

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
Coordenadoria do Curso de Geografia – Bacharelado

**ANÁLISE DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA DO BIOMA
CERRADO**

Julio Cezar Costa

São João del-Rei – Minas Gerais

2016

Julio Cezar Costa

**ANÁLISE DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA DO BIOMA
CERRADO**

Monografia apresentada à Coordenadoria do
Curso de Geografia da Universidade Federal
de São João del-Rei, com requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em
Geografia

Aluno: Julio Cezar Costa

Orientador: Dr. Márcio Roberto Toledo
e Dr. Gabriel Pereira

**São João del Rei- Minas Gerais
2016**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado toda sabedoria, força e saúde para todas as superações durante os anos de graduação. Gostaria de agradecer meus familiares, em especial minha mãe Cleide de Souza, meu pai Mário Costa (Pedrão), por me apoiarem desde sempre e principalmente nos anos de graduação. Para minhas primas Raissa e Rayane, gostaria de agradecer, por sempre me motivar e confiar nas minhas escolhas e trabalhos nos anos cursados no curso de Geografia. A Nayabi por estar sempre presente e pela companhia mesmo a distância.

Meus grandes amigos que transitaram a fase ensino médio para a graduação e permanecem até hoje me ajudando de alguma forma, gostaria de gratificar por tudo, em especial: Janaina, Vanessa, Pedro Henrique, João Gustavo, Tati, Thiago, Diogo, Khaique, e Carlos.

Para meus amigos da minha cidade Machado, Lucio, Tulio, Leonardo Tadeu, Scalco, Thiaguin e outros grandes amigos, também tenho a agradecer vocês, que mesmo de longe, mantiveram a amizade mesmo com todas as mudanças e com minha grande ausência.

Não poderia deixar também de agradecer aqueles que não colaboraram para o presente trabalho, mas contribuíram com grande apoio no dia-a-dia de São João, como é o caso dos integrantes que passaram pela República Infiltrados. Para o Ricardo, Sparks, e claro, Pyra, João Henrique e Winkler não podia ser diferente, gostaria de reconhecer toda a amizade, apoio e companheirismo por todo esse período.

Aos colegas do curso, muito obrigado por cada colaboração em cada trabalho, seminário, trabalhos de campo e pela amizade, em especial a Isis, Xisto, Thiago, Pedro Henrique e Helton.

Colegas e amigos de laboratório, não estaria agradecendo ninguém aqui se não fossem vocês. Seja quem já passou por lá (Paula e Bia), aos mestrandos (André, Raquel e Fernandinha), os alunos de graduação (Shayenne e Paulo), e minhas

companheiras de sala (Laura, Thaínne, Vivi e Bruna), todos contribuíram para meu conhecimento de alguma forma.

Aos professores do Departamento de Geociências da Universidade Federal de São João del Rei, muito obrigado por todo o conhecimento passado. E ao professor Dr. Márcio Toledo, por toda dedicação, apoio e confiança.

A Dr^a Francielle Cardozo, muito obrigado por todo o suporte, e conhecimento que foi passado. E ao Dr. Gabriel Pereira, que me orientou em quase todo o período de graduação, obrigado pelo conhecimento, paciência, confiança, apoio e amizade em todos esses anos.

RESUMO

A sazonalidade da precipitação tem grande influência na dinâmica da disponibilidade de água no solo, e conseqüentemente no vigor da vegetação e respectivo ciclo fenológico. Ainda, a dinâmica atmosférica atua na duração da estação seca contribuindo para a resposta da cobertura vegetal. Neste contexto, a precipitação influencia a ocorrência e distribuição espacial e temporal das fisionomias do Cerrado. Devido a extensão territorial do Bioma Cerrado, o sensoriamento remoto tem grande aplicabilidade, pois permite a aquisição de informações para toda a área, além de substituir métodos que possibilitam falhas na coleta de dados. Neste trabalho, o objetivo principal foi avaliar a resposta da cobertura vegetal à variabilidade da precipitação para o bioma Cerrado no período entre 2000-2015, a partir dos dados do NDVI e *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). A partir dos dados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), foi gerado o índice de vegetação por Diferença normalizada (NDVI) utilizado em estudos sobre vegetação a partir de produtos orbitais. Pelas análises dos dados de precipitação, foi possível classificar a área do Cerrado com um período de verão chuvoso nos meses de novembro a abril e um período de inverno seco nos meses de junho a agosto. Assim como os dados anuais de precipitação, para o NDVI do Cerrado os anos de 2007 e 2009 corresponderam respectivamente com o ano de menor e maior índice do vigor vegetativo. Para a relação entre os valores dos produtos, foi notável que a precipitação influencia diretamente na cobertura vegetal do Cerrado.

Palavras-Chave: Precipitação; Cobertura Vegetal; MODIS; NDVI; TRMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Cerrado no Brasil.....	6
Figura 2: Principais fisionomias do Cerrado.....	8
Figura 3: Fluxograma dos métodos utilizados.....	11
Figura 4: Precipitação mensal para o Cerrado 2000-2015.....	12
Figura 5: Precipitação anual acumulada para o Cerrado 2000-20015.....	13
Figura 6: Precipitação para área do cerrado 2000-2008.....	14
Figura 7: Precipitação para a área do Cerrado 2009-2015.....	14
Figura 8: Média Anual NDVI para o Cerrado 2000-2015.....	15
Figura 9: Média NDVI (2000-2015) para o Cerrado.....	16
Figura 10: NDVI para a área do Cerrado 2000-2008.....	17
Figura 11: NDVI para a área do Cerrado 2009-2015.....	18
Figura 12: NDVI para área do Cerrado 2007 e 2009.....	19
Figura 13: Anomalias do NDVI para área do Cerrado 2000-2008.....	20
Figura 14: Anomalias do NDVI para área do Cerrado 2009-2015.....	21
Figura 15: Anomalias do NDVI para área do Cerrado 2007 e 2009.....	22
Figura 16 Dados do NDVI e TRMM mensais para o Cerrado 2000-2015.....	23
Figura 17: Regressão Linear, entre dados do TRMM e NDVI mês a mês.....	24
Figura 18: Regressão Linear, entre dados do TRMM e NDVI com atraso de um mês do NDVI.....	24
Figura 19: Média da correlação entre os dados NDVI e TRMM.....	25
Figura 20: Correlação entre os dados NDVI e TRMM 2000-2007.....	26
Figura 21: Correlação entre os dados NDVI e TRMM 2008-2015.....	27
Figura 22: Correlação entre os dados NDVI e TRMM 2007 e 2009.....	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	5
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
5.1 Produtos Orbitais.....	8
5.1.1 Dados para precipitação.....	8
5.1.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.....	9
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	11
6.1 Análise da precipitação para o Cerrado.....	11
6.2 Análise do NDVI para o Cerrado.....	15
6.3 Relação entre os dados do TRMM e NDVI.....	22
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas atmosféricos influenciam outros processos nos variados segmentos do ambiente, como os domínios globais da hidrosfera, biosfera e litosfera. Desta forma, o clima atua nos solos, rochas, fauna e flora, tendo influência direta na dinâmica do meio ambiente (AYOADE, 1988; CHRISTOFOLETTI, 1933).

O ciclo hidrológico tem grande importância para a vida terrestre e entendê-lo é essencial em assuntos demográficos, políticos, agrícolas e para os recursos hídricos (HEIBLUM, et al 2011). Embora cerca de 80% da precipitação do globo ocorra sobre os oceanos, o balanço da estimativa de precipitação-*evapotranspiração* é positivo sobre a superfície terrestre, quando comparada aos oceanos, tornando a precipitação principal fonte de água fresca. Ainda, a precipitação libera calor latente sendo um dos principais motores da circulação atmosférica, afetando variações climáticas em todo o globo e sendo um processo dinâmico de grande compreensão (TRENBERTH et al., 2009; HEIBLUM, et al., 2011). Pode-se definir o período de precipitação em três parâmetros: início, fim e índice de chuva, ambos importantes meteorologicamente, sendo início e fim podendo representar mudanças em grandes e pequenas escalas e o índice de chuva determinar a magnitude (SIMMONS, 1982; LIEBMANN, 2007).

Os índices de vegetação podem servir como bom indicador sensível do clima e das ações antrópicas, uma vez que alterações na vegetação podem apontar mudanças no equilíbrio de energia, clima, hidrologia e ciclos biológicos (ROUSVEL et al., 2013).

Como um dos elementos fundamentais, a precipitação influencia a ocorrência e distribuição espacial e temporal das fisionomias do Cerrado (BECERRA, et al., 2009). As variáveis cobertura da vegetação e o clima estão diretamente ligadas, possuindo interações com conjunto amplo de características, não apenas precipitação média anual, tendo a sazonalidade da precipitação como a principal (GOOD et al., 2011). A sazonalidade da precipitação possui grandes influências sobre a dinâmica da água no solo, e conseqüentemente na vegetação, com o comprimento da estação seca apontado como grandes índices de interferência na resposta da cobertura vegetal (GOOD et al., 2011; FENG et al., 2013; STAVER et al., 2011;)

Os fatores bióticos e abióticos como o solo, clima, geomorfologia e fauna determinam diretamente a distribuição espacial e a estrutura vertical da vegetação, sendo assim, as interações possibilitam que a cobertura vegetal tenha grande importância nos sistemas climáticos, através de troca de energia, água e gases com a atmosfera, interferindo também no ciclo biogeoquímico e nas fontes de produção. A relação entre a vegetação e clima pode ser modificada caso um dos elementos sofra modificações consideráveis (BECERRA et al, 2009). A distribuição espacial e temporal das fisionomias do bioma Cerrado sofrem grande influência dos fatores climáticos, em especial da precipitação (SHUKLA et al. 1990; SELLERS et al., 1997).

Como forma de interação entre a radiação eletromagnética e diferentes objetos, o sensoriamento remoto é utilizado para extrair informações ambientais, como características e comportamento espectral de rochas, corpos hídricos, solos e vegetação (PONZONI et al., 2012). Para a área do Cerrado, as ferramentas do sensoriamento remoto são de grande utilidade para estudos climáticos, como variabilidade da vegetação e sazonalidade da precipitação.

O segundo maior bioma brasileiro, o Cerrado, que cobre cerca de 23% de todo o território nacional é definido como área de estudo (BECERRA et al., 2009). Este bioma possui grandes variações de formações vegetais, tais como, campestres, savânicas e as florestais, originando um grande mosaico ecológico (COUTINHO, 1978). Devido a extensão territorial do Bioma Cerrado, o sensoriamento remoto tem grande função que permite ter acesso em toda a área delimitada, além de substituir métodos que possibilitam falhas na coleta de dados. O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) assim como os produtos do sensor MODIS derivados do satélite TERRA, são exemplos com disponibilização gratuita para realização de trabalhos e pesquisas no âmbito ambiental. Com grande funcionalidade para meios acadêmicos, o *MoDerate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), proporciona, a cada 48 horas, dados para a biosfera terrestre para uma cobertura global, sendo dados georreferenciados, com correções atmosféricas, disponibilizando uma série de produtos com diversas aplicações para estudos ambientais (JUSTICE et al., 1998; FERREIRA et al., 2006).

Em uma escala global, a redução das florestas diminui a evapotranspiração e, conseqüentemente, modificam a precipitação e o clima regional e global (HENDERSON et al, 1984). Desta forma, a precipitação também se torna muito

importante para as vegetações no rendimento da cobertura vegetal (CALDER, 1979). Sendo assim, estudos que compreendem os processos da sazonalidade da precipitação e variabilidade da cobertura vegetal tem grande importância, como grande análise para medidas e modelos para previsões quantitativas sobre efeitos de manejo florestal em razão com relações da precipitação (ASDAK, 1998).

2 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo principal avaliar a resposta da cobertura vegetal à variabilidade da precipitação para o bioma Cerrado no período entre 2000-2015, a partir do índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN ou NDVI) estimado pelo sensor MODIS e dos dados de precipitação obtidos do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

2.1 Objetivos específicos

- i. Originar uma série temporal a partir dos dados mensais de NDVI do produto MOD13A3, com resolução espacial de 250 metros para 2000 - 2015;
- ii. Estimar a fração máxima de cobertura vegetal a partir do NDVI anualmente para o Cerrado entre 2000-2015
- iii. Analisar a variabilidade da precipitação mensal para o cerrado a partir do TRMM nos anos 2000 - 2015;
- iv. Analisar a espacialidade da distribuição da precipitação estimados pelo TRMM anualmente para o limite do Cerrado para 2000-2015
- v. Analisar a correlação entre os dados do TRMM e NDVI para os anos estudados
- vi. Analisar espacialmente as correlações entre os dados TRMM e NDVI anualmente para o cerrado entre 2000-2015

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo da precipitação, além de grande importância em áreas da climatologia e meteorologia, tem seu viés, social e econômico, pois as estações chuvosas influenciam diretamente em áreas agrícolas, sendo grande parte das plantações cultivadas em período chuvoso (LIEBMANN, 2007). As variações temporais e espaciais da precipitação e temperatura são efeitos de grande influência nas alterações do sistema climático terrestre (LIUZZO et al., 2015). Observar a homogeneidade de séries temporais e espaciais dos índices de precipitação, assim como analisar a possibilidade de uma tendência, tem sua relevância devido aos questionamentos das alterações climáticas e suas modificações nos regimes pluviométricos (BACK, 2001).

Através de estudos (SOUZA et al., 2004; CONTI, 2005), observa-se a importância da precipitação como uma força motriz para a biomassa, e principalmente em áreas secas, notando a grande relação entre as variáveis precipitação e vegetação.

Considerando médias globais, os índices de precipitação tiveram aumento de cerca de 2% entre o período 1900-1998 (DAI et al., 1997), regionalmente as variabilidades da precipitação também tem um fator significativo, podendo o aumento global não ser resultante para determinadas regiões do globo (LIUZZO et al., 2015). Dados do *Intergovernmental Panel on Climate Change* - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) de 2013 apontaram o aumento da precipitação para regiões ao norte do planeta, ao longo dos 30° N, enquanto para regiões tropicais do globo, como a do Cerrado, as tendências para os índices pluviométricos são decrescentes (LIUZZO et al., 2015).

Através de estudos que avaliam a dinâmica espaço-temporal da vegetação, tais observações podem revelar padrões, métodos e mecanismos, afim de serem aplicados em previsões e orientações de planos estratégicos de proteção e conservação dos recursos florestais (DALLA NORA, 2010).

Períodos excedentes ou déficits pluviométricos, com grande duração, podem ter impactos hidrológicos e meteorológicos em diversas áreas de atividade humana, podendo a ter água abundante ou até mesmo secas extremas (TWARDOSZ et al.,

2015). Tais dados climáticos são essenciais para gestões públicas no que se refere ao gerenciamento dos recursos hídricos, podendo desta forma avaliar os impactos sobre o meio ambiente e também na agricultura (WANDERLEY, 2013).

No Cerrado, assim como em muitas regiões do Globo, há registros pluviométricos através de estações meteorológicas, porém existem diversas lacunas espaciais para a amostragem em regiões menos desenvolvidas ou com populações baixas (SMITH et al., 2012). No âmbito dos estudos ambientais, como análises de precipitação e vegetação, as técnicas de sensoriamento remoto ganham importância, possibilitando mapear, avaliar as condições estruturais e monitorar ciclos, variabilidades e sazonalidades (PONZONI et al., 2012). Com habilidade de fornecer parâmetros precisos e monitoramento contínuo, as aplicações do sensoriamento remoto são subsidiadas por uma rede de dados de ordem orbital com grandes avanços nas últimas décadas, tanto na metodologia de análise quanto em toda a tecnologia utilizada (DALLA NORA et al., 2010).

4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

Ocupando cerca de 204 milhões de hectares na porção central do território brasileiro, o bioma Cerrado se estende do litoral do estado do Maranhão até os limites de São Paulo e Paraná (SANO et al., 2009). O bioma localiza-se nos estados de Minas Gerais e São Paulo da região Sudeste, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e o Distrito Federal na região Centro-Oeste, em uma pequena parcela do Paraná na região Sul, em uma grande parcela em Tocantins na região Norte e ainda nos estados do Piauí e Bahia na região Nordeste, conforme Figura 1.

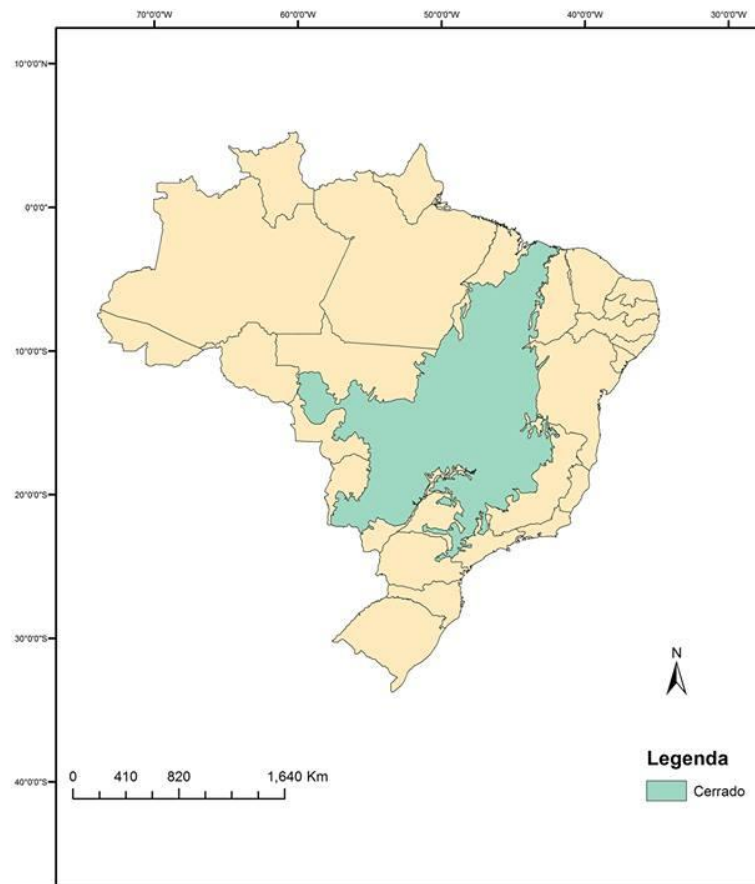


Figura 1: Localização do Cerrado no Brasil

Cobrando cerca de 23% do território brasileiro, o Cerrado corresponde também a 5% da diversidade global, tendo grande importância para balanços de energia, água e carbono da região. Sua localização inicia-se na margem da floresta amazônica e se espalha até regiões do sul de São Paulo e Paraná, ocupando ainda 700.000 km² de área dentro da bacia amazônica e em áreas fora do Brasil como no Paraguai e Bolívia (DIAS, 1992; MONTEIRO, 2005; BIEDERMAN et al., 1997; BECERRA et al., 2009).

A altitude do Cerrado varia de 300 a 1700 metros, alterando entre seus planaltos e chapadas (AB'SÁBER, 2003). Considerado o bioma savana mais úmido do globo, o Cerrado brasileiro apresenta cerca de 90% da sua precipitação anual nos meses de outubro a abril (Castro et al, 1994).

Tendo uma das vegetações mais antigas do Brasil, a vegetação do Cerrado foi se desenvolvendo no fim do Terciário e se concretizando conforme as condições climáticas (AB'SÁBER, 2003). Os latossolos representam 46% dos solos em toda a

extensão do Cerrado, com características de solos ácidos, de baixa fertilidade natural, proporcionando assim condições favoráveis para a mecanização, enquanto a produção tem seu potencial subordinado à utilização de fertilizantes, necessitando mobilização do solo (FERREIRA, et al. 2007).

O Cerrado é composto por diversas fisionomias, tendo como principais: Campo Sujo, Campo Úmido, Campo Cerrado, Cerrado *sensu stricto*, Cerrado *sensu stricto* tendendo a Cerradão, o Cerradão e a Mata Mesófila. O Campo Sujo, é descrito como área com predominância de gramíneas, cuja a presença de árvores é mais evidente, com espaçamento menor entre os arbustos, porém ainda não caracteriza formação florestal (BITTENCOURT, 1997). O Campo Úmido percorre em áreas de drenagem com solo úmido, alta presença de gramíneas e ciperáceas altas (BITTENCOURT, 1997). No Campo Cerrado, os arbustos já medem em média 2 metros, e a altura das árvores podem variar entre 7 e 10 metros (BITTENCOURT, 1997). Por fim, na Mata Mesófila ou floresta estacional semidecidual, as árvores podem superar 10 metros de altura, também com camadas de serapilheira por toda extensão (BITTENCOURT, 1997)

O estrato denominado Cerrado *sensu stricto* é caracterizado por presença de arbustos e arvores de até 5 metros, e também árvores emergentes entre 7 a 10 metros (BITTENCOURT, 1997). O Cerrado *sensu stricto*, com sua transição para o Cerradão, já tem suas árvores com alturas mais elevadas, podendo chegar até 10 metros, sendo capaz de ocasionar sombreamento nos extratos mais baixos (BITTENCOURT, 1997). O Cerradão diferencia do Cerrado *sensu stricto* em transição, por compor de componentes herbáceo pouco desenvolvidos, com camadas contínuas de serapilheira (BITTENCOURT, 1997). A figura 2, representa as principais fisionomias do Cerrado.

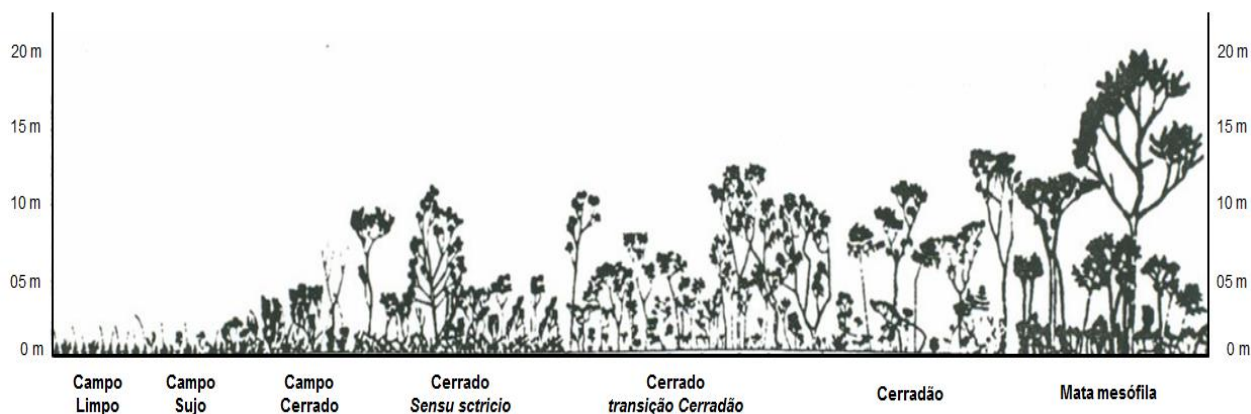


Figura 2: Principais fisionomias do Cerrado

Fonte: Modificada de Bittencourt (1997)

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Produtos Orbitais

5.1.1 Dados para precipitação

Com objetivo de fornecer estimativas de precipitação para os trópicos do globo, o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foi utilizado para estudar mensalmente a sazonalidade das chuvas para o Cerrado de 2000 a 2015. Em órbita desde 1997, o TRMM é um satélite em parceria da *National Aeronautic and Space Administration* (NASA) com a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). O grande diferencial com demais satélites de medição é seu radar de 13,8 GHz, possibilitando dados de perfis verticais de alta resolução, 250 metros, desde 50° N a 50° S disponibilizando para regiões tropicais e subtropicais. (HEIBLUM et al., 2011; PEREIRA et al., 2013)

Com imageamento a cada 3 horas, em sua resolução espacial de 0,25° x 0,25°, o satélite fornece estimativas de precipitação com informações de diversos satélites. O TRMM utiliza observações de estimativas de chuva de três a sete satélites em órbita polar e estimativas de infravermelho (IR) da constelação internacional de satélites em órbita geoestacionária da terra para preencher lacunas existentes (YILMAZ et al., 2010).

Os produtos do TRMM são compostos por cerca de 80% de estimativas de chuva por micro-ondas, e 20% por IR, todos calibrados pelo próprio satélite. Também denominado como *Multisatellite Precipitation Analysis* (TMPA), o multi-satélite gera

diversos produtos, em tempo real, de dados diários ou em padrão mensal, sendo então muito eficiente para pesquisas de climatologias aplicadas (KARASEVA et al., 2011; YILMAZ et al., 2010). Figura 3, apresenta as áreas do globo em que o satélite TRMM retém os dados.

5.1.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Com a precisão de monitorar, caracterizar e analisar os ciclos sazonais da vegetação, diversos recursos orbitais vêm sendo aprofundados e aperfeiçoados nas últimas décadas (LIESENBERG et al., 2007). Um bom exemplo do avanço dos recursos orbitais, o sensor *MoDerate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) foi considerado como instrumento fundamental dos satélites Aqua e Terra, projetado a fim de distribuir uma série de observações globais a cada 2 dias da superfície terrestre, oceano e atmosfera, nas regiões espectrais do visível e infravermelho (RUDORFF et al., 2007).

O sensor MODIS possui resolução radiométrica de 12 bits, em 36 bandas espectrais, duas delas possuindo resolução espacial nominal de 250 metros, cinco com resolução espacial nominal de 500 metros, e as outras 29 com 1 km de resolução espacial nominal (RUDORFF et al., 2007).

A partir da característica espectral do MODIS, foi possível o desenvolvimento de 44 produtos, em sua maioria utilizados para estudos oceanográficos, biológicos, climatológicos e entre outras áreas (RUDORFF et al., 2007). Para analisar a cobertura vegetal do Cerrado, foi utilizado o produto do Índice de Vegetação, denominado de MOD13A3 que contém os dados do índice NDVI. (RUDORFF et al., 2007).

O índice de NDVI é estimado a partir da equação 1, em que ρ_{ivp} representa a reflectância *in-band* na faixa do espectro eletromagnético (EEM) equivalente ao infravermelho próximo (0,73 μ m–1,3 μ m) e $\rho_{vermelho}$ corresponde a faixa do EEM relativo ao vermelho (0,622 μ m–0,700 μ m) (ROUSE et al., 1974; PEREIRA, 2013).

$$NDVI = \frac{\rho_{ivp} - \rho_{vermelho}}{\rho_{ivp} + \rho_{vermelho}} \quad (1)$$

Desta forma o índice do NDVI fornece dados espaciais e temporais consolidados, mediante as condições da vegetação, a fim de controlar as atuações fotossintéticas em suporte ao reconhecimento de alterações e interpretações biofísicas e estudo de fenologias. Variando entre índices de -1 a 1, quando mais próximo de 1, maior vigor vegetativo (BECERRA et al.,2007).

5.2 Metodologia

Os dados derivados do TRMM são obtidos a cada 3 horas, gerando assim uma série de produtos. Entre esses produtos, destacam-se o 3B42, diário e disponibilizado cerca de 9 horas após o último dado do dia e o produto 3B43 com valores mensais, disponíveis entre 10 e 15 dias após o fim do mês. O produto 3B43, em sua versão 7 mais atualizada, foi escolhido para atender o objetivo de analisar os dados mensais e anuais para os anos 2000-2015 para o Cerrado.

Os dados dos produtos são disponibilizados gratuitamente pelo site da NASA (<https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm>), gerando então os dados dos 192 meses para o trabalho. Os arquivos binários extraídos dos dados do TRMM correspondiam a toda a área varrida pelo satélite para o Cerrado. O software Open GrADS foi utilizado para a manipulação e geração de mapas temáticos para as análises temporais e espaciais da área de estudo. O aplicativo permitia o acesso em dimensões como: tempo, latitude, longitude e níveis, e através da delimitação do Cerrado para o dado, foi possível então melhores dados para os limites da área do bioma Cerrado.

Para o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, com intuito de analisar a cobertura vegetal do Cerrado, os dados do produto MOD13A3 do sensor MODIS são cedidos gratuitamente pela NASA, e para o limite da área de estudo são necessários 6 tiles - H12V09, H12V10, H12V11, H13V09, H13V10, H13V11 – ambos em formato *Hierarchical Data Format* (HDF).

Os HDF dos 6 tiles foram transformados em um mosaico para obter os dados mensais para o Cerrado, desde o início do ano 2000 (fevereiro) e o último mês de 2015 disponível (dezembro). O programa *Modis Reprojection Tool* (MRT) converteu os

dados em HDF para *Tagged Image File Format* (TIFF) com coordenadas geográficas e Datum WGS84 atribuídos.

Os arquivos TIFF foram convertidos em arquivos binários e assim como os dados mensais do TRMM, o software Open GrADS que facilitava visualização dos dados dos 191 meses foi utilizado para a manipulação e geração dos mapas anuais para a delimitação do Cerrado brasileiro. As ordens e fluxos da metodologia trabalhada pode ser observada na figura 4.

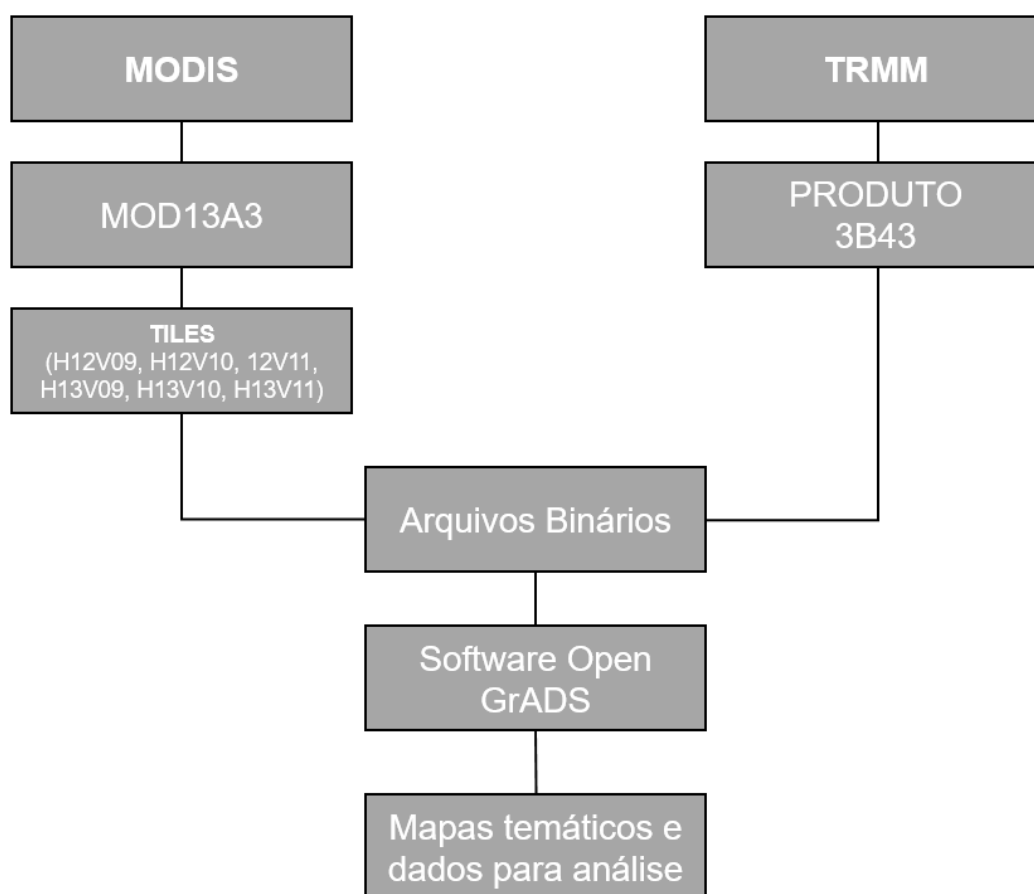


Figura 3: Fluxograma dos métodos utilizado

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise da precipitação para o Cerrado

Com objetivo de analisar o período chuvoso e seco do Cerrado para os anos de 2000 a 2015 a partir dos dados do TRMM, foi possível observar os índices mensais de precipitação para a extensão da área de estudo. Em todo o período temporal

estudado, o mês de maio apresentou média de 49 mm de precipitação, iniciando a transição do período chuvoso para o período de seca, continuando com os meses de junho (17 mm), julho (12 mm) e agosto (11 mm), caracterizados como os meses com os menores índices de precipitação para o Cerrado. Com média de 42 mm, o mês de setembro marca um pequeno aumento nos índices pluviométricos, e o mês de outubro, com média de 104,64 mm mensais, marca o início do período chuvoso, apresentando os meses de novembro (181 mm), dezembro (230 mm), janeiro (249 mm), fevereiro (216 mm), março (217 mm) e abril (115 mm), com maiores índices pluviométricos.

Desta forma, percebe-se na região uma estação chuvosa no verão, que se estende de novembro a abril, e uma estação seca no inverno, que se prolonga de junho a agosto, conforme Figura 5.

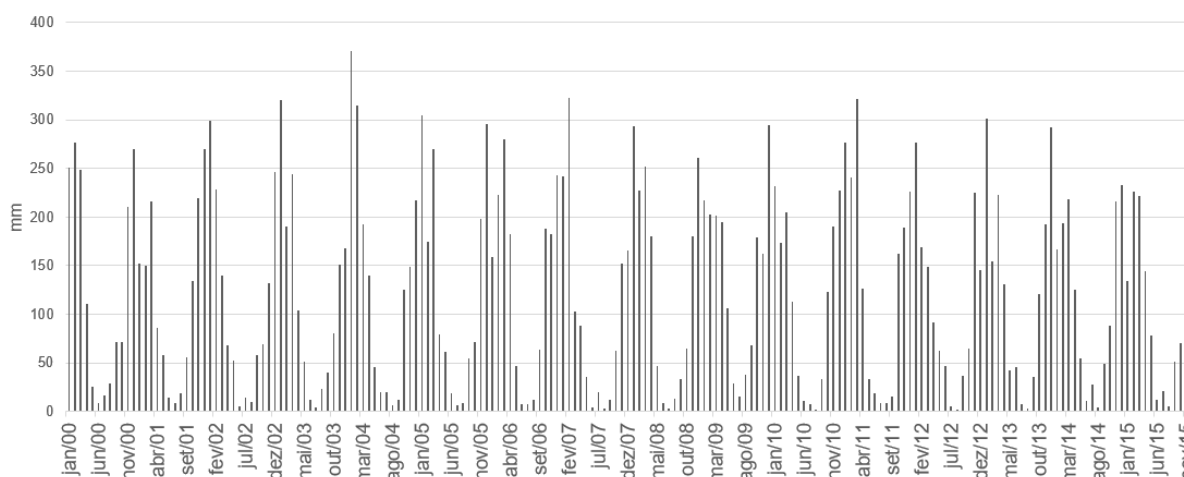


Figura 4: Precipitação mensal para o Cerrado 2000-2015

Os índices de precipitação anuais acumulados indicam variabilidades acima e abaixo da média da precipitação acumulada dos 16 anos no período de estudo, , que é de 1458,32 mm. Os anos 2000 (1586,96 mm), 2004 (1610,22 mm), 2005 (1542,67 mm), 2006 (1594,20 mm), 2008 (1562,82 mm), 2009 (1706,34 mm), 2011 (1625,81 mm) e 2013 (1547,53 mm) foram os anos que representaram precipitação acima da média do total analisado. Os anos abaixo da média foram 2001 (1380,72 mm), 2002 (1324,14 mm), 2003 (1387,61 mm), 2007 (1208,81 mm), 2010 (1352,60 mm), 2012 (1272,60 mm), 2014 (1384,52 mm) e 2015 (1245,55 mm). Os anos de 2007 e 2009

representaram, respectivamente, o ano de menor e maior índice de precipitação acumulada, figura 6

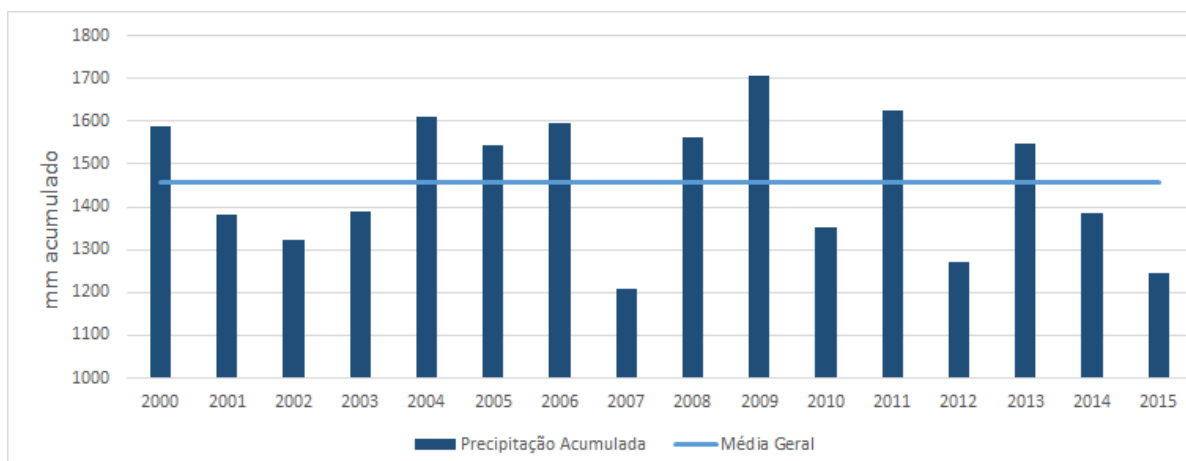


Figura 5: Precipitação anual acumulada para o Cerrado 2000-2015

Para alguns anos com precipitação acima da média, como 2000, 2004, 2005, 2006, 2009 e 2011 a precipitação acumulada predominou em regiões do norte brasileiro como Tocantins, região nordeste como Maranhão, região centro-oeste como Mato Grosso e áreas do centro de Goiás e mais ao sul do Cerrado, em Minas Gerais e São Paulo.

Para os anos com índices pluviométricos mais baixos, como o caso de 2001, 2003, 2007, 2012, 2014 e 2015, nota-se que especialmente a menor taxa de precipitação prevaleceu nas regiões do cerrado do norte de Minas Gerais, região oeste da Bahia e para a porção de Cerrado na região sul do estado do Piauí, figura 7 e 8.

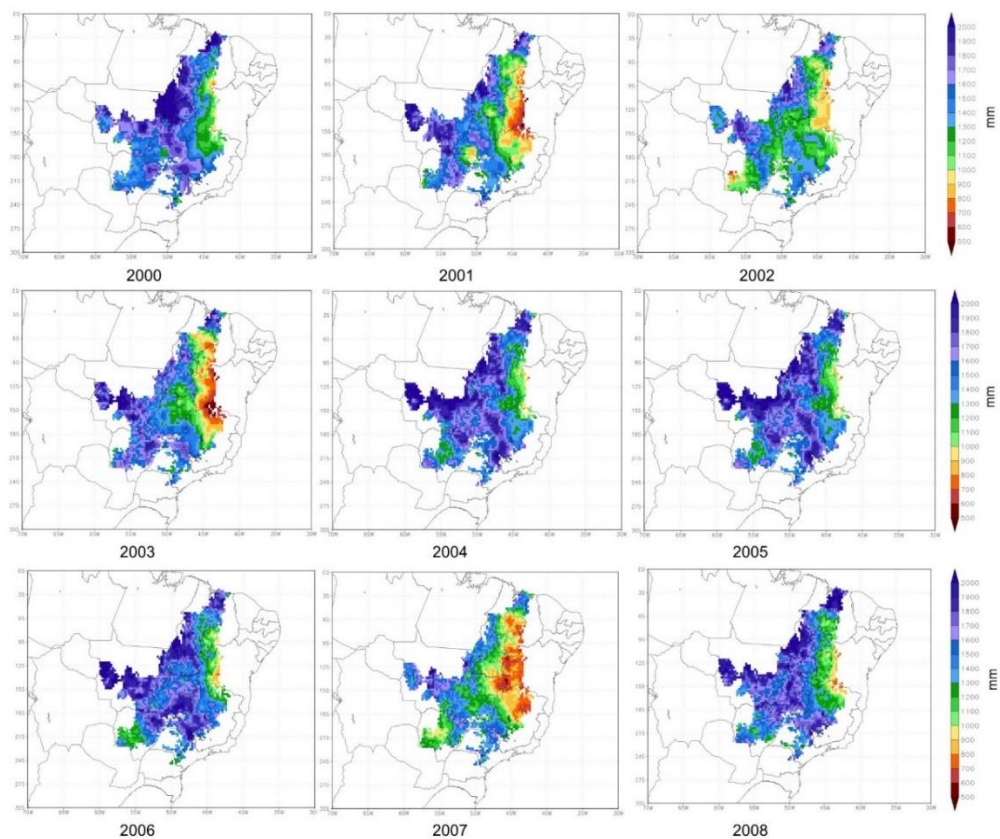


Figura 6: Precipitação para área do cerrado 2000-2008

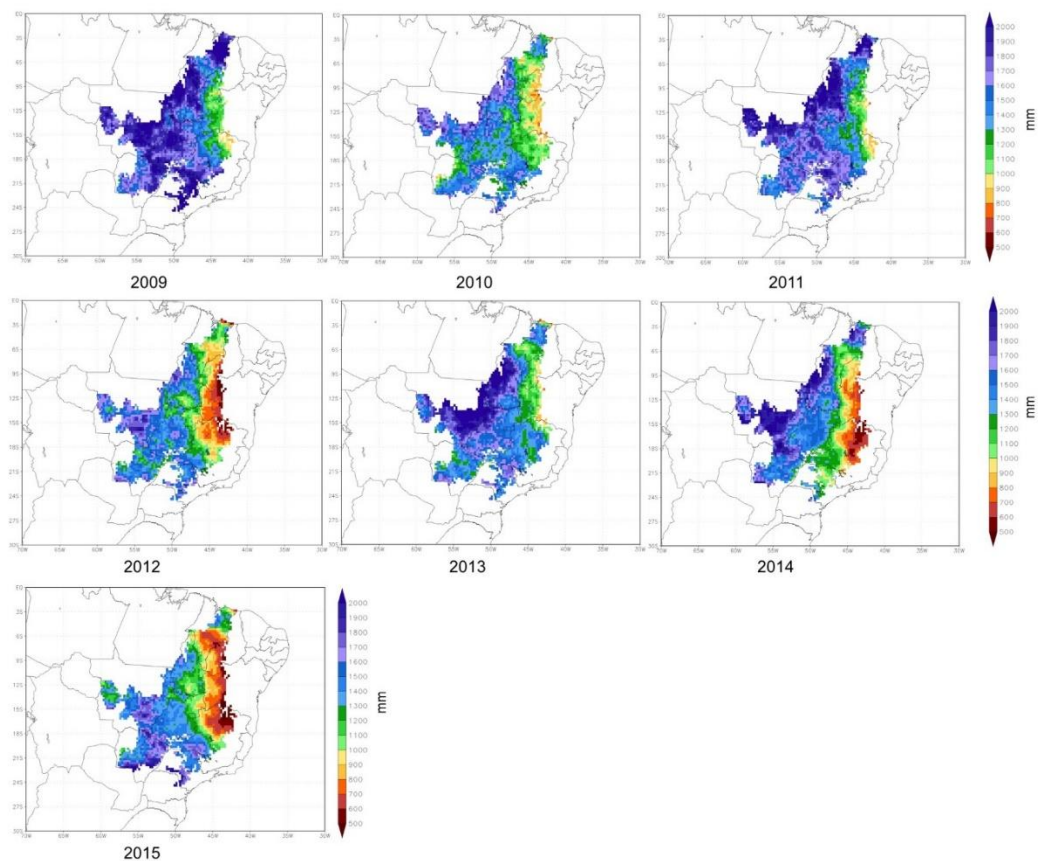


Figura 7: Precipitação para a área do Cerrado 2009-2015

6.2 Análise do NDVI para o Cerrado

Os índices de Vegetação por Diferença Normalizada para o cerrado apresentaram uma variabilidade anual, tendo índices acima e abaixo da média dos 16 anos. Os anos de 2001, 2006, 2009, 2011 e 2013 apresentaram NDVI mais elevado que a média total dos 16 anos estudados, enquanto que 2000, 2002, 2003, 2007, 2008, 2010, 2012, 2014 e 2015 foram os anos que apresentaram valores abaixo da média. Os anos de 2004 e 2005 se mantiveram na média dos anos analisados, conforme Figura 9.

Assim como os dados anuais de precipitação, para o NDVI do cerrado os anos de 2007 e 2009 corresponderam respectivamente com o ano de menor e maior índice para o NDVI.

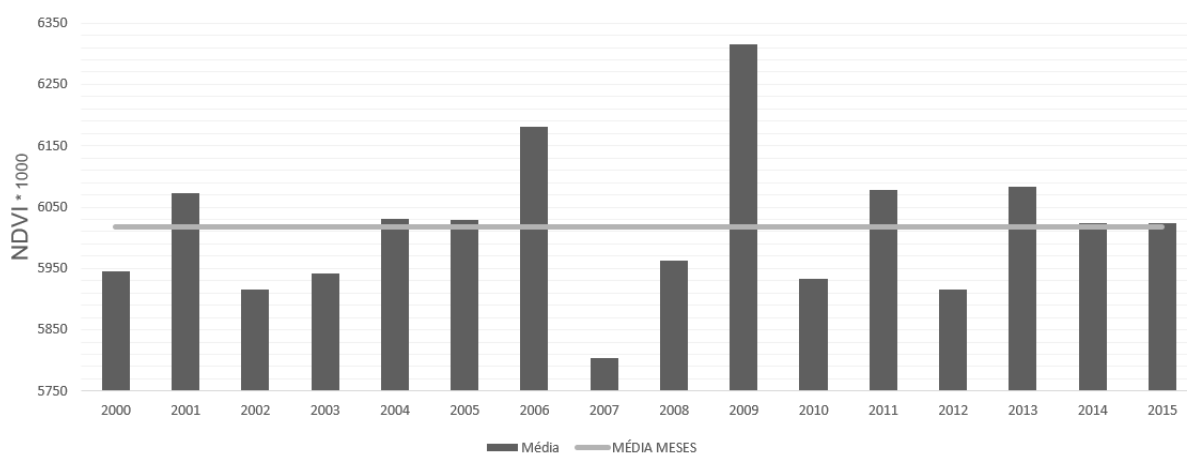


Figura 8: Média Anual do NDVI para o Cerrado 2000-2015

A Figura 10 mostra a média total da variabilidade espacial da cobertura da vegetação dos 16 anos analisados da área do Cerrado Brasileiro. Áreas na divisa do estado de Tocantins com Bahia, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e a maioria do estado de Minas Gerais apresentaram baixos valores médios de NDVI para o período compreendido entre 2000-2015, conforme Figura 10. Os índices médios de NDVI mais elevados no Cerrado para os 16 anos analisados estão localizados na faixa central de Mato Grosso do Sul, no limite com o bioma Pantanal, no estado do

Maranhão, com exceção da região sul, e em uma pequena parte da região centro-oeste de Mato Grosso, fazendo limite com o bioma Amazônia.

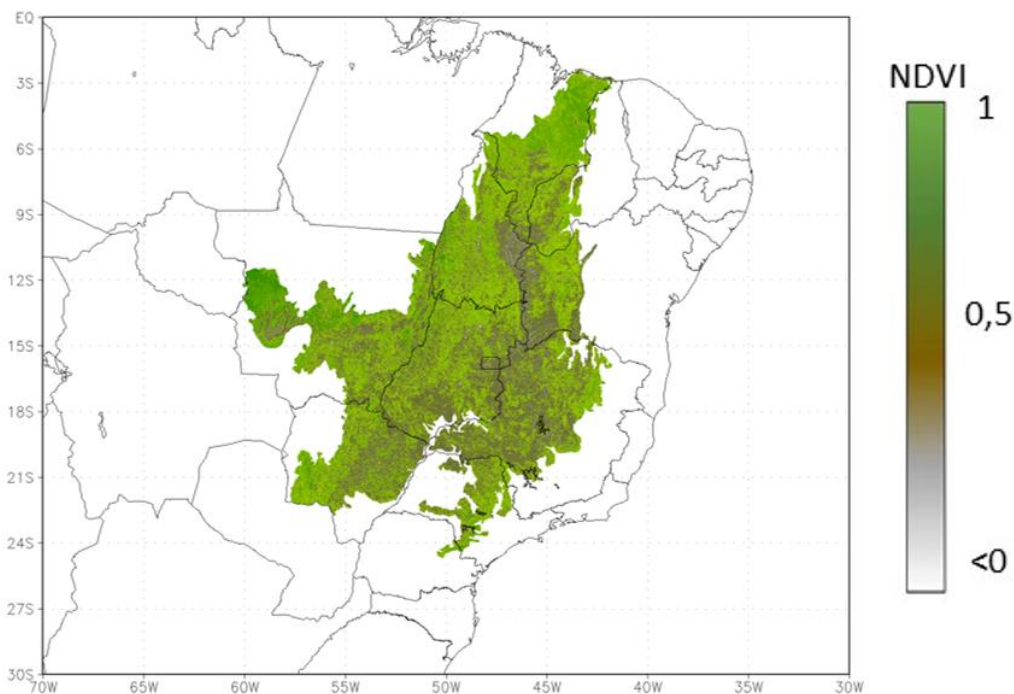


Figura 9: Média do NDVI (2000-2015) para o Cerrado

Em relação às médias anuais de NDVI para o bioma Cerrado, os anos de 2000, 2002, 2007, 2008, 2010, 2014 e 2015 representaram os menores valores de NDVI em todo o bioma, com destaque para o ano de 2007 com o menor índice total de NDVI e também com grande distribuição do baixo vigor vegetativo pela área do estudo. Os anos de 2001, 2006, 2009 e 2013 apresentaram os maiores valores de NDVI no bioma Cerrado, com destaque para o ano de 2009 com o valor mais alto no total para a área de estudo. Figura 11 e 12 ilustram o NDVI para o Cerrado entre 200-2015

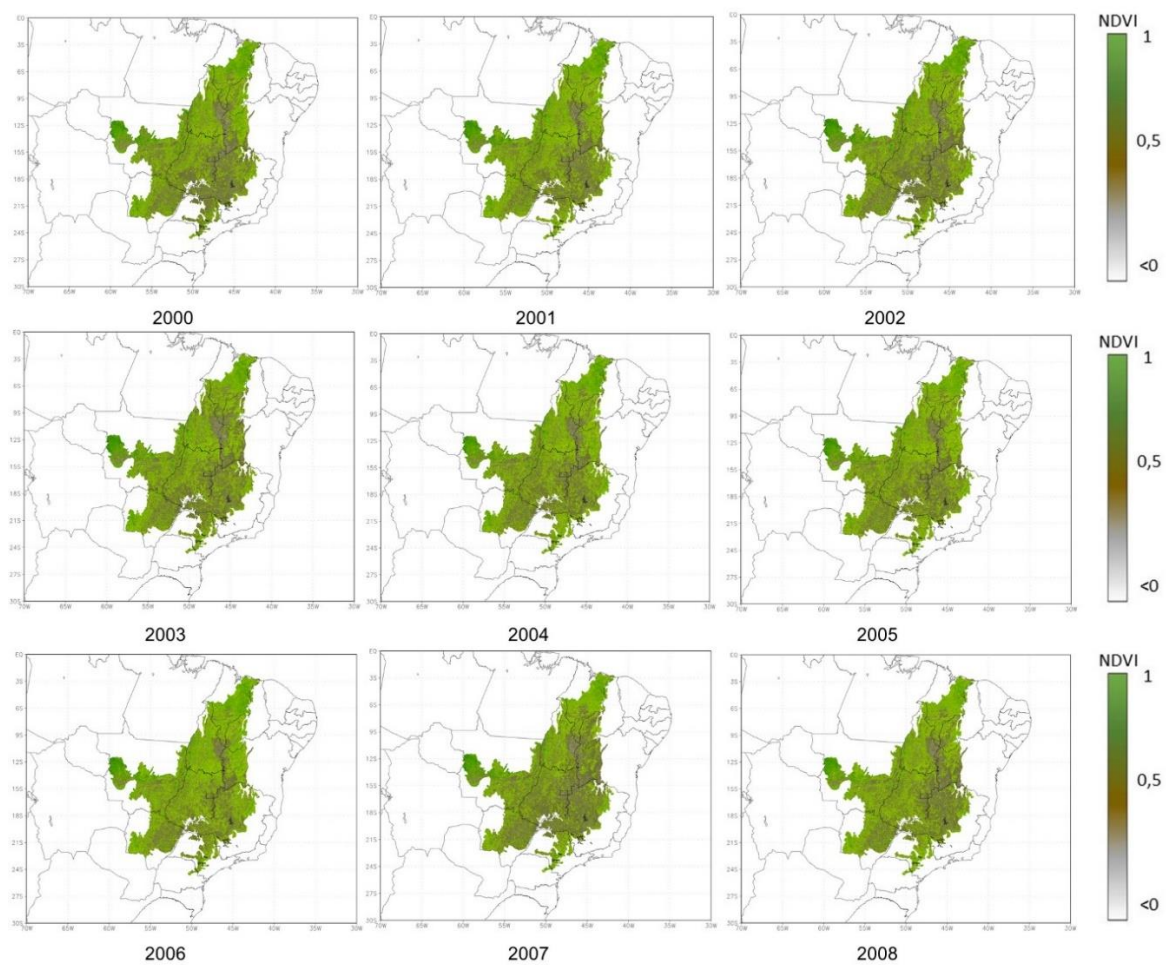


Figura 100: NDVI anual para a área do Cerrado 2000-2008

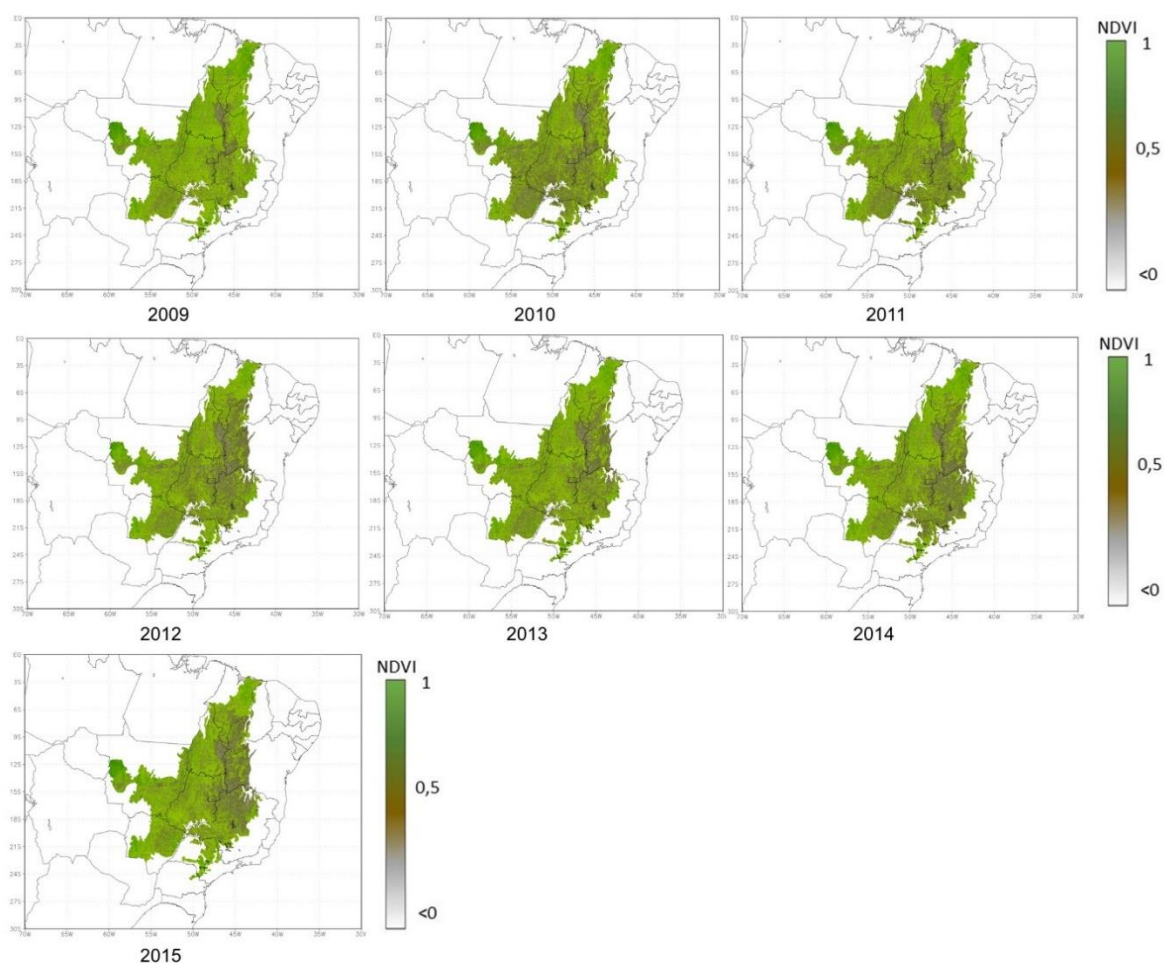


Figura 11: NDVI anual para a área do Cerrado 2009-2015

Em relação aos valores extremos de precipitação acumulada e distribuição da precipitação para a área, os anos de 2007 e 2009 também representaram os anos de menor e maior distribuição espacial do NDVI para a área do Cerrado. Todos os estados brasileiros com domínio do Cerrado apresentaram em 2007 baixos índices de NDVI, com exceção de parte do estado do Maranhão e de São Paulo, em que os baixos valores de NDVI se concentraram em pequenas áreas na região sul desses dois estados.

O ano de 2009, para todos os estados da área do Cerrado, o índice do NDVI apresentou valores mais elevados, principalmente na área como oeste do estado do Mato Grosso e Maranhão, sendo que os valores mais baixos de NDVI nesse ano se localizam entretanto pequenas porções do estado de Mato Grosso, na divisa dos estados Tocantins/Bahia e em grandes áreas do estado de Minas Gerais. A figura 3, representa a comparação entre os anos 2007 e 2009.

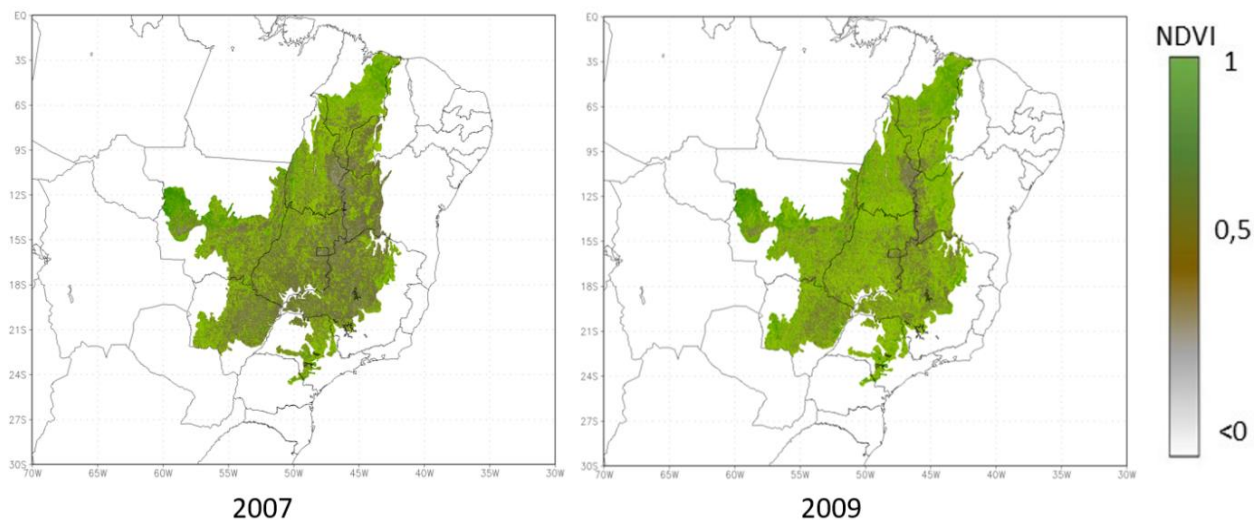


Figura 12: Valores extremos de NDVI para área do Cerrado em 2007 (menor índice) e 2009 (maior índice).

As Figuras 14 e 15 mostram as anomalias dos dados de NDVI, onde pode ser percebido a grande variabilidade que ocorre no vigor vegetativo entre os anos de estudo. Em relação às anomalias negativas de NDVI, destacam-se os anos de 2000, 2002, 2007, 2012 e 2015, sendo 2007 o ano com o menor índice de NDVI. O estado de Minas Gerais apresentou-se como uma das regiões de cerrado com mais anomalias negativas, especialmente nos anos de 2000 e 2007, assim como Goiás e Tocantins nos anos de 2002 e 2007, sendo que nesses anos citados os três estados abordados apresentaram anomalias negativas no vigor vegetativo em quase toda a sua extensão territorial.

Para as anomalias positivas, destacam-se os anos de 2001, 2006, 2009 com grande representatividade para a extensão do cerrado. Positivamente, as anomalias predominaram no oeste da Bahia e no sul do estado do Piauí.

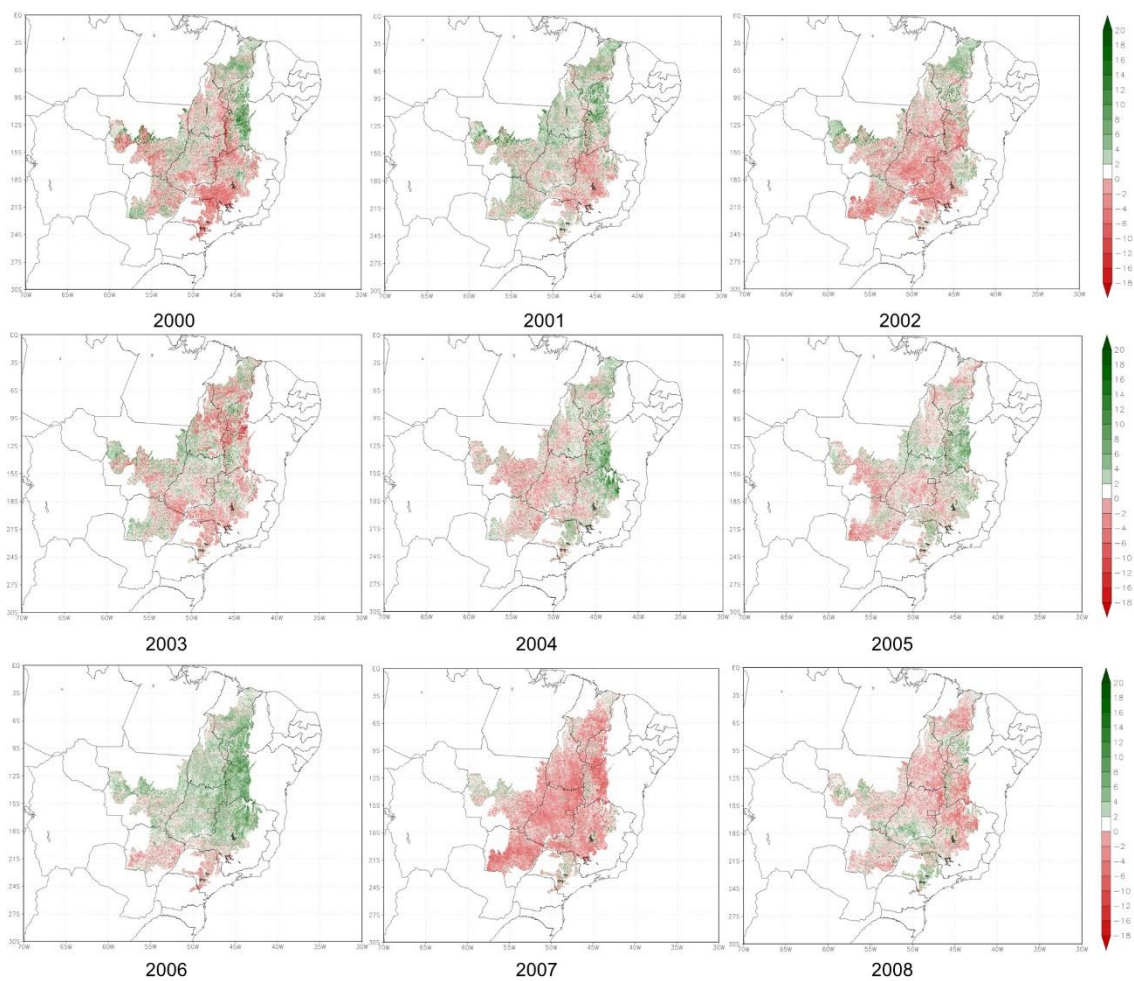


Figura 13: Anomalias do NDVI para área do Cerrado 2000-2008

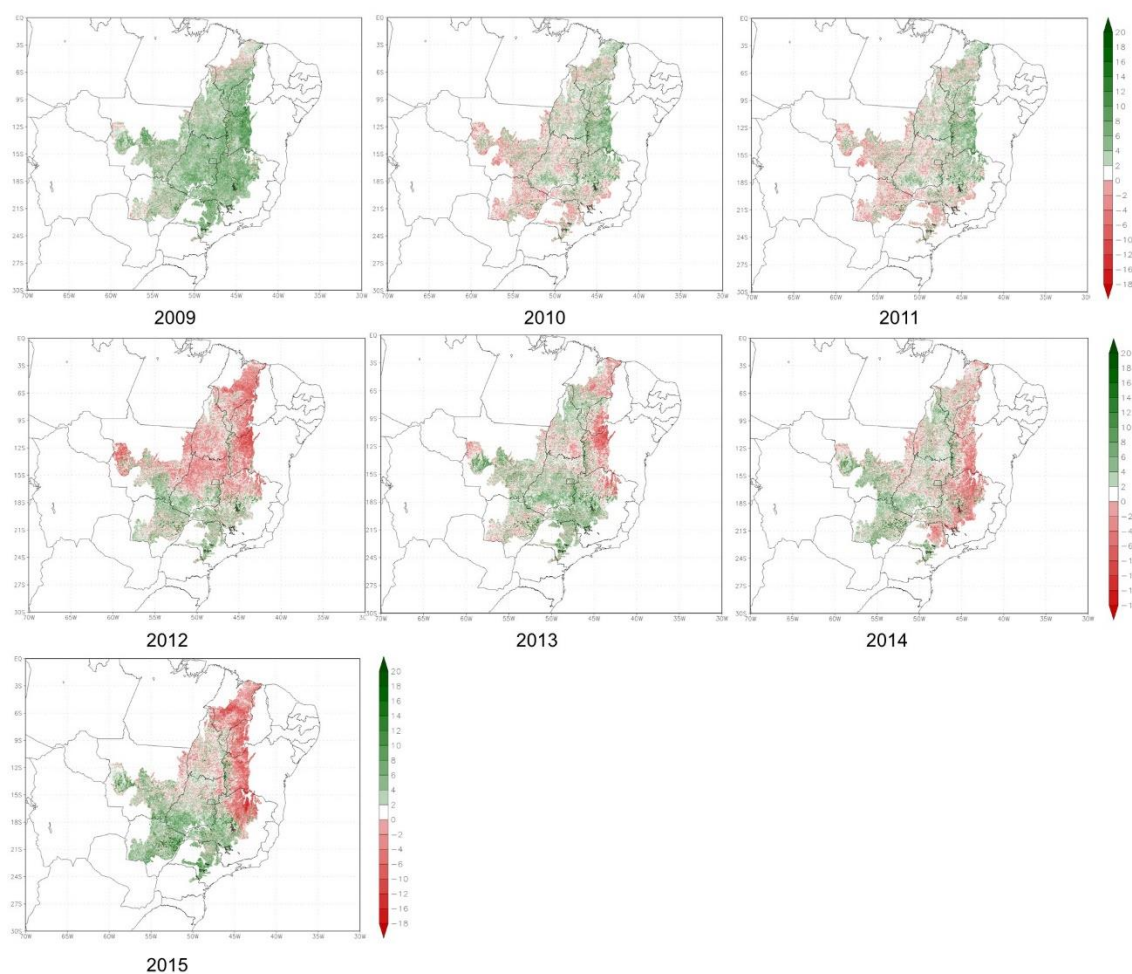


Figura 14: Anomalias do NDVI para área do Cerrado 2009-2015

Desta forma, destacam-se novamente os anos de 2007 e 2009 como os que apresentaram as anomalias negativas e positivas de NDVI, que de uma forma geral, espalham-se por todo o bioma Cerrado, conforme pode ser verificado na Figura 16.

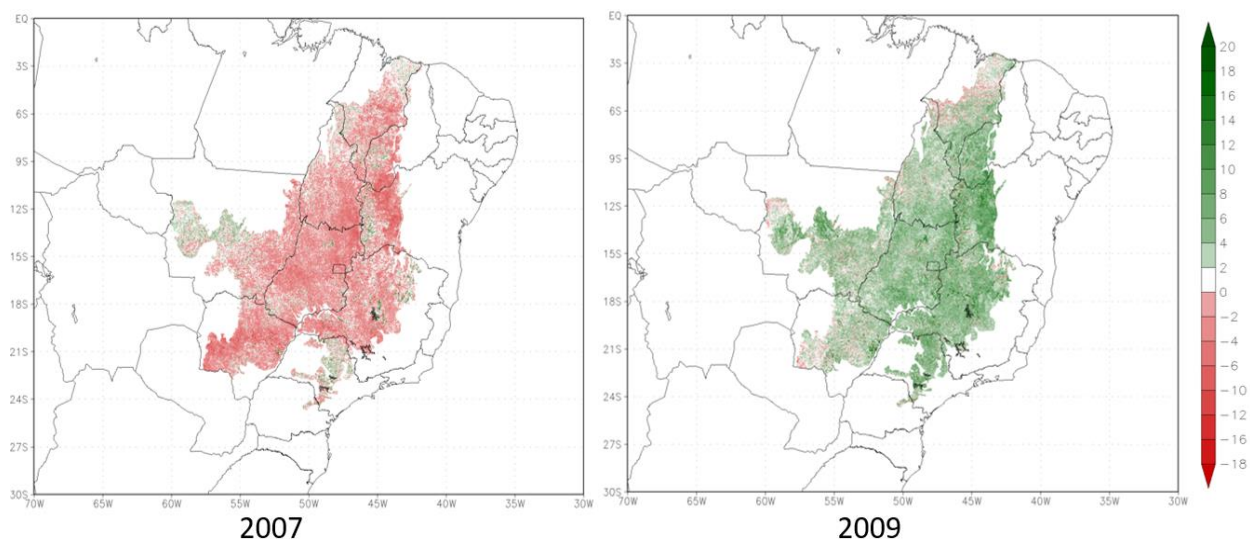


Figura 15: Anomalias do NDVI para área do Cerrado em 2007 e 2009

6.3 Relação entre os dados do TRMM e NDVI

Como já foi destacado, a partir dos dados mensais do TRMM foi possível compreender o período com os maiores e menores índices de precipitação para o Cerrado, que se estende dos meses de novembro a abril no período chuvoso e de junho a setembro marcando uma temporada de estiagem. Para o NDVI, os dados mensais para o período do estudo também indicam os meses com maiores e menores valores de vigor vegetativo, em que se percebe os meses de dezembro a junho como o período com os maiores índices de NDVI, enquanto que o período que apresenta os níveis mais baixos são indicados pelo intervalo entre os meses julho a novembro.

A diferença entre os dados dos dois produtos analisados é em média de um mês, com os dados pluviométricos com seu período de valores mais elevados iniciando no mês de novembro, enquanto que para o NDVI, os índices começam a aumentar no mês seguinte, em dezembro. Enquanto que o período de maior média dos dados de precipitação extraídos do TRMM corresponde aos meses de dezembro e fevereiro, para o NDVI, janeiro e fevereiro representam as maiores médias. A diferença no início e fim dos períodos das variáveis de precipitação e vegetação podem ser explicadas pelo tempo com que a cobertura vegetal do Cerrado leva para responder aos índices pluviométricos em toda sua extensão.

A partir da comparação mensal das variáveis precipitação e cobertura vegetal, também é notável o acompanhamento em que os dados do NDVI apresentam em

relação aos dados do TRMM, conforme pode ser visualizado na Figura 16. Enquanto os índices de precipitação extraídos do TRMM decaem pelos meses de estiagem, os valores de NDVI também declinam com diferença relativa de um mês.

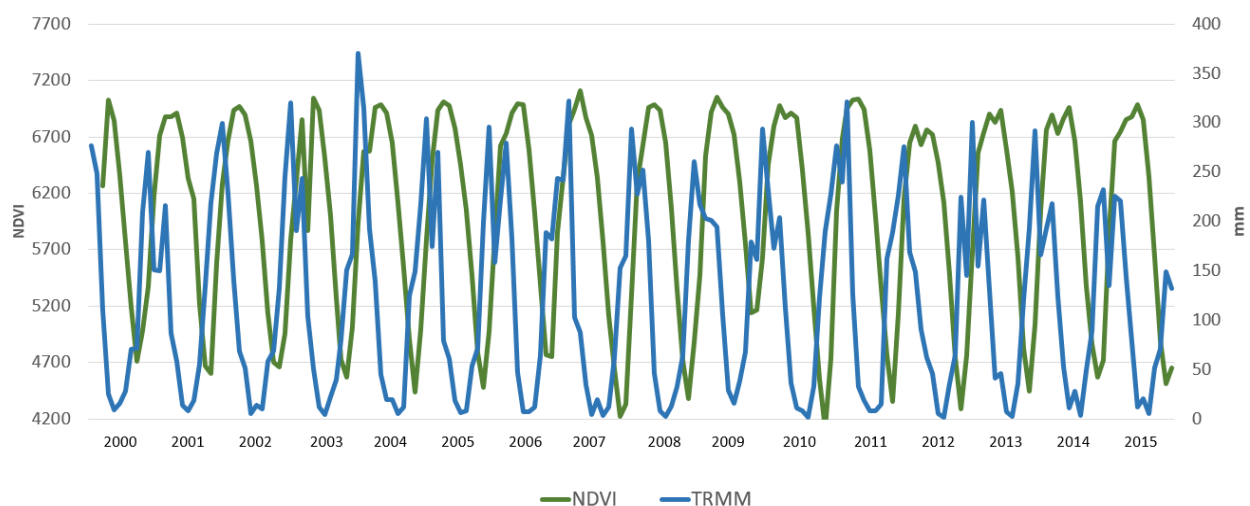


Figura 16: Dados do NDVI e TRMM mensais para o Cerrado de 2000-2015

Outro fator que indica a resposta da precipitação na cobertura vegetal do Cerrado pode ser indicada pela correlação linear entre os dois conjuntos de dados (TRMM e NDVI). Quando correlacionada mês a mês, o coeficiente de correlação indica um valor com pouca relação entre os dados, $r^2 = 0.41$, conforme pode ser visualizado na Figura 18. Quando os dados são analisados com uma defasagem temporal de um mês, a regressão linear apresenta uma grande diferença nos resultados, indicando um r^2 de 0.73, conforme pode ser visualizado na Figura 18. Ressalta-se que os valores de NDVI receberam um fator multiplicador de 10000 para facilitar na exibição dos fatores.

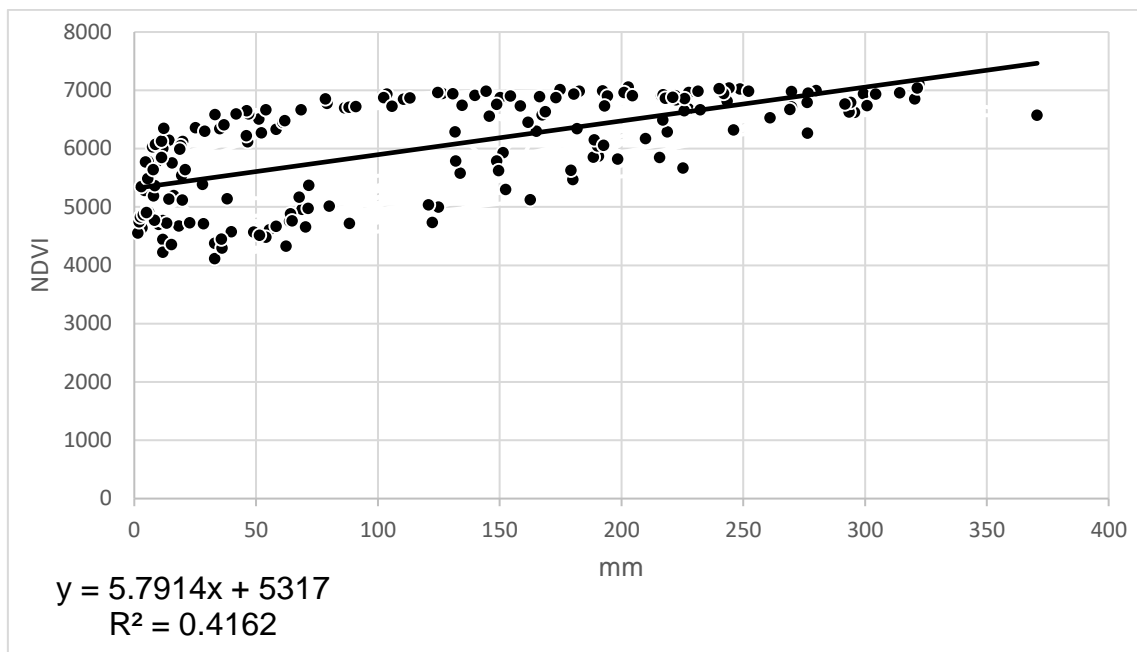


Figura 17: Regressão Linear entre dados do TRMM e NDVI mês a mês

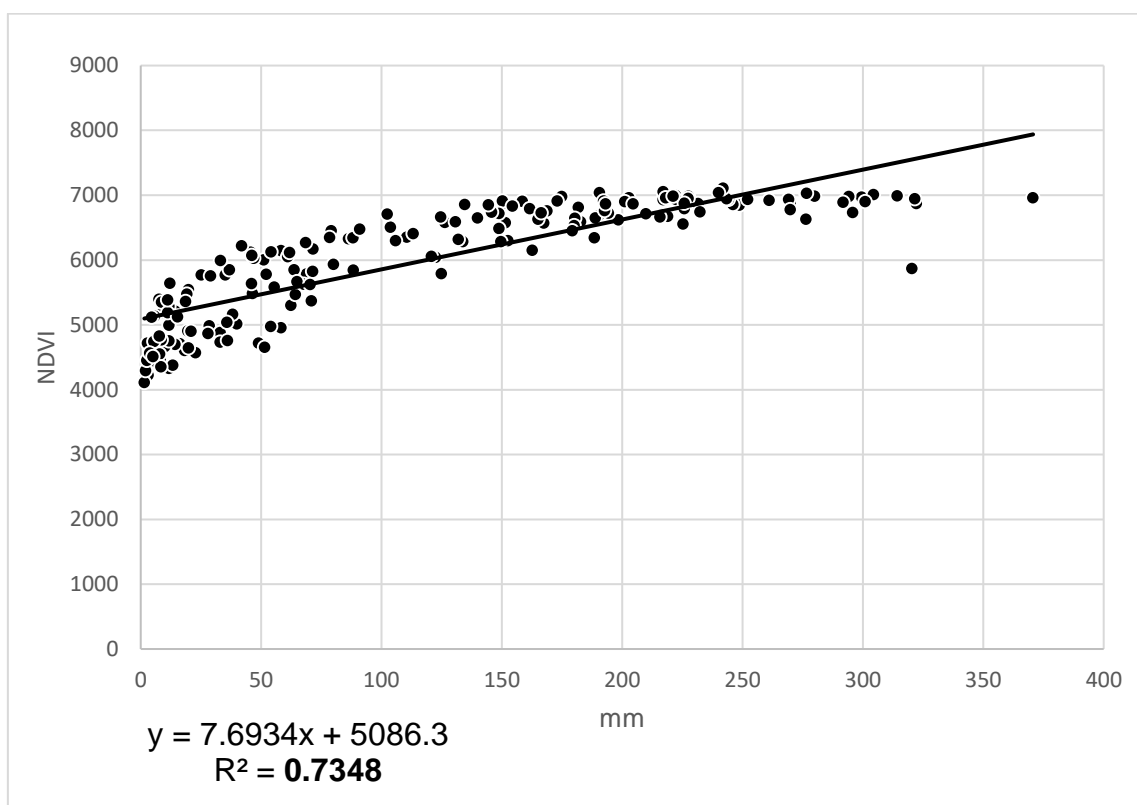


Figura 18: Regressão Linear entre dados do TRMM e NDVI com defasagem temporal de um mês.

Assim como as análises espaciais da precipitação e do NDVI realizados anteriormente, foi necessário um estudo espacial da correlação entre ambos os dados para o Cerrado, indicando o coeficiente de correlação linear por toda a extensão da

área. Primeiramente, em relação à média dos 16 anos, o coeficiente de correlação variou por toda a porção do cerrado, primeiramente com índices de baixa relação ao norte do Maranhão e ao oeste do Mato Grosso, variando o r^2 entre -0.4 a 0, conforme Figura 19. As melhores correlações ocorreram em grande extensão do estado de Goiás, indicando r^2 entre 0.7 a 1. Outras áreas como Tocantins, Minas Gerais e Bahia também apresentaram índices variados e bem correlacionados.

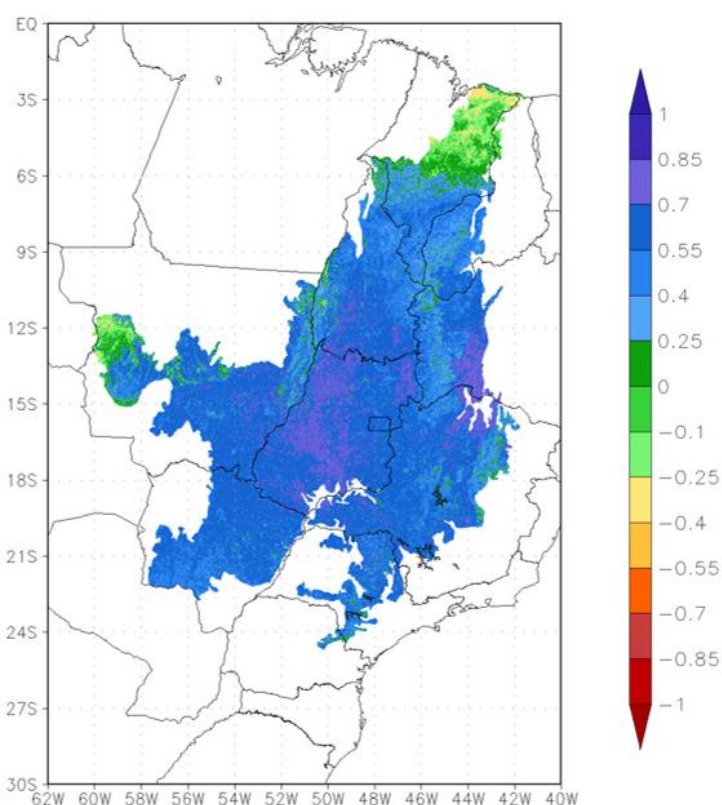


Figura19: Média da correlação entre os dados NDVI e TRMM

Analisando a correlação espacial anualmente no período do estudo, é notável a variabilidade entre a correlação entre os dados do TRMM e NDVI. Dentre elas, nota-se nos anos de 2000, 2001 e 2002 que algumas áreas apresentaram correlação negativa em regiões do Maranhão, assim como 2005, 2009 e 2013 apresentaram para a região de Cerrado do Maranhão r^2 não ultrapassando ao valor 0. O estado de Goiás, onde o bioma Cerrado está presente em maior parte, obteve valores altos de r^2 variando 0.7 a 1, especialmente nos anos de 2002, 2006, 2008 e 2010. Para região ao leste da Bahia, área de transição do bioma Cerrado para Caatinga, anos como

2011, 2012 e 2014 apresentaram índices mais elevados em relação aos demais anos, variando o r^2 de 0.85 a 1.

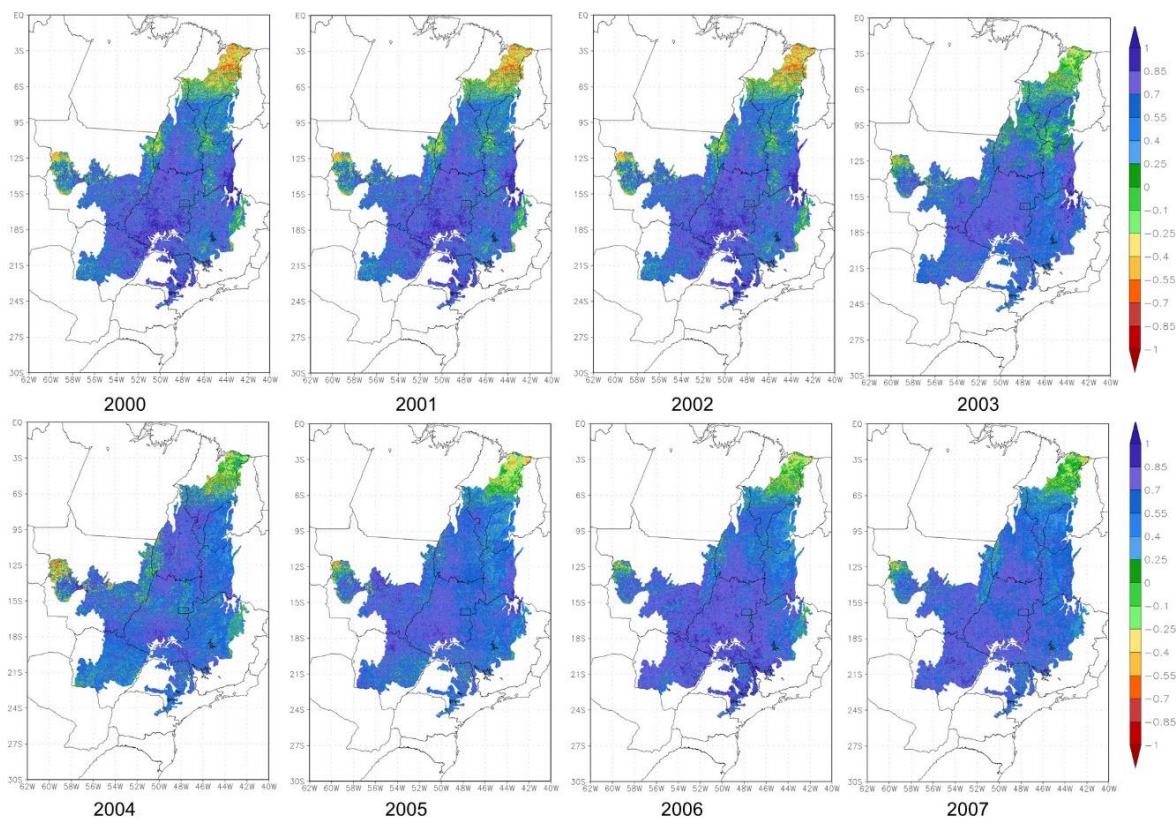


Figura20: Correlação entre os dados NDVI e TRMM 2000-2007

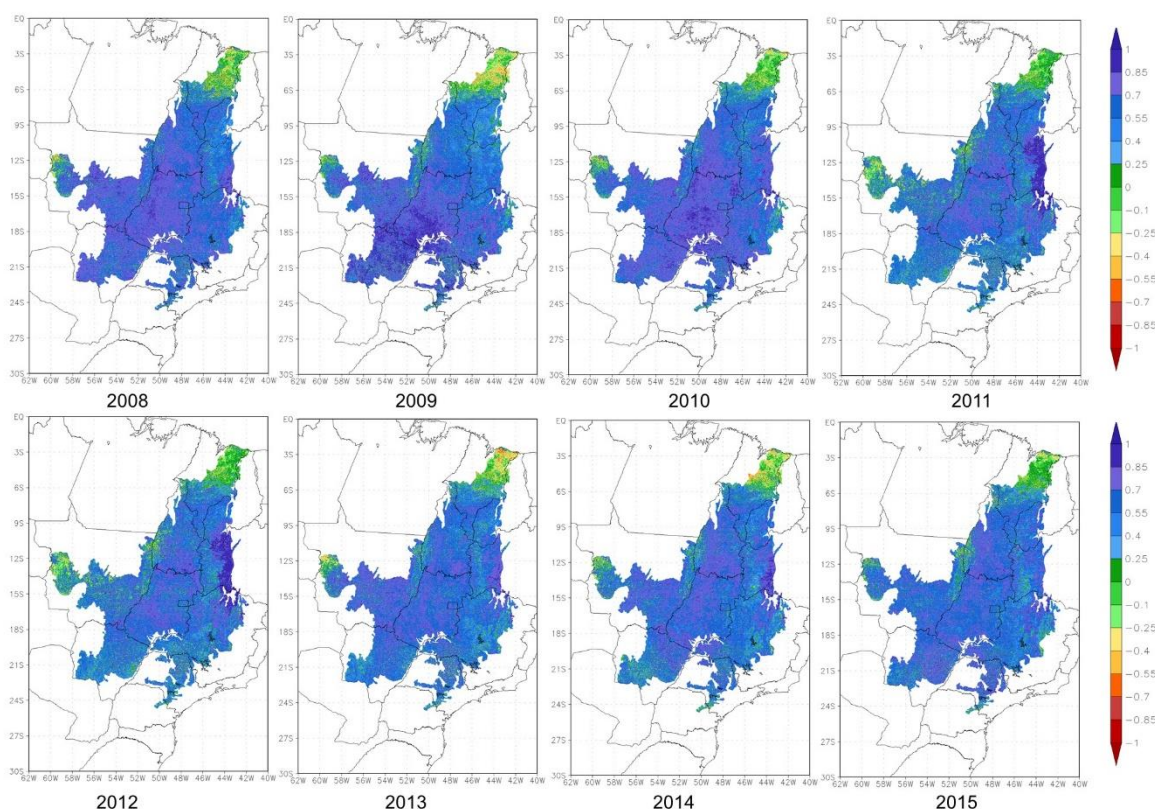


Figura 21: Correlação entre os dados NDVI e TRMM 2008-2015

Os anos de 2007 e 2009 representaram, respectivamente, os anos com os menores e os maiores índices de correlação espacial. O ano de 2007 apresentou poucas áreas com baixa correlação em relação a 2009, sendo um ano com as variáveis bem correlacionadas nos estados de Goiás, Minas Gerais, Tocantins, Bahia e Mato Grosso do Sul.

O ano de 2009 indicou boa correlação nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás, chegando a superar ao ano de 2007 nessas áreas, porém para a extensão do Cerrado, o ano 2009 teve mais áreas com menores correlações quando comparada com o ano 2007. Tal fator em que o ano com os índices mais baixos de precipitação, ser melhor relacionado com os dados do NDVI, pode indicar uma reposta mais rápida da cobertura vegetal á períodos mais secos como foi o ano de 2007.

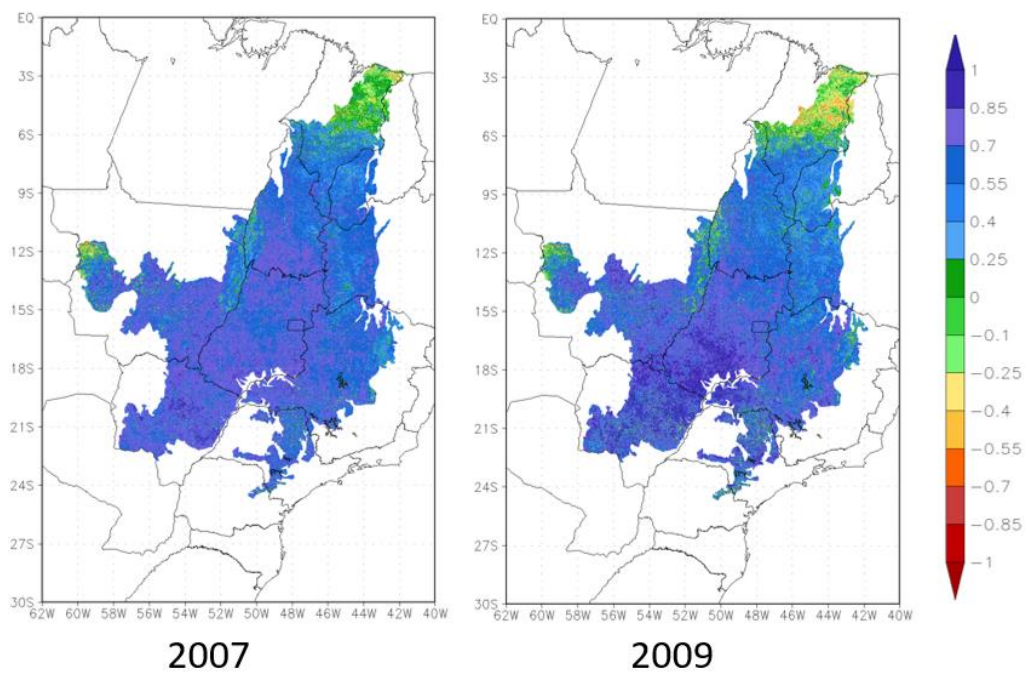


Figura 22: Correlação entre os dados NDVI e TRMM em 2007 e 2009

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do trabalho foi possível primeiramente compreender como foi o comportamento da precipitação no bioma Cerrado. A partir das primeiras análises, foi destacado os anos 2007 e 2009 como os extremos mínimos e máximos dos índices de precipitação para a área de estudo. Para os índices de NDVI, os mesmos anos se repetiram, notando a primeira relação entre as variantes do estudo.

Especialmente, em toda a extensão do Cerrado, foi notável a grande variabilidade para os diversos estados brasileiros em que o bioma se estende, dando grande atenção para áreas dos estados do Maranhão e Mato Grosso, em que o NDVI apresentou grande variabilidade, assim como o estado de Goiás. Os estudos sobre as anomalias da precipitação permitiram uma melhor interpretação das áreas em que a precipitação e os índices de NDVI apresentaram-se em níveis abaixo ou acima dos anos estudados, tornando claro as áreas de valores extremos.

Para a correlação entre os valores dos produtos, foi notável que a precipitação influencia diretamente na cobertura vegetal do Cerrado, onde a correlação entre o TRMM e NDVI era aprimorada quando os dados eram analisados com um mês de diferença, podendo desta forma destacar que a cobertura vegetal necessita de um tempo para responder à atuação da precipitação.

Os produtos orbitais foram essenciais na obtenção dos resultados do trabalho, pois o sensoriamento remoto fornece os dados necessários de forma gratuita, tornando possível análises temporais e espaciais em grande escala, como a compreensão da dinâmica da cobertura vegetal e da variação da precipitação por toda a extensão do bioma Cerrado, que possui extensão geográfica extensa. Desta forma, os resultados deste trabalho fornecem dados importantes para diversas áreas do conhecimento, impulsionando a obtenção de mais pesquisas visando compreensão das dinâmicas vegetais e climatológicas do Cerrado, afim de preservá-lo e conservá-lo. Sendo então de grande importância os estudos da dinâmica climatológica para uma região de manutenções de vegetação solo e ciclos hidrológicos como é o bioma do Cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ateliê Editorial, 2003.

ASDAK, C., JARVIS, P. G., VAN GARDINGEN, P., et al. **Rainfall interception loss in unlogged and logged forest areas of Central Kalimantan, Indonesia**. *Journal of Hydrology*, v. 206, p.237 – 244, 1998.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1988. 332 p

BACK, A. J. **Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALA, R. C. S. **Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação**. *Revista brasileira de Meteorologia*. São Paulo, v. 24, n. 2, p. 125-134, June 2007

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALA, R. C. S . **Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região do cerrado usando índices espectrais de vegetação**. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 2007. p. 3747-3754.

BIEDERMAN, Joseph et al. **Correspondence between DSM-III-R and DSM-IV attention-deficit/hyperactivity disorder**. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, v. 36, n. 12, p. 1682-1687, 1997.

BITENCOURT MD, MESQUITA JR. HN, MANTOVANI W, BATALHA MA; PIVELLO VR. 1997. **Identificação de fisionomias de Cerrado com imagem índice de vegetação**. *Contribuição ao Conhecimento Ecológico do Cerrado*, 1, 1997, Brasília. *Anais do Congresso Brasileiro de Ecologia Brasília: Universidade de Brasília, Dep. de Ecologia*, p. 316-320.

CALDER, W. A. **On the temperature-dependency of optimal nectar concentrations for birds**. *Journal of Theoretical Biology*, v. 78, n. 2, p. 185-196, 1979.

CASTRO, L. H. R., MOREIRA, A. M., & Assad, E. D. (1994). **Definition and regionalization of pluviometric patterns in the Brazilian Cerrado**. In E. D. Assad (Ed.), *Chuva nos Cerrados: Análise e espacialização* (pg. 13 – 23). Brasília: Embrapa Cerrados,

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os processos de desertificação. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, 2005. p. 7-14.

COUTINHO, L. M. **Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado**. In: GOLDHAMMER, J.G. *Fire in the Tropical Biota*, Springer-Verlag, 82–105, 1978.

CHRISTOFOLETTI, A. **Implicações climáticas relacionadas com as mudanças climáticas globais**. Boletim de Geografia Teorética. Rio Claro, vol. 23, n. 45-46, p. 1831, 1993.

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

FENG, X., PORPORATO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I.: **Changes in rainfall seasonality in the tropics**, *Nature Climate Change*, 3, 811– 815, 2013.

FERREIRA, E. A. B. et al. **Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1625-1635, nov./dez. 2007.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R.; PECCININI, A. A.. **Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do bioma cerrado**. *Rev. Bras. Geof.*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 251-260, junho 2006.

GOOD, S. P.; CAYLOR, K. K.: **Climatological determinants of woody cover in Africa**, *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 108, 4902–4907, 2011.

HEIBLUM, R. H.; KOREN, I.; ALTARATZ, O. **Analyzing coastal precipitation using TRMM observations**. Publicado em *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*: 23 May 2011

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

LIEBMANN, Brant et al. **Onset and end of the rainy season in South America in observations and the ECHAM 4.5 atmospheric general circulation model**. *Journal of Climate*, v. 20, n. 10, p. 2037-2050, 2007.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVAO, L. S. **Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA**. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 295-305, Apr. 2007.

DALLA NORA, E. L.; MARTINI, D. Z. **Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA**. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V. 6 N. 1 jan./Abr. 2010

KARASEVA, M. O.; PRAKASH, Satya; GAIROLA, R. M. **Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements**

over Kyrgyzstan. Theoretical and Applied Climatology, v. 108, n. 1-2, p. 147-157, 2011.

MONTEIRO, J. M. G. **Fluxo de CO₂ em um Cerrado sensu stricto.** 1995. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília. 1995

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da vegetação.** 2.edição São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176 p.

PEREIRA, G. **Impactos das atualizações do uso e cobertura da terra e das características físico-químicas da vegetação na América do Sul em modelos climáticos.** 2012. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ROUSE, J. W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.** NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symposium, v. 1, Sect. A, p 309-317. 1974.

ROUSVEL S., Armand K., Andre L., Tengelen S., Alain T. S. and Armel K., **“Comparison between Vegetation and Rainfall of Bioclimatic Ecoregions in Central Africa,”** Atmosphere, vol. 4, pp. 411-427, doi:10.3390/atmos4040411, 2013.

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

SANO, Edson Eyji et al. **Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat ETM+.** Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, Natal, p. 1199-1206, 2009.

SELLERS, P. J. et al. **Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere.** Science, v. 275, n. 5299, p. 502-509, 1997.

SHUKLA, Jagadish et al. **Amazon deforestation and climate change.** Science (Washington), v. 247, n. 4948, p. 1322-1325, 1990.

SMITH, Thomas M. et al. **Improved reconstruction of global precipitation since 1900.** Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 29, n. 10, p. 1505-1517, 2012.

SIMMONS, A. J., 1982: **The forcing of stationary wave motion by tropical diabatic heating.** Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 108, 503–534.

SHIMABUKURO, Y. E.; RUDORFF, B. FT. **Dados do sensor MODIS para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra.** Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, p. 11-15, 2006.

SOUZA, B. I.; SILANS, A. M. B. P.; SANTOS, J. B. **Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 8, n. 2-3, 2004. p. 292-298.

STAVER, A. C., ARCHIBALD, S., AND LEVIN, S. A.: **The global extent and determinants of savanna and forest as alternative biome states**, Science, 334, 230–232, 2011

TRENBERTH, K. E.; FASULLO, J. T.; KIEHL, J. **Earth's global energy budget**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 90, n. 3, p. 311, 2009.

TWARDOSZ, R.; CEBULSKA, M.; WALANUS, A. **Anomalously heavy monthly and seasonal precipitation in the Polish Carpathian Mountains and their foreland during the years 1881–2010**. Theoretical and Applied Climatology, p. 1-15, 2015.

WANDERLEY, Henderson S. et al. **Precipitation variability in the 'Sertão' of San Francisco in the State of Alagoas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 7, p. 790-795, 2013.

YILMAZ, K. K. et al. **Evaluation of a satellite-based global flood monitoring system**. International Journal of Remote Sensing, v. 31, n. 14, p. 3763-3782, 2010.