apresentaram correlações positivas, porém, próximos de zero, chegando a 0,28.

Becerra; Poveda (2006) relatam que a dinâmica temporal dos incêndios florestais possui relação direta com as condições climáticas. Além disso, o efeito sinérgico entre uma paisagem de aumento da inflamabilidade e fatores climáticos determinados por fenômenos atmosféricos em grande escala (ENOS), poderia ser amplificar a ocorrência de grandes incêndios florestais, tal como descrito em outros países como França e Grécia (GANTEAUME; JAPPIOT, 2013). Além disso, a supressão do fogo também promove a acumulação de combustível, fazendo com que a ocorrência do mesmo possa atingir uma intensidade mais elevada e uma menor probabilidade de controle do incêndio, com consequências catastróficas (LLORET, 2004).

Segundo Castro; Moreira; Assad (1994), o período chuvoso na região do cerrado, concentra-se quase que na sua totalidade no intervalo dos meses de outubro a abril e os demais meses podendo atingir zero de precipitação e umidade relativa com valores inferiores a 20%. Fatores também encontrados por Ratter; Bridgewater; Ribeiro (1996) e Ratter; Ribeiro (1997) que descrevem a forte sazonalidade no clima que reflete diretamente nos regimes de incêndios.

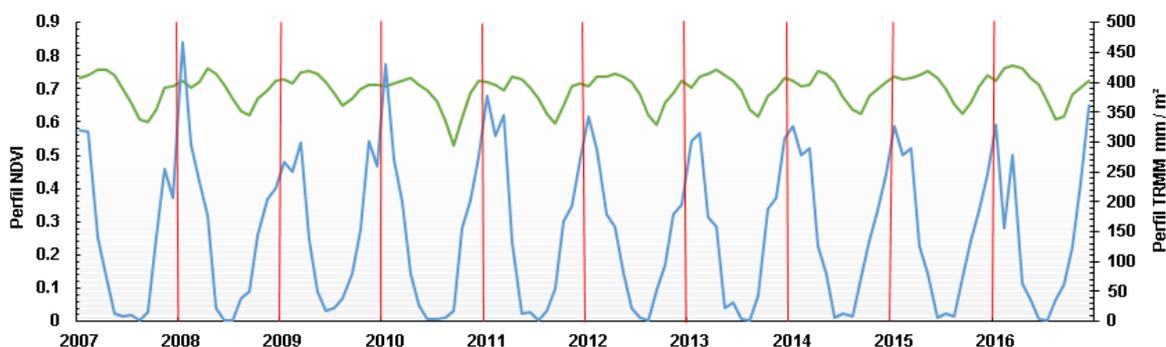
Diante do exposto, é importante frisar que as variáveis dependentes foram postas às várias defasagens com o intuito de verificar qual o tempo de resposta das variáveis dependentes em relação às variáveis independentes. Com isso, obteve-se o tempo de resposta do índice de vegetação e da área de queima em relação à variável independente, possibilitando inferir em qual estágio do vigor vegetativo e

de precipitação ocorrem mais incêndios florestais em diferentes regiões do Cerrado Mato-grossense.

#### 4.4 RESULTADOS PERFIL TEMPORAL

Segundo informações da Figura 5, que descrevem o perfil temporal do NDVI e precipitação ao longo dos dez anos avaliados (2007 – 2016), nota-se que a distribuição das chuvas segue uma sazonalidade, refletindo diretamente na resposta da dinâmica do NDVI.

Figura 4 – Perfil temporal do NDVI (verde) com a precipitação (azul) no Bioma Cerrado, representando o período em estudo (2007 a 2016).



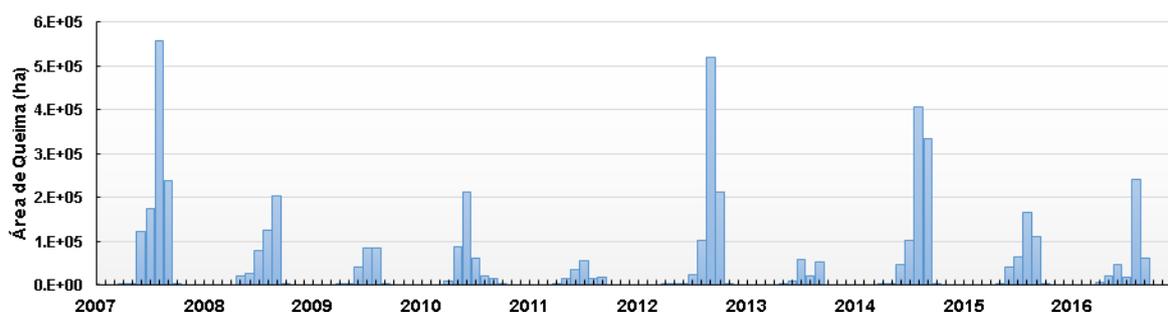
Fonte: o autor.

A distribuição das chuvas (Figura 5) tem períodos bem definidos, geralmente os meses de maio as mesmas começam a cessar por um período de seis meses em todos os anos avaliados, em algumas situações a precipitação fica próximo de zero, e assim permanece até o mês de outubro com baixa ou nenhuma precipitação. Com isso, pode-se verificar a resposta do NDVI à variação da pluviosidade, observa-se que a vegetação do Bioma Cerrado leva algum tempo para reduzir o seu NDVI diante do estresse hídrico, visto que, essa resposta não ocorre de forma momentânea e sim após um período de tempo, conhecido como

defasagem, logo existe alguma associação entre as variáveis, considerando o período mensal necessário para essa resposta.

Pode-se inferir que o NDVI tem elevada relação com a precipitação, pois, seu crescimento coincide com o início das chuvas, mostrando a forte sazonalidade da precipitação no Bioma Cerrado e seu reflexo no vigor vegetativo. Além disso, fica evidente que nos meses menos chuvosos, há ocorrência de incêndios florestais, mostrando a forte relação entre essas variáveis, provocando uma reação em cadeia das variáveis. Visto que, a precipitação afeta diretamente o vigor vegetativo e conseqüentemente reflete, nos incêndios florestais (área de queima), Figura 6.

Figura 5 – Perfil temporal da Área de Queima no Bioma Cerrado, representado pela quantidade de área queimada de todo o período em estudo (2007 a 2016).



Fonte: o autor.

Sendo assim, o perfil temporal nas áreas mostram a sua variação durante os 10 anos avaliados e sua forte sazonalidade interanual, resultados que levam a inferir que há forte influência da precipitação na fenologia da vegetação, duração do período com picos de vigor vegetativo no período chuvoso, e forte queda do mesmo no período mais seco, induzindo à senescência e fortes mudanças fisiológicas também são descritos por Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich (2012).

Assim, a sazonalidade da precipitação na área de estudo, com estações chuvosas e secas bem definidas, levam a acreditar que a precipitação é um dos elementos que mais contribuem na fenologia do ambiente, bem como na ocorrência de incêndios, ficando evidente a contribuição dessa variável nas demais. Essa sazonalidade encontrada na precipitação foi descrita por Becerra; Shimabukuro;

Alvalá (2009) que encontraram a mesma sazonalidade da precipitação, ou seja, a mesma distribuição ao longo do tempo.

Visto que, os incêndios florestais (área de queima) coincidem, com a escassez de precipitação e redução do NDVI, fatores que explicam também a grande quantidade de incêndios. Em razão disso, todos os anos houve incêndios, considerando que as áreas indígenas no estado de Mato Grosso somam 4,5 milhões de ha e alguns anos chegam a ter uma área de queima de aproximadamente 1,2 milhões de ha, conforme descrito no perfil temporal do ano de 2007 e 2012 (Figura 6).

Também, pode ser observado que os principais incêndios ocorreram quase que em sua totalidade nos períodos entre maio e outubro, coincidindo com o menor NDVI e quase que ausência de precipitações, assim, com a redução desses elementos, influência no fenômeno Incêndio florestal.

## 4.5 RESULTADOS ANOMALIAS

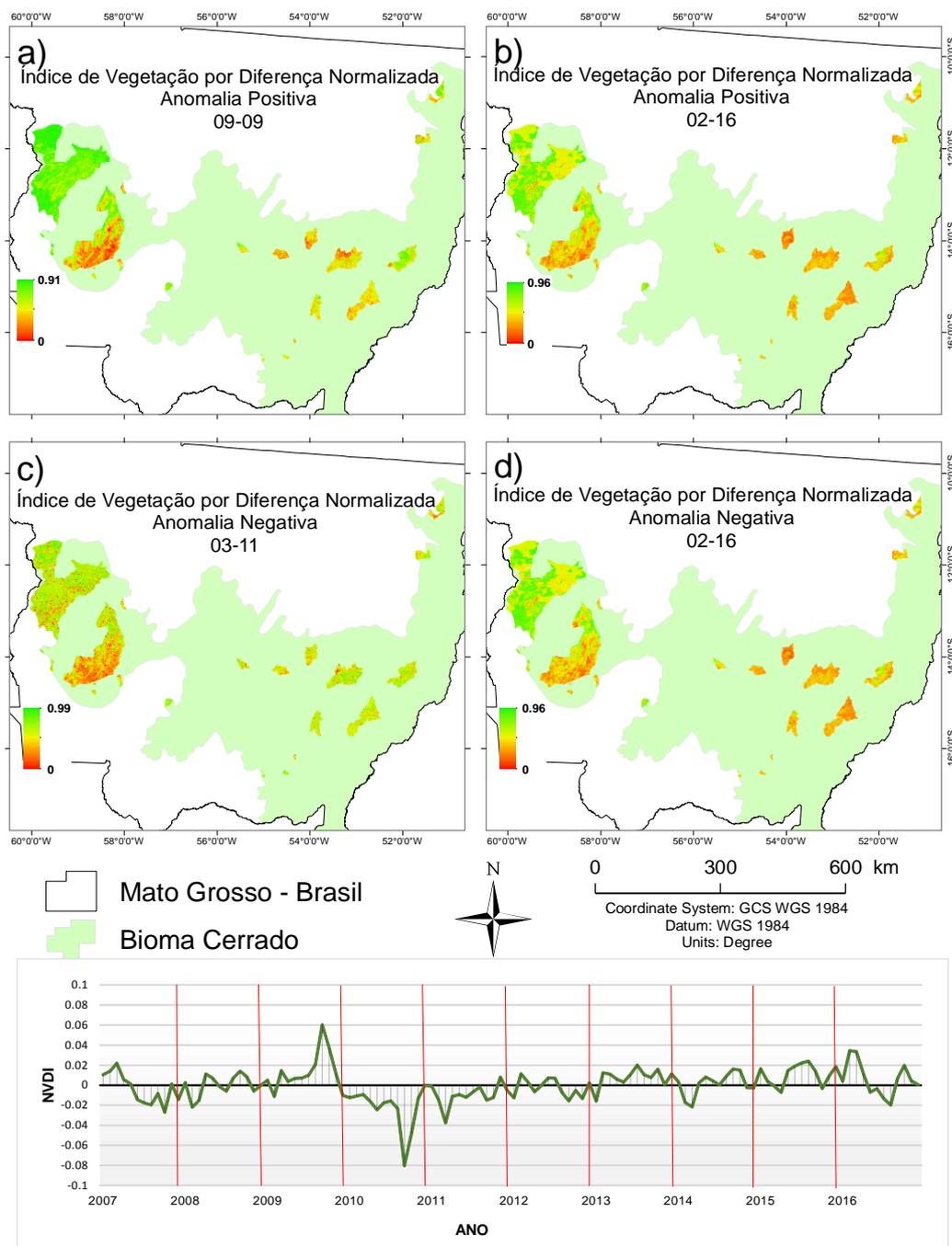
### 4.5.1 Anomalias NDVI

Com base no perfil temporal anômalo do NDVI (Figura 7), é possível perceber que não houve muita variação ao longo do perfil temporal analisado, exceto em algumas datas referentes a 09/09 (a) e 02/16 (b) com valores positivos próximos 0,06 e 0,04 respectivamente, e referente as datas de 08/11 e 02/16 com valores negativos próximos de 0,08 e 0,04 respectivamente, valores esses encontrados na variação do índice de vegetação.

Destaca-se também, que a dinâmica da vegetação seguiu um padrão linear, não apresentando alterações que denotam uma anomalia, visto que, essa possui uma série de mecanismos obtidos por meio da evolução, que podem explicar a variação do NDVI em relação à precipitação. Conforme explica Schulze (1986), um

dos fatores que determina a distribuição da vegetação em diferentes escalas é a presença ou disponibilidade de água.

Figura 6 – Perfil de anomalias positivas (a e b) e negativas (c e d) do Índice de Vegetação no Bioma Cerrado para o período de estudo (2007 a 2016).



Fonte: o autor.

Essa pequena variação no índice, pode ser causado pela capacidade dessa vegetação de conduzir o estresse hídrico por meio de evoluções fisiológicas. Conforme Tardieu; Simonneau (1998), esse bioma possui vários mecanismos para sobreviver ao estresse hídrico, como as plantas isoídricas, que em resposta a escassez de água, reduz automaticamente a condutância estomática foliar (redução da transpiração) preservando a água no seu interior por mais tempo. Em contrapartida, outro tipo de mecanismo além de reduzir a transpiração, também reduz o potencial hídrico foliar a valores que reduzem a atividade fotossintética.

Em adição, a grande capacidade do Cerrado em resistir à escassez de água, é decorrência de seu sistema radicular, que em grande parte das espécies alcançam camadas mais profundas do solo (BUCCI et al., 2004, 2008; BUCCI et al., 2008). Em estudos sobre a relação hídrica do Bioma Cerrado, Scholz et al. (2008) descrevem que grande parte das energias dessa vegetação, são para custear e manter as raízes longas e mais profundas, uma vez que, essas são responsáveis por buscar e abastecer a planta com fontes estáveis disponíveis em maiores profundidades. Dados esses confirmados também por De Castro; Kauffman (1998), que relatam a presença de 50% de biomassa, presentes no sistema radicular do Cerrado.

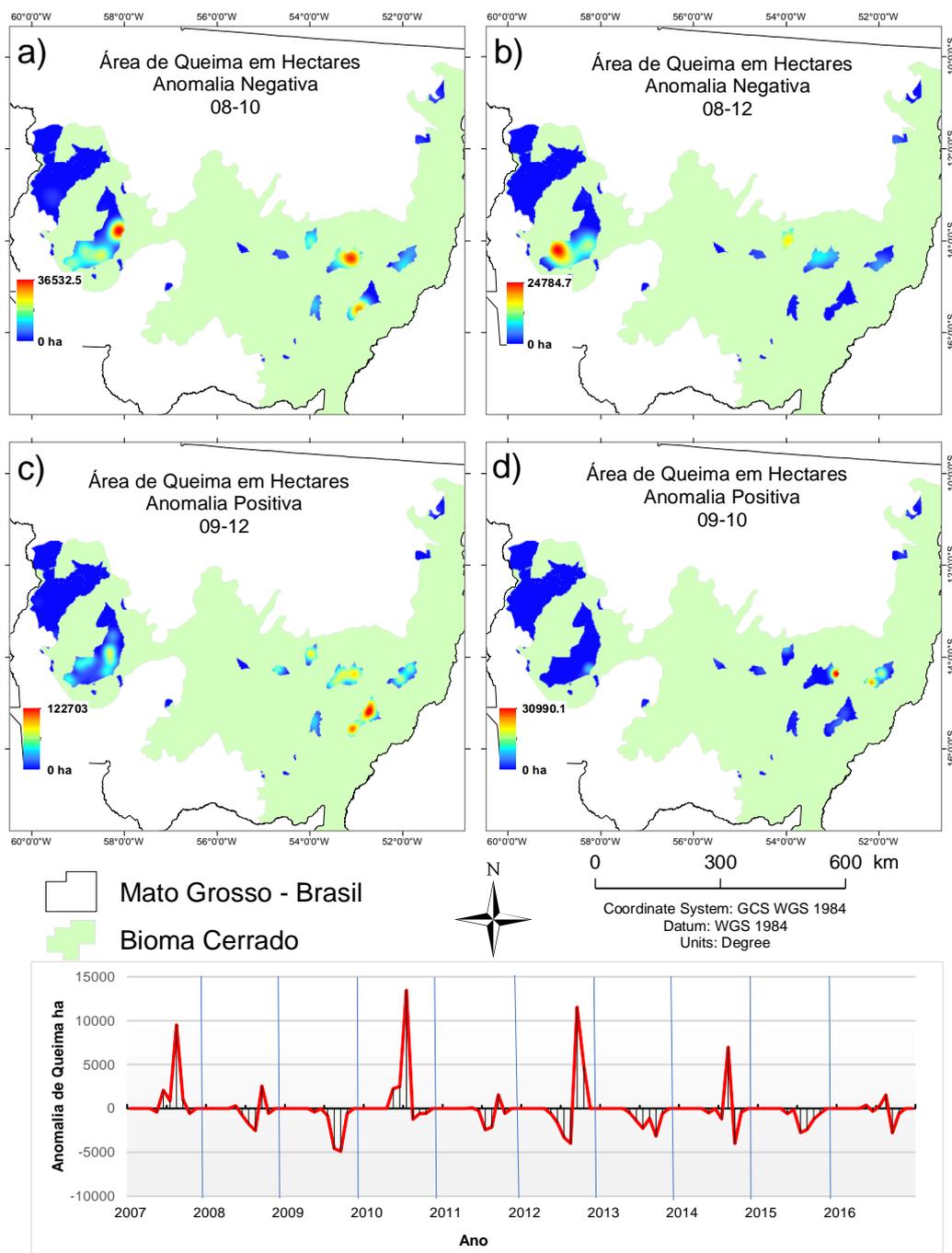
Contudo, muitos biomas possuem a capacidade de conduzir de forma rápida várias brotações. Veraverbeke et al. (2012) citam que a capacidade de resiliência que há em vários ecossistemas como estratégias adaptativas em relação aos incêndios florestais. Fatores que corroboram ao descrito por Coutinho (2002), que relata a tendência e elevada capacidade das espécies do Cerrado de emitir novos brotos após um incêndio.

#### **4.5.2. Anomalia de Área de Queima**

A análise de incêndios florestais descreve uma forte ocorrência de incêndios no Bioma Cerrado, por exemplo, em agosto de 2010 e 2012 (Figura 8a e b) foram encontradas anomalia positiva (valores acima da média), com aproximadamente

15.000,00 ha e 11.000,00 (respectivamente) de Área de queima em relação à média de todos os meses de agosto da sessão temporal (2007 – 2016).

Figura 7 – Perfil de anomalias negativas (a e b) e positivas (c e d) de Área de Queima no Bioma Cerrado para o período de estudo (2007 a 2016).



Fonte: o autor.

Contudo, nas anomalias negativas, os valores mantiveram uma constante de área de queima, variando entre 1.000,00 ha e 5.000,00 ha, visto que, em todos

os anos foram detectados incêndios florestais. Entretanto, não houve uma relação direta das anomalias de precipitação com as áreas de queima, pois os períodos menos chuvosos não coincidiram. Contudo, deve-se considerar uma defasagem, e a ocorrência desse incêndio pode ter sido caudado pela elevada média hídrica de tempos passados conforme relatado.

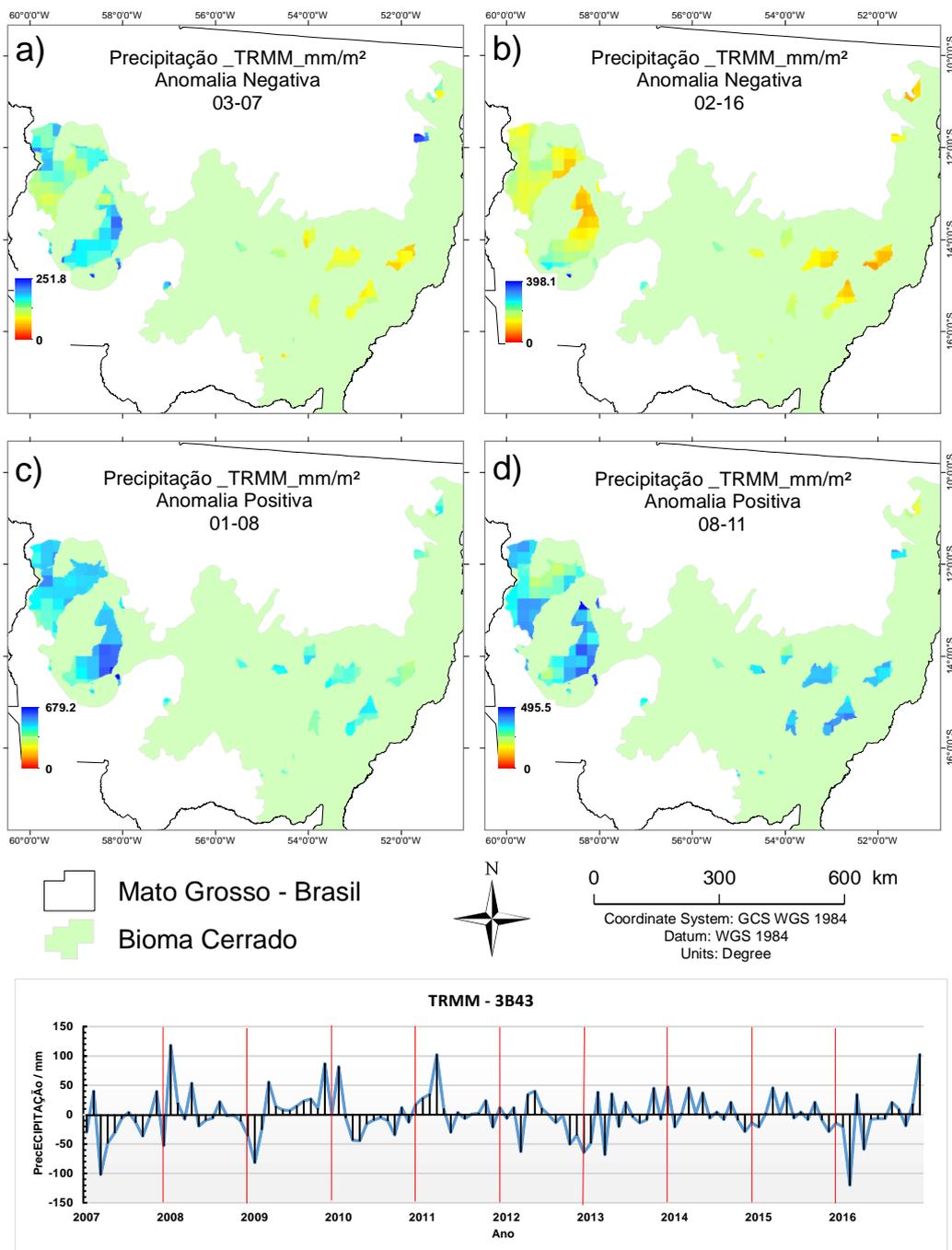
#### 4.5.3 Anomalias TRMM

Por meio da análise do gráfico do perfil de anomalia (Figura 9), pode-se observar, que a diferença da média mensal do índice de todo o período avaliado e suas médias referentes a cada mês, ao longo do período avaliado, não seguiram um padrão, e sua flutuação de acréscimo e decréscimo da precipitação, em março de 2007 (Figura 9a) e Fevereiro de 2016 (Figura 9b), ocorreram as maiores anomalias negativas na pluviosidade, de aproximadamente 100 mm. No entanto, em janeiro de 2008 (Figura 9c) e março de 2011 (Figura 9d) foram os meses com anomalias positivas, com ganhos em pluviosidade de aproximadamente 100 mm.

Contudo, pode-se inferir que a média anual encontrada foi de 1759 mm/m<sup>2</sup> na série temporal (2007 – 2016), e seus períodos anômalos tiveram variações negativas, porém, ao mesmo tempo houve anomalias positivas, indicando que não ocorre uma perda de precipitação e sim uma redistribuição das chuvas durante o ano, ou seja, se houve uma anomalia negativa no mês de janeiro, em seguida, pode ocorrer uma anomalia positiva no mês subsequente do próximo ano.

Com isso, verifica-se que as Terras Indígenas mato-grossense, por apresentarem vasta extensão territorial e com a vegetação intacta, contribuem no equilíbrio da distribuição das chuvas e no vigor vegetativo.

Figura 8 – Perfil de anomalias negativas (a e b) e positivas (c e d) de precipitação no Bioma Cerrado para o período de estudo (2007 a 2016).



Fonte: o autor.

#### 4.6 Tendência Monotônica de Mann-Kendall

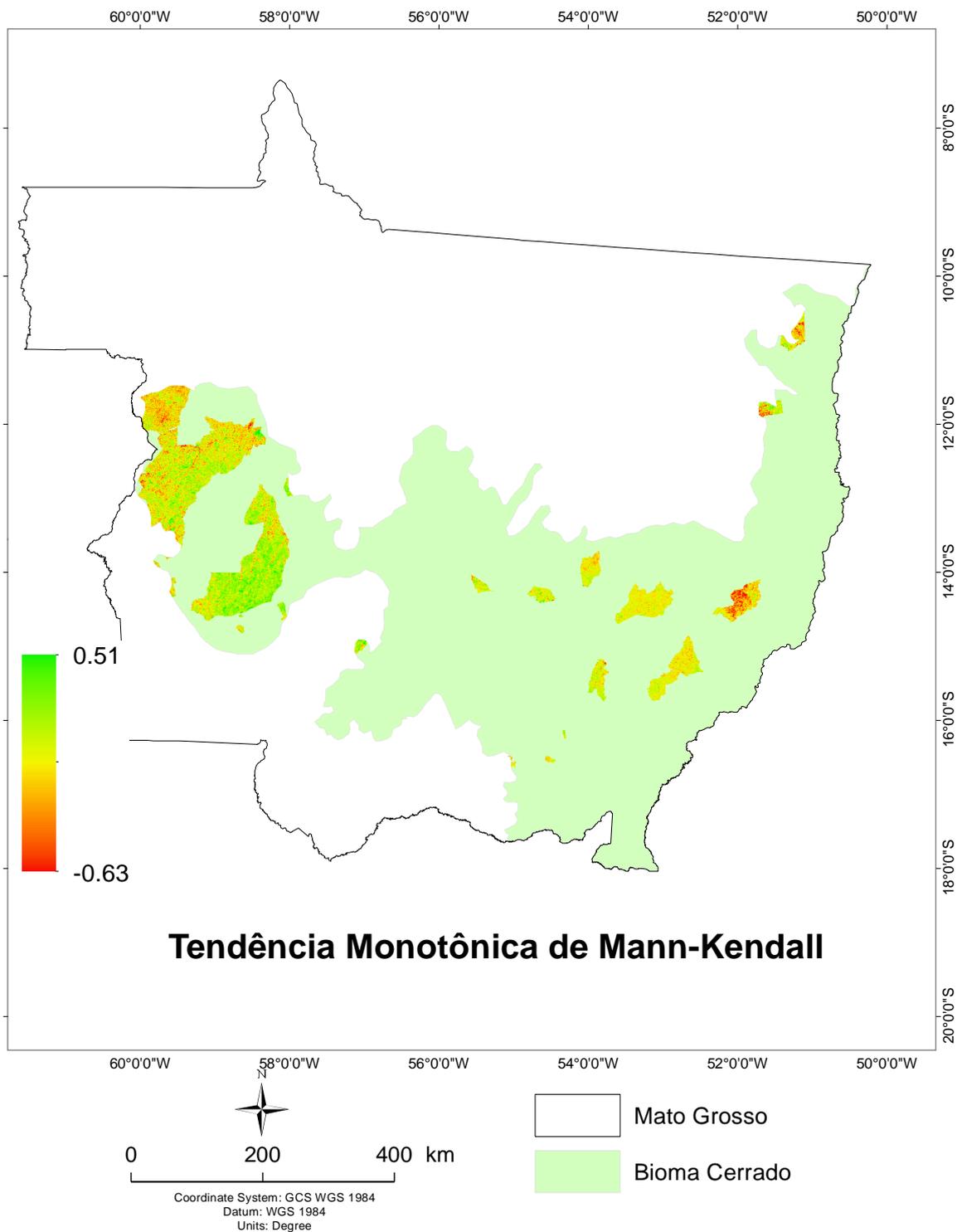
O coeficiente de Mann-Kendall trabalha *pixel a pixel* ao longo da série temporal (2007 - 2016) para o índice de vegetação, consta na Figura 10. Essa ferramenta disponibilizada pelo *software* TerrSet, utiliza o módulo *Earth Trend Modeler – Series Trend Analysis - monotonic trend (Mann-Kendall)*, que oferece informações sobre a linearidade da tendência e mede em intervalo de -1 a +1, valores mais próximos de -1 indica que a tendência é decrescente, próximos de +1 indica que a tendência é crescente e próximos de zero, tendência consolidada, ou seja, valores positivos (+) ganhos em biomassa e negativos (-) perda.

Observa-se que em muitas Terras Indígenas o valor da tendência foi próximo de zero em grande parte do território, representado pela coloração amarelada do mapa (Figura 10), porém, em algumas regiões obtiveram valores positivos, representados pela coloração verde, esses indicam um aumento do vigor vegetativo ou ganho de biomassa. Assim, os valores com a coloração marrom escura, indicam valores negativos, ou seja, perda de biomassa e redução do vigor vegetativo.

Muitos locais com ganho de biomassa são constituídos por vegetação de campos abertos, veredas ou grande quantidade de gramíneas. Assim, esse tipo de vegetação teve representatividade no ganho de biomassa, em decorrência da facilidade de ganho e perda de biomassa. Como destaca Kuntschik (2004), que em fitofisionomias mais abertas apresentam maiores variações na quantidade de biomassa.

Entretanto, Wagner et al. (2011) ao utilizarem o NDVI para avaliar a tendência temporal da vegetação na região dos Pampas brasileiro e uruguaio, por meio da tendência monotônica de Mann-Kendall, relataram que houve perda de biomassa constatada pelo índice, e destacando relação direta com os solos rasos, déficit hídrico e pastejo intensivo do gado, proporcionando alterações na dinâmica da vegetação dos Pampas e redução do vigor vegetativo.

Figura 9 – Tendência Monotônica de Mann-Kendall.



Fonte: o autor.

Resultados esses, que vão de encontro ao apresentado nesse trabalho, pois as regiões com maior ganho de biomassa foram encontradas em campos abertos.

Na região que se encontra com perda de biomassa, foi encontrado grandes áreas de queima (incêndios florestais) e esse bioma destaca-se pela grande quantidade de serapilheira na superfície, material de ótima interação com incêndios, desse modo, contribui com a intensidade do incêndio, que reflete na perda de biomassa.

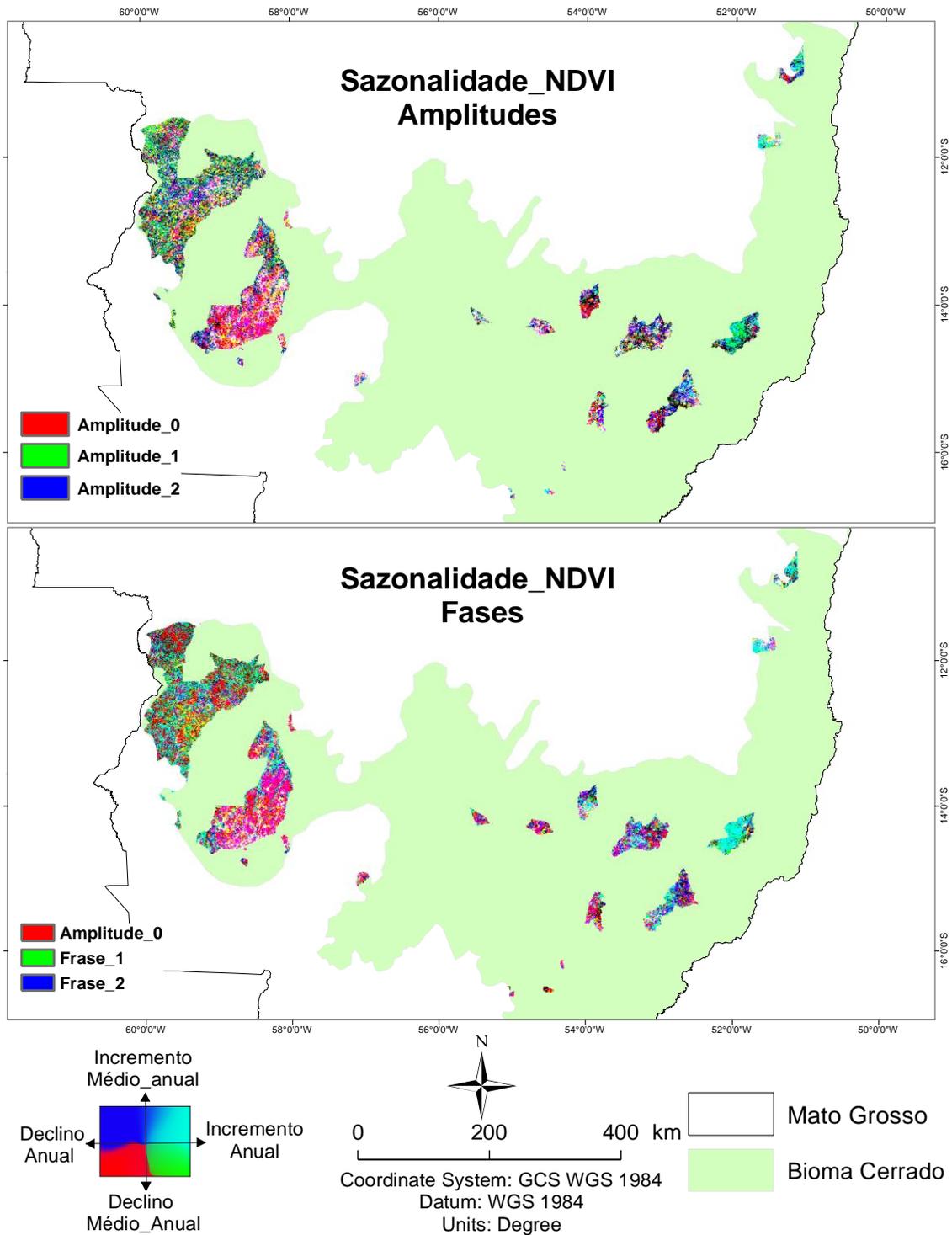
#### **4.7 Sazonalidade do NDVI**

Por meio da análise de tendência Sazonal (STA), Figura 11, foi possível verificar que houve vários tipos de fases e amplitudes e, em muitas vezes a junção dessas classificações podem originar novas cores. Como o módulo de tendência sazonal utiliza as cores vermelho, verde e azul, cada uma dessas referentes à amplitude 0, amplitude 1 e fase 1 e amplitude 2 e fase 2, respectivamente.

Essas amplitudes e fases representam o ciclo e pico do NDVI, ou seja, ganho de biomassa anual. A presença da amplitude “0” indica que a vegetação não possui ciclo vegetativo definido, para a fase e amplitude 1, indicam o crescimento máximo da vegetação anual, e a fase e amplitude 2 a presença de sazonalidade semianual.

Diante disso, observa-se que em todas as terras indígenas, obtiveram várias misturas de fases e amplitude, gerando novas colorações, como exemplo a junção da amplitude 0 com a amplitude 2, que gera uma coloração magenta (cor rosada), essa coloração está presente em muitas unidades, mas em especial na região da T.i. no oeste do estado (aldeias Vale do Guaporé, Tiracatinga, Utariti, Uirapuru Juininha e Paresi), com a predominância do vermelho e azul, que descreve a presença de sazonalidade semianual. Essa região é composta por vegetação de campos abertos, com quase em sua totalidade com a presença de gramíneas e vegetação arbustiva e, conseqüentemente suas respostas fenológicas estão diretamente relacionadas à precipitação, que tem seus períodos bem definidos de estações seca e chuvosa.

Figura 10 – Análise de tendência sazonal para o NDVI.



Fonte: o autor.

A junção das amplitudes 0 e 1 gera a coloração amarela e a das 1 e 2 a cor ciano (azul claro), as demais sobreposições de amplitudes e fases, além dessas

cores, podem gerar novamente as cores primária; como exemplo, a junção de ciano (amplitude 1 e 2) e magenta (amplitude 0 e 2), que origina novamente a cor vermelha de amplitude 0, que representa um ambiente com ausência de ciclos e picos de ganho vegetativo.

Com isso, Eastman et al. (2009) relatam que os dados gerados pela ferramenta é de difícil interpretação. Sendo assim, em toda a área de estudo obtiveram-se sobreposições de amplitudes e fases, verificando diferentes padrões sazonais distribuídos no Bioma Cerrado, como exemplo, a primeira terra indígena, do sentido oeste para leste (aldeias Aripuanã, Enawenê – Nawe Mendkeü, Perineus de Souza e Nambikwara), apresentou várias sobreposições de amplitudes e fases, obtendo várias colorações, como a amplitude 0, 1 e 2 e fases 1 e 2, mostrando a grande variação no ciclo anual e semianual.

Na segunda terra indígena, do sentido oeste para leste (aldeias Vale do Guaporé, Tiracatinga, Utiriti e Paresi), houve maior uniformidade nos padrões sazonais, mostrando em grande parte de seu território a coloração magenta, ou seja, a junção da amplitude 0 com a 2 e fase 2, descrevendo a ausência de ciclos anuais, não apresentando respostas sazonais. Também, pode ser observado que as margens das hidrografias apresentam a coloração ciano, que indica a presença da amplitude e fases 1 e 2, as quais indicam que as regiões de mata de galeria possuem características sazonais anuais e semianuais, com ganhos em crescimento vegetativo.

Em muitos locais da área de estudo, também foram observadas colorações acinzentadas que, segundo Eastman et al. (2009), indicam a não existência de tendência e não está ocorrendo mudanças sazonais.

No extremo leste e nordeste (respectivamente aldeias Areões e Urubu Branco) do Bioma Cerrado, existem três terras indígenas com a predominância das cores verde e ciano, configurando a presença de sazonalidade de amplitude e fases 1 e 2, que representam fortes sazonalidade anual, semianual e crescimento vegetativo.

Resultados obtidos por meio da mesma metodologia, realizados por Chen et al. (2014), detectaram tendências de aumento do NDVI anual em mais de 27,7 % da região, que compreende a Ásia e Austrália (Índia, sul e sudeste da China,

Birmânia, Malásia, Indonésia, Filipinas, Taiwan e Japão) e para descrever esse ganho de biomassa, o autor empregou o termo ecologização.

Deste modo, em todas as Terras Indígenas pesquisadas possuem a presença de tendências de ciclo anual e semianual; em algumas mais e outras menos; e em muitas delas houve a junção das tendências ou também ausência das mesmas. Descrevendo assim, a grande biodiversidade desse bioma e a heterogeneidade do ecossistema. Desta forma, esse Bioma é bastante versátil na sua distribuição e suas respostas à sazonalidade, o que está intimamente conectado a sua formação vegetativa, uma vez que sua produtividade possui ampla variabilidade, causado pelas diversas fisionomias presentes no mesmo.

## 5. CONCLUSÕES

- Em todos os anos foram quantificadas extensas áreas de queima, totalizando aproximadamente um milhão de hectares / ano;
- A variação das tendências, evidenciam as várias fitofisionomias e suas respostas em relação ao ganho e perda de biomassa;
- A melhor resposta da correlação e regressão do NDVI x Precipitação foi observada em função do tipo de vegetação de campos abertos;
- A Área de queima tende a aumentar com a redução do NDVI, principalmente em regiões com vegetações mais abertas;
- Por fim, em relação a sazonalidade não foi encontrado um padrão definido de ciclos e fases da vegetação.
- Os resultados obtidos indicam a necessidade da inserção de mais variáveis para esclarecer, de modo mais contundente, a dinâmica da vegetação do Bioma Cerrado, frente às variáveis ambientais naturais e um levantamento in loco, para o entendimento de tais fenômenos com a ocorrência de incêndios florestais.

## REFERENCIAS

AMIRO, B. D. et al. Carbon, energy and water fluxes at mature and disturbed forest sites, Saskatchewan, Canada. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 136, n. 3–4, p. 237–251, 2006.

ANDERSON, L. O. et al. Sensor Modis : Uma Abordagem Geral. n. January, 2003. ATZBERGER, C. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p. 949–981, 2013.

AYANZ, J. S. M. **Comprehensive Monitoring of Wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS)**. Italy.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. DOS 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, p. 125–134, 2009.

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.

BOSCHETTI, L. et al. **MODIS Collection 5 Burned Area Product MCD45**. [s.l.: s.n.]. v. Version 1.

BOWMAN, D. M. J. S. et al. Fire in the Earth System. **Science**, v. 324, n. May, p. 481–484, 2009.

BROWN, J. F. et al. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. **GIScience & Remote Sensing**, v. 45, n. 1, p. 16–46, 2008.

BUCCI, S. J. et al. Processes preventing nocturnal equilibration between leaf and soil water potential in tropical savanna woody species. **Tree Physiology**, v. 24, n.10, p. 1119–1127, 2004.

BUCCI, S. J. et al. Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees: Adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 233–245, 2008.

CAIRNEY, J. W. G.; BASTIAS, B. A. Slash burning, faunal composition, and nutrient dynamics in a Eucalyptus grandis plantation in South Africa This article is one of a selection of papers published in the Special Forum on Towards Sustainable Forestry — The Living Soil: Soil Biodiversity and. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 37, n. 2, p. 226–235, 2007.

CARDOSO DA SILVA, J. M.; BATES, J. M. Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot.

**BioScience**, v. 52, n. 3, p. 225, 2002.

CHEN, B. et al. Changes in vegetation photosynthetic activity trends across the Asia-Pacific region over the last three decades. **Remote Sensing of Environment**, v. 144, p. 28–41, 2014.

CHRISTENSEN, N. L. et al. The interpreting yellowstone fires of ecosystem responses and management implications. **Sciences-New York**, v. 39, n. 10, p. 678–685, 1989.

CRIMMINS, T. M.; CRIMMINS, M. A.; DAVID BERTELSEN, C. Complex responses to climate drivers in onset of spring flowering across a semi-arid elevation gradient. **Journal of Ecology**, v. 98, n. 5, p. 1042–1051, 2010.

DE ALMEIDA, C. T. et al. Avaliação das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 279–286, 2015.

DE CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, n. 3, p. 263–283, 1998.

DE JONG, R. et al. Trend changes in global greening and browning: Contribution of short-term trends to longer-term change. **Global Change Biology**, v. 18, n. 2, p. 642–655, 2012.

DERNER, J. D. et al. Functional Group and Species Responses to Precipitation in Three Semi-Arid Rangeland Ecosystems. **Arid Land Research and Management**, v. 22, n. 1, p. 81–92, 2008.

DISC, G. **Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)**, 2016.

EPTING, J.; VERBYLA, D. Landscape-level interactions of prefire vegetation, burn severity, and postfire vegetation over a 16-year period in interior Alaska. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, n. 6, p. 1367–1377, 2005.

EVANGELIDIS, K. et al. Geospatial services in the Cloud. **Computers and Geosciences**, v. 63, p. 116–122, 2014.

FERRAZ, A. S. et al. Estimativa do estoque de biomassa em um fragmento florestal usando imagens orbitais. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 286–296, 2014.

FIEDLER, N. C. et al. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição effect of fire on the structure and floristic composition of a cerrado sensu stricto area in Fazenda Água Limpa-DF. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 129–138, 2002.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: 2011.

FORKEL, M. et al. Trend Change detection in NDVI time series: Effects of inter-annual variability and methodology. **Remote Sensing**, v. 5, n. 5, p. 2113–2144, 2013.

FRENCH, N. H. F.; KASISCHKE, E. S.; WILLIAMS, D. G. Variability in the emission of carbon-based trace gases from wildfire in the Alaskan boreal forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. D1, p. 8151, 2003.

FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍndIO (FUNAI). **Terras indígenas: o que é?** Disponível em: <<http://www.funai.gov.br/index.php/nossas-acoedemarcacao-deterras-indigenas?limitstart=0#>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

GALLINAT, A. S.; PRIMACK, R. B.; WAGNER, D. L. Autumn, the neglected season in climate change research. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 30, n. 3, p. 169–176, 2015.

GANTEAUME, A.; JAPPIOT, M. What causes large fires in Southern France. **Forest Ecology and Management**, v. 294, p. 76–85, 2013.

LINARES, J. A. H. **Análise multitemporal de imagens MODIS dos Parques Nacionais do Cerrado: EVI como uma das ferramentas para seleção de áreas de conservação.** 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

GIGLIO, L. et al. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 2, p. 408–420, 2009.

GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; JUSTICE, C. O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 178, p. 31–41, 2016.

GOETZ, S. J. et al. Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 38, p. 13521–5, 2005.

GÓMEZ, I.; PILAR MARTÍN, M. Prototyping an artificial neural network for burned area mapping on a regional scale in Mediterranean areas using MODIS images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 13, n. 5, p. 741–752, 2011.

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

GRACE, J. et al. Fluxes of carbon dioxide and water vapour over an undisturbed tropical forest in south-west Amazonia. **Global Change Biology**, v. 1, n. 1, p. 1–12, 1995.

GRACE, J. et al. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 387–400, 2006.

GREGOIRE, J.-M. et al. Effect of land-cover change on Africa's burnt area. **International Journal of Wildland Fire**, v. 22, n. January, p. 107–120, 2013.

GREGOIRE, J. M.; TANSEY, K.; SILVA, J. M. N. The GBA2000 initiative: developing a global burnt area database from SPOT-VEGETATION imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 6, p. 1369–1376, 2003.

HANSEN, M. C. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850–853, 2013.

HARRIS, S.; VERAVERBEKE, S.; HOOK, S. Evaluating spectral indices for assessing fire severity in chaparral ecosystems (Southern California) using modis/aster (MASTER) airborne simulator data. **Remote Sensing**, v. 3, n. 11, p. 2403–2419, 2011.

HERRERA, M. C. P.; CORREA, C. A. P. An assessment of El Niño and La Niña impacts focused on monthly and seasonal rainfall and extreme dry / precipitation events in mountain regions of Colombia and México. **Advances in Geosciences**, p. 23–33, 2016.

HERRMANN, S. M.; ANYAMBA, A.; TUCKER, C. J. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. **Global Environmental Change**, v. 15, n. 4, p. 394–404, 2005.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195–213, 2002.

HUETE, A. R. et al. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 6, p. 2–5, 2006.

HULME, M. Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998. **Global Environmental Change**, v. 11, n. 1, p. 19–29, 2001.

JUSTICE, C. O. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, v. 36, n. 4, p. 1228–1249, 1998.

JUSTICE, C. O. et al. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 3–15, 2002.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **The Journal of Ecology**, v. 82, n. 3, p. 519–531, 1994.

KAUFMAN, Y. J. et al. Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. **Journal**

of **Geophysical Research**, v. 103, n. D24, p. 32215, 1998.

KENDALL, M. G. Rank correlation measures. London: Charles Griffin. 1975. 220p. KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147–155, 2005

KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. Berlin: **Walter de Gruyter**, 1931. 388p..

KUMMEROW, C. Beamfilling errors in passive microwave rainfall retrievals. **Journal of Applied Meteorology**, v. 37, n. 4, p. 356–370, 1998.

KUMMEROW, C. et al. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n. 12, p. 1965–1982, 2000.

KUNTSCHIK, G. **Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar** Gerardo Kuntschik **Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar**. 154 f. 2004. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEONEL, M. O uso do fogo: O manejo indígena e a piromania da monocultura. **Estudos Avançados**, v. 14, n. 40, p. 231–250, 2000.

LLORET, F. Régimen de incendios y regeneración. **Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante**, p. 101–126, 2004.

LOBODA, T.; O'NEAL, K. J.; CSISZAR, I. Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, n. 4, p. 429–442, 2007.

MA, X. et al. Spatial patterns and temporal dynamics in savanna vegetation phenology across the north australian tropical transect. **Remote Sensing of Environment**, v. 139, p. 97–115, 2013.

MACHADO, R.B. et al. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Brasília: **Conservation International do Brasil**. 2004.

MARUFU, L. et al. Photochemistry of the African troposphere: Influence of biomass-burning emissions. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v. 105, n. D11, p. 14513–14530, 2000.

MASELLI, F. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 423–433, 2004.

MASIH, I. et al. Assessing the Impact of Areal Precipitation Input on Streamflow Simulations Using the SWAT Model. **Journal of the American Water Resources**

**Association**, v. 47, n. 1, p. 179–195, 2011.

MAYAUX, P. et al. Tropical forest cover change in the 1990s and options for future monitoring. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 360, n. 1454, p. 373–84, 2005.

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

MEIER, G. A. et al. Phenology and climate relationships in aspen (*Populus tremuloides Michx.*) forest and woodland communities of southwestern Colorado. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 189–197, 2015.

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

MORENO, H. A.; VIVONI, E. R.; GOCHIS, D. J. Utility of quantitative precipitation estimates for high resolution hydrologic forecasts in mountain watersheds of the Colorado Front Range. **Journal of Hydrology**, v. 438–439, p. 66–83, 2012.

NASA. **National Aeronautics and Space Administration**, 2016..

NASTOS, P. T.; KAPSOMENAKIS, J.; PHILANDRAS, K. M. Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. **Atmospheric Research**, v. 169, p. 497–514, 2016.

NE'EMAN, G.; LAHAV, H.; IZHAKI, I. Recovery of vegetation in a natural east Mediterranean pine forest on Mount Carmel, Israel as affected by management strategies. **Forest Ecology and Management**, v. 75, n. 1–3, p. 17–26, 1995.

NEMANI, R. R. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science (New York, N.Y.)**, v. 300, n. 5625, p. 1560–3, 2003.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, Ê. P. DE; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do trmm em uma sub-bacia da amazônia ocidental. **Revista de Geografia - Recife**, v. 25, n. 1, p. 6–20, 2008.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: BLUCHER, 388 p. 2011.

NUNES, A. et al. Principais causas dos incêndios florestais em portugal: variação espacial no período 2001/12\*. **Territorium**, v. 21, p. 135–146, 2014.

PAUSAS, J. G.; VALLEJO, V. R. The role of fire in European Mediterranean Ecosystems. **Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean Basin**, p. 3–16, 1999.

PEREIRA, S. A.; FABRÉ, N. N. Uso e gestão do território em áreas de livre acesso

no Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 3, p. 561–572, 2009.

PETTORELLI, N. et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 9, p. 503–510, 2005.

POLLET, J.; OMI, P. N. Effect of thinning and prescribed burning on crown fire severity in ponderosa pine forests. **International Journal of Wildland Fire**, v. 11, n. 1, p. 1, 2002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 160 p., 2012.

RAMANKUTTY, N. et al. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 22, n. 1, p. 1–19, 2008.

RAMME, F. L. P.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V. Perfis temporais NDVI MODIS na cana-soca de maturação tardia. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 480–494, 2010.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: Comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 60, n. 1, p. 57–109, 1996.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223–230, 1997.

RIAÑO, D. et al. Global spatial patterns and temporal trends of burned area between 1981 and 2000 using NOAA-NASA Pathfinder. **Global Change Biology**, v. 13, n. 1, p. 40–50, 2007.

RICHARDSON, A. D. et al. Influence of spring and autumn phenological transitions on forest ecosystem productivity. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1555, p. 3227–3246, 2010.

RONALD EASTMAN, J. et al. Seasonal trend analysis of image time series. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 10, p. 2721–2726, 2009.

ROY, D. P. et al. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, n. 2, p. 137–162, 2005.

ROY, D. P. et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 154–172, 2014.

ROY, D. P.; BOSCHETTI, L.; TRIGG, S. N. Remote sensing of fire severity: Assessing the performance of the normalized burn ratio. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 1, p. 112–116, 2006.

RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 423 p., 2007.

RYAN, K. C. Global change and wildland fire. In: Brown, J. K.; Smith, J. K. (eds.). **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora**. Ogden: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2000. p.175-184.

SCHMIDT, M. W. I. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49–56, 2011.

SCHOLZ, F. G. et al. Biophysical and life-history determinants of hydraulic lift in Neotropical savanna trees. **Functional Ecology**, v. 22, n. 5, p. 773–786, 2008.

SCHROEDER, W. et al. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 5, p. 2711–2726, 2008.

SCHULZE, E. Vapor Exchange in Response to Drought in the Atmosphere and in the Soil 1. **Plant Physiol**, v. 37, p. 247–74, 1986.

SHUKLA, J.; NOBRE, C.; SELLERS, P. Amazon deforestation and climate change **Science**, v. 247, n. 4948, p. 1322–1325, 1990.

SOLANO, R. et al. MODIS Vegetation Index User ' s Guide ( MOD13 Series ). **The University of Arizona**, v. 2010, n. May, p. 38, 2010.

TAPIADOR, F. J. et al. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. **Atmospheric Research**, v. 104–105, p. 70–97, 2012.

TARDIEU, F.; SIMONNEAU, T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours Franc. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, p. 419–432, 1998.

TIAN, F. et al. Remote sensing of vegetation dynamics in drylands: Evaluating vegetation optical depth (VOD) using AVHRR NDVI and in situ green biomass data over West African Sahel. **Remote Sensing of Environment**, v. 177, p. 265–276, 2016.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127–150, 1979.

VELASCO HERRERA, G. Mexican forest fires and their decadal variations. **Advances in Space Research**, v. 58, n. 10, p. 2104–2115, 2016.

VERAVERBEKE, S. et al. 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, n. 1, p. 28–39,

2012.

WAGNER, A. P. L.; FONTANA, D. C.; FRAISSE, C.; WEBER, E. J.; HASENACK, H. et al. Tendências temporais de índices de vegetação nos campos do Pampa do Brasil e do Uruguai. **Pesquisa. agropecuária. brasileira.**, v. 48, n. 9, p. 1192–1200, 2013.

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.

WIMBERLY, M. C.; REILLY, M. J. Assessment of fire severity and species diversity in the southern Appalachians using Landsat TM and ETM+ imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, n. 2, p. 189–197, 2007.

ZHOU, L. et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, p. 20069–20083, 2001.

ZIMMERMAN, B. et al. Conservation and development alliances with the Kayapó of south-eastern Amazonia, a tropical forest indigenous people. **Environmental Conservation**, v. 28, n. 1, p. 10–22, 2001.