



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

Coordenadoria do Curso de Geografia

**A VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E SUA RELAÇÃO
COM AS RESPOSTAS FENOLÓGICAS DA VEGETAÇÃO**

Thainne Eve Ribeiro Lima

**São João Del Rei – MG
Novembro de 2016**

Thainne Eve Ribeiro Lima

**A VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E SUA RELAÇÃO
COM AS RESPOSTAS FENOLÓGICAS DA VEGETAÇÃO**

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso
de Geografia da Universidade Federal de São João
Del Rei, como requisito parcial para a obtenção do
grau de bacharel em Geografia

Orientador (es): Prof. Dr. Gabriel Pereira
Prof. Dr. Márcio Roberto Toledo

São João Del Rei – MG
Novembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente a Deus pela sabedoria dada a qual me permite diariamente distinguir o certo do errado e a assimilar os conhecimentos que a mim são passados e, ainda, por ter sido meu refúgio e minha força nas horas de desânimo e meu amigo nas horas de graças e alegrias.

Também expresso minha imensa gratidão:

Aos meus pais que sempre me deram apoio incondicional em todas as minhas escolhas, de modo especial à minha mãe que tem sido a minha mais fiel cúmplice durante toda a vida e o meu maior orgulho e exemplo de mulher. Espero retribuir tudo que vocês fazem por mim.

Ao meu professor e orientador Gabriel Pereira pela oportunidade de trabalhar com uma pessoa tão sábia e competente; pela paciência de sempre, pelos conhecimentos partilhados, pela amizade, pelas palavras motivacionais e, principalmente, pela confiança.

Ao professor Márcio Toledo por ter me acolhido na ausência de meu orientador; pela paciência, amizade e pelos grandes conhecimentos partilhados durante toda a graduação.

À Dr.^a Francielle Cardozo, por ter participado da minha banca e por sempre ser tão acolhedora e paciente.

Aos meus amigos de laboratório, os queridos “Jacus”, de modo especial ao meu amigo Julio, que sempre me ajudou na obtenção dos dados de satélite e me auxiliou no manuseio dos mesmos; pela amizade de sempre e por ter me proporcionado momentos de muita alegria, arrancando de mim grandes risadas.

Aos meus colegas de sala, especialmente ao Thiago, Helton, Xisto e Isis, pelos quais tenho grande apreço, pelo companheirismo nesses quatro anos e por terem compartilhado momentos de grande alegria.

A todos os meus professores por terem sido grandes mestres e por terem compartilhado grandes momentos e partilhado seus conhecimentos da melhor maneira possível.

Aos meus amados amigos que sempre me apoiaram, me confortaram e me aturaram nos momentos de mau-humor. Por sempre terem as palavras certas nas horas certas.

Por fim, gratidão a todos que direta ou indiretamente contribuíram de forma positiva para que esta conquista acontecesse e que entraram na minha vida trazendo positividade e grandes ensinamentos.

RESUMO

O clima assume um papel determinante e influenciador na disseminação da vegetação na superfície terrestre. A precipitação, por sua vez, uma de suas principais variáveis, é a principal responsável pela caracterização do clima de uma determinada região e influencia direta ou indiretamente nos processos naturais, como na fenologia das plantas. Desta forma, conhecer seus padrões de variação é de grande importância pois auxilia na compreensão da dinâmica de crescimento e desenvolvimento das plantas e, ainda, na averiguação das densidades vegetais e de suas distribuições na superfície. Nesta perspectiva, objetivou-se, neste estudo, explorar as relações entre os padrões de variação da precipitação, em que seus dados foram obtidos através do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), e as respostas fenológicas de seis tipos de vegetação, a partir de dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) ou *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que possibilita a análise da densidade das coberturas vegetais, obtidos pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Aqua e Terra, ambos pertencentes à *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Com a obtenção dos dados, fez-se os processamentos dos mesmos nos softwares *MODIS Reprojection Tools* (MRT), *Environment for Visualising Images* (ENVI) e *Grid Analysis and Display System* (GrADS) com a finalidade de gerar dados de fácil manuseio para uma melhor manipulação, organização e análise dos mesmos em outras plataformas, como na *Interface Description Language* (IDL), que originou, através da *Transformada Wavelet* (TM), séries temporais que possibilitaram a comparação, a análise, a escala temporal e a frequência das variações dos valores mensais da precipitação e do IVDN. A partir disso, constatou-se que os dois índices apresentam consonância em suas variabilidades, mas que a precipitação não é o único fator que determina e influencia diretamente as respostas fenológicas, observadas a partir da análise das respostas do NDVI.

Palavras-chave: Variabilidade da Precipitação; Respostas Fenológicas das Plantas; NDVI; TRMM; Transformada *Wavelet*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro de reflectância de uma folha verde saudável	5
Figura 2: Localização da área de estudo – São João Del Rei.....	12
Figura 3: Esquema da aquisição de dados dos sensores: imageador de micro-ondas (TMI); escaneador do visível e infravermelho (VIRS); radar de precipitação (PR); à bordo do satélite TRMM.....	13
Figura 4: Fluxograma dos procedimentos metodológicos	16
Figura 5: Variabilidade Mensal da Precipitação em São João Del Rei, no período de 2000 a 2015	17
Figura 6: Precipitação Acumulada em São João Del Rei no período de 2000 a 2015.....	17
Figura 7: Série Temporal da Precipitação obtida através da Transformada Wavelet	18
Figura 8: Variações temporais da precipitação observadas a partir da Tranformada Wavelet em São João Del Rei no período analisado, para: a) Variação 2006-2007; b) Variação 2008- 2010; c) Variação 2010-2012	19
Figura 9: Variabilidade da Precipitação e do NDVI, no período de 2000 a 2015, em São João Del Rei, para: a) Vegetação de Mata Atlântica; b) Campo Limpo; c) Plantação Agrícola; d) Plantação de Eucalipto; e) Cerrado; f) Mata Ciliar	21
Figura 10: Série Temporal do NDVI obtida através da Transformada Wavelet para a Vegetação de Mata Atlântica.....	22
Figura 11: Série temporal do NDVI obtida através da Transformada Wavelet para vegetação de Campo Limpo	23
Figura 12: Séries temporais do NDVI obtidas através da Transformada Wavelet para Plantação Agrícola e Plantação de Eucalipto	24
Figura 13: Séries temporais do NDVI obtidas através da Transformada Wavelet para vegetação de Cerrado.....	25
Figura 14: Séries temporais do NDVI obtidas através da Transformada Wavelet para vegetação de Mata Ciliar	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA.....	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1. Objetivos específicos.....	3
4. REFERENCIAL TEÓRICO	3
4.1. Tempo e Clima	3
4.2. Elementos Climáticos:.....	4
4.2.1. <i>Radiação Solar</i> :	4
4.2.1.1. Temperatura:	6
4.2.2. <i>Precipitação</i> :	7
4.3. Fenologia das plantas:	7
5. CARACTERIZAÇÃO DAS COBERTURAS VEGETAIS ANALISADAS	8
5.1. Cerrado	8
5.2. Mata Ciliar.....	9
5.3. Campo Limpo	9
5.4. Mata Atlântica	9
5.5. Monoculturas – Produção Agrícola e Plantação de Eucalipto	10
6. ÁREA DE ESTUDO	11
7. MATERIAIS E MÉTODOS	12
7.1. Materiais	12
7.1.1. <i>Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)</i>	12
7.1.2. <i>MODIS – MOD13A3</i>	14
7.2. Processos Metodológicos	14
8. RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
8.1. Variabilidade da Precipitação.....	16
8.2. Correlação entre as variáveis precipitação e NDVI.....	19
8.3. Séries Temporais de NDVI obtidas a partir da Transformada <i>Wavelet</i>	22
8.3.1. <i>Série Temporal do NDVI da Vegetação de Mata Atlântica</i>	22
8.3.2. <i>Série Temporal do NDVI da vegetação de Campo Limpo</i>	23
8.3.3. <i>Séries Temporais do NDVI das áreas de plantação agrícola e de Eucalipto</i>	23

8.3.4. Séries Temporais do NDVI da vegetação de Cerrado.....	24
8.3.5. Séries Temporais do NDVI da vegetação de Mata Ciliar	25
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUÇÃO

A Climatologia é a ciência que descreve o clima e investiga seus fenômenos e influências utilizando valores de um longo período. Desta forma, o estudo do clima torna-se de grande importância para as análises ambientais, uma vez que ele assume o papel influenciador sobre os diversos elementos da superfície terrestre, especialmente sobre a dinâmica de crescimento, desenvolvimento e distribuição das plantas. A partir de análises climáticas é possível compreender a intensidade com que os processos ambientais variam, como os pedológicos, os geomorfológicos e os ecológicos, visto que todo o sistema, incluindo as atividades humanas, está relacionado com os eventos climáticos. Por outro lado, o clima também é influenciado pelas diversas atividades humanas e pelos elementos da paisagem e dependente das condições de cobertura vegetal (AYOADE, 1996; BARBOSA et al., 2011).

De modo particular, a precipitação assume um papel determinante na dinâmica das coberturas vegetais, pois sua abundância e distribuição determinarão o tipo de vegetação natural que ocorrerá em determinada área (PEREIRA et al., 2007; BARBOSA & LAKSHIMI KUMAR, 2016).

Dessa forma, por influenciar diretamente nos processos naturais e, também, nas atividades humanas, conhecer sua variabilidade é importante uma vez que ela determina as estações seca e chuvosa de uma determinada região e, conseqüentemente, determina as atividades desenvolvidas neste mesmo lugar (FERREIRA, 2006; PEREIRA et al., 2013), já que pode impactar diretamente as atividades agrícolas e o abastecimento de água e energia (CAVALCANTI et al., 2009).

Além disso, compreender a dinâmica de desenvolvimento e as respostas fenológicas das vegetações torna-se de suma importância por estas serem consideradas o melhor indicador do efeito das variantes climáticas sobre o crescimento das plantas (GURGEL & FERREIRA, 2003 *apud* MKHABELA et al., 2010). Dessa forma, é importante entender os fenômenos periódicos das plantas e suas relações com o ambiente para que se possa estabelecer relações entre estes fenômenos e a variabilidade dos elementos climáticos, particularmente da precipitação, de uma determinada região.

Com isso, a partir do advento do Sensoriamento Remoto, especialmente através da utilização dos Índices de Vegetação (IV), como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a observação e as análises acerca da localização e variação espaciais, das alterações na densidade das coberturas vegetais e das mudanças fenológicas das mesmas foram

facilitadas contribuindo para um melhor resultado dos diagnósticos vegetais (BORATTO & GOMIDE, 2013; SANTOS, 2015).

Assim, com a obtenção dos dados de precipitação, obtidos do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), para uma posterior análise de sua variabilidade sazonal e espacial, e, ainda, dos dados de NDVI, oriundos do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), tornou-se possível estabelecer uma forte relação de interdependência entre as variações pluviométricas e as respostas fenológicas, observadas a partir do NDVI, de seis tipos de cobertura vegetal que se distinguem em suas características físicas e biológicas, a saber: Vegetações de Mata Atlântica, Mata Ciliar, Campo Limpo e Cerrado e Plantações Agrícola e de Eucalipto (BARBOSA et al., 2011; BARBOSA & LAKSHIMI KUMAR, 2016; SUN et al., 2016).

2. JUSTIFICATIVA

As áreas tropicais, quando comparadas com as temperadas e polares, apresentam escassas técnicas de obtenção de dados para a análise do clima e do tempo. A disponibilidade de dados climáticos ainda é precária nos trópicos mesmo com o advento dos satélites climatológicos, pois a precisão e a durabilidade dos instrumentos são afetados pelas próprias condições climáticas dessas regiões (AYOADE, 1996). Assim, tem-se dedicado, consideravelmente, à realização de pesquisas acerca do tempo e do clima nestas regiões, afim de estabelecer relações entre os mesmos e a superfície terrestre, com o intuito de analisar a influência do tempo e do clima sobre os elementos da Terra.

Ademais, é sabido que a dinâmica e a distribuição da vegetação na superfície terrestre são diretamente influenciadas pelas condições climáticas de uma estipulada região (CHRISTOFOLETTI, 1993), e, ainda, que o volume e a distribuição da precipitação possuem papel determinante no tipo de vegetação que vai predominar em tais regiões. Por essa razão, conhecer as características climáticas de uma região e a variabilidade da precipitação é de suma importância pelo fato de serem fundamentais na dinâmica de crescimento e no desenvolvimento das plantas, além de serem indispensáveis nas diversas atividades humanas (PEREIRA et al., 2013).

Com isso, é importante compreender a relação entre as anomalias de precipitação e temperatura e as respostas fenológicas da vegetação, pelo fato do clima ser o principal fator abiótico que, decisivamente, influencia os eventos fenológicos das plantas (REICH & BORCHERT, 1984 *apud* PEREIRA et al., 2008).

3. OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho foi explorar as relações entre a variabilidade da precipitação e as respostas fenológicas de seis diferentes tipos de cobertura vegetal – com o auxílio do NDVI, no município de São João Del Rei para o período compreendido entre os anos de 2000 a 2015.

3.1. Objetivos específicos

- (a) Analisar a variabilidade da precipitação mensal para a área de estudos, a partir dos dados do satélite TRMM para o período proposto (2000-2015);
- (b) Analisar as respostas fenológicas das vegetações a partir dos dados mensais de NDVI oriundos do produto MOD13A3, com resolução espacial de mil metros, do sensor MODIS a bordo dos satélites Aqua e Terra;
- (c) Analisar e comparar os dados de precipitação e NDVI afim de estabelecer uma relação de interdependência entre eles;
- (d) Analisar a variabilidade da precipitação e de seis formações vegetais a partir da Transformada *Wavelet*;

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Tempo e Clima

O discernimento entre os termos *tempo* e *clima* é importante visto a confusão que os dois causam em muitas pessoas. Por clima, entende-se um conjunto de variações nas características da atmosfera em uma determinada região durante um período de tempo médio de 30 anos. O sequenciamento, a frequência, as variações de um determinado fenômeno do tempo – como precipitação, temperatura, entre outros – caracteriza o clima de uma região. Diferentemente do clima, o tempo trata das modificações instantâneas da atmosfera em um determinado lugar, ou seja, ele é o estado momentâneo da atmosfera de um lugar e se ocupa com os eventos específicos. Condições instantâneas de temperatura, precipitação, pressão, entre outros elementos, caracteriza o tempo daquele lugar. Assim, enquanto o tempo trabalha com a ocorrência de fenômenos específicos, o clima apresenta uma generalização desses mesmos fenômenos (PEREIRA et al., 2007).

A partir disso, compreende-se o clima a partir de seus *elementos e fatores*, onde o primeiro refere-se a grandezas atmosféricas – radiação solar, temperatura, precipitação, ventos, pressão e umidade relativa – que variam temporal e espacialmente, responsáveis pela caracterização do clima em uma determinada região. E o segundo refere-se aos fatores geográficos, agentes causais, que regulam e/ou interferem nos elementos climáticos, ou seja, são responsáveis pelas suas características ou modificações, que são eles: latitude, altitude, continentalidade e maritimidade, relevo, vegetação, entre outros (PEREIRA et al., 2007).

4.2. Elementos Climáticos:

4.2.1. Radiação Solar:

Entre os elementos climáticos mais importantes, destaca-se a radiação solar. Ela é a maior fonte de energia para a Terra, onde 99,97% dessa energia é utilizada para diversos processos na superfície terrestre. Além disso, é considerada o principal elemento meteorológico, pois afeta todos os demais, como temperatura, umidade do ar, precipitação, etc., que, conseqüentemente, apresentarão variações de acordo com sua influência e interferência (PEREIRA et al., 2007).

A distribuição da radiação solar não é proporcional em todos os locais da Terra pelo fato de sua órbita ao redor do sol ser elíptica. Desse modo, a distância da Terra para o sol varia durante o ano, onde encontra-se mais próxima dele no mês de janeiro, fazendo com que todas as latitudes recebam mais radiação durante o verão no hemisfério Sul e menos durante o inverno no mesmo continente (AYOADE, 1996). Salienta-se que a região Sudeste do Brasil, onde se localiza a área de estudo desse trabalho, por causa de sua posição latitudinal, é favorecida com uma ampla exposição à radiação solar, favorecendo a ocorrência de intensos movimentos convectivos (CAVALCANTI et al., 2009).

Além da distância Terra-Sol, a distribuição da energia solar na superfície terrestre é ainda alterada pela atmosfera, responsável pela quantidade e qualidade de energia solar que atinge a Terra, que absorve, reflete, difunde e erradia tal energia. O vapor d'água e o ozônio são responsáveis por 18% de absorção da insolação. O vapor d'água ainda é responsável pela difusão dos raios solares. As nuvens refletem cerca de 25% da radiação solar, que também é refletida pelas superfícies “de cores claras” da superfície terrestre (AYOADE, 1996). Ademais, outros fatores que influenciam na quantidade de energia solar recebida no topo da atmosfera são latitude, período e duração do dia e período do ano.

No caso da vegetação, a radiação solar pode ser absorvida, refletida ou transmitida, dependendo da região do espectro eletromagnético. Neste contexto, a vegetação reflete mais energia na faixa do infravermelho próximo (FLORENZANO, 2011). Já a quantidade irá distinguir-se de uma espécie para outra ou mesmo dentro de uma mesma espécie dependendo das condições ambientais em que se encontrarão. Estima-se que 50% de toda a energia recebida pela planta é absorvida pelos pigmentos das folhas para a realização da fotossíntese – único processo diretamente envolvido com a radiação – e outros processos. Outra parte será refletida pelas folhas que também realizarão o processo de transmissão.

Tratando-se de uma vegetação verde saudável, na região do infravermelho próximo (0,7 e 1,3 μm) a absorção será muito baixa e a reflectância alta (MOREIRA, 2011). Ademais, a presença de clorofila pode causar baixa reflectância e, conseqüentemente, alta absorção na região do vermelho (0,6 e 0,7 μm), e alta reflectância no infravermelho próximo (MKHABELA, 2010) (**Figura 1**).

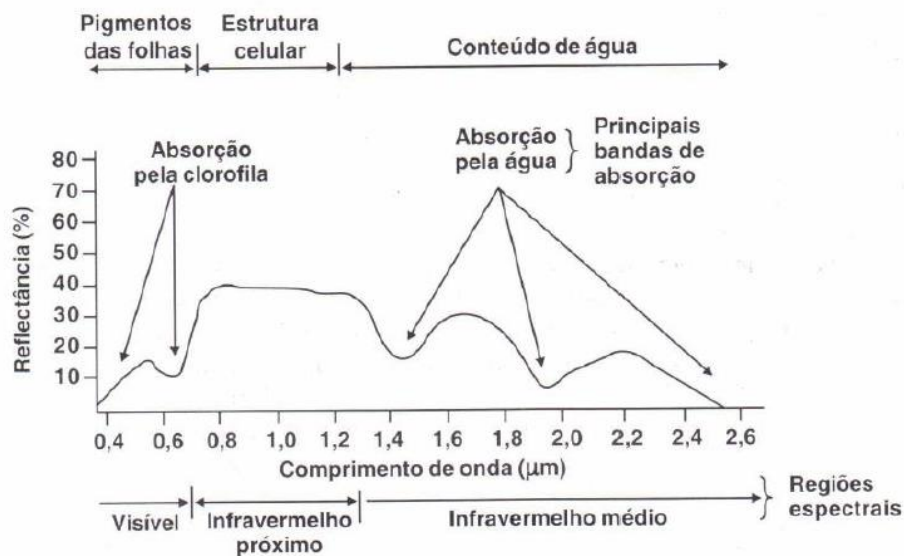


Figura 1: Espectro de reflectância de uma folha verde saudável

Fonte: Moreira, 2011

Para o sensoriamento remoto, apenas as fotorreações são de interesse por estarem diretamente envolvidas com a relação da radiação solar com a planta. Entretanto, é importante ressaltar que o sensoriamento remoto não é capaz de medir a quantidade de energia que é absorvida pela planta, ele mede a energia refletida pela planta para, posteriormente, inferir-se sobre o comportamento da energia absorvida (MOREIRA, 2011).

4.2.1.1. Temperatura:

Entre os principais efeitos da radiação solar, destaca-se a temperatura do ar. Ao atingir a superfície terrestre, a radiação solar é utilizada em três processos físicos: Fluxo convectivo de calor sensível – H (temperatura do ar); Fluxo por condução de calor no solo – G (temperatura do solo); e Fluxo de calor latente (relacionado à evaporação/transpiração (LE)). Dentre os quais destaca-se aqui a *Convecção* (ou fluxo convectivo de calor sensível) que está relacionada com o aquecimento do ar e é a responsável pelas variações de temperatura que ocorrem nesse meio (PEREIRA et al., 2007).

A convecção ocorre quando as superfícies, terrestre ou oceânica, absorvem a radiação eletromagnética (REM) do Sol, e, conseqüentemente, transportam calor para a atmosfera próxima a essas superfícies (PEREIRA et al., 2007). Tal transporte pode se dar pelos processos de *Condução molecular* ou *Difusão turbulenta*, em que a primeira se dá pelo contato direto entre as moléculas de ar, caracterizando-se por um processo de troca de calor sensível lento. Enquanto que na segunda o processo de troca de energia é rápido, onde se observa o movimento convectivo do ar que transporta calor, entre outros elementos que compõem o ar, para as camadas mais altas (SENTELHAS & ANGELOCCI, 2009). Dessa forma, pode-se definir a temperatura de um corpo a partir da radiação que chega e a que sai através de sua transformação em calor latente e sensível (AYOADE, 1996).

A temperatura do ar varia diariamente, anualmente e espacialmente. Vários fatores – como a latitude, altitude, correntes oceânicas, continentalidade/oceanidade, cobertura da superfície, distância de corpos hídricos, revelo, entre outros – determinam a variabilidade e a distribuição da temperatura sobre a superfície terrestre. Neste contexto, como a temperatura varia de acordo com a disponibilidade de energia solar que chega na superfície da Terra, a latitude, de modo especial, exerce papel central nessa distribuição sobre a superfície, uma vez que determina o ângulo de incidência solar e a duração do dia em todos os lugares do planeta, afetando, dessa forma, a quantidade de radiação solar que chega à superfície (AYOADE, 1996; SENTELHAS & ANGELOCCI, 2009).

Por apresentar oscilações diárias em determinados locais, a temperatura apresenta sua máxima do dia cerca de duas horas após o zênite solar e sua mínima antes do nascer do sol. Ressaltando que tais extremidades podem sofrer interferências como, por exemplo, de uma entrada de ar frio na localidade observada que pode vir a alterar os valores de máxima e mínima naquele dia e local (VAREJÃO-SILVA, 2006). Anualmente, a temperatura máxima e mínima

segue de acordo com a disponibilidade de radiação solar na superfície, onde apresenta maiores valores durante o verão e menores durante o inverno. E espacialmente, a temperatura varia de acordo com os mesmos fatores determinantes do clima – latitude, altitude, continentalidade, etc. (SENTELHAS & ANGELOCCI, 2009).

4.2.2. Precipitação:

A chuva é o principal tipo de precipitação que ocorre nas regiões tropicais e uma das mais importantes variáveis climáticas sendo responsável pela caracterização do clima de uma região (DINIZ, 2013). De modo geral, a distribuição das chuvas ocorre, principalmente, devido aos fatores geográficos e aos sistemas atmosféricos predominantes na área (CAVALCANTI et al., 2009).

Na Região Sudeste do Brasil, onde está inserida a área de estudo deste trabalho, as chuvas apresentam uma alta variabilidade interanual ocasionada, principalmente, pela influência das massas polares, tornando difícil a previsão e medição exata da ocorrência e distribuição das chuvas nesta região. Assim, em anos de baixa incidência dessas massas há uma ocorrência menor de chuvas (CAVALCANTI et al., 2009).

Ademais, nesta região, as estações compreendem dois períodos bem definidos – um apresentando alto índice de precipitação e outro apresentando um regime menor de chuvas. A estação mais chuvosa compreende os meses de verão, devido, principalmente, à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), às frentes frias e ao sistema de monção da América do Sul (REBOITA et al., 2009). Além disso, o início dessa estação apresenta grande variabilidade geográfica e, por influência das frentes frias, tem seu início primeiramente na parte sul da região (CAVALCANTI et al., 2009). Já os baixos índices pluviométricos observados na estação seca (inverno), são causados pela influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que impede a formação de nuvens e, conseqüentemente, as condições de chuva. Além disso, a atuação das linhas de instabilidade pré-frontais e os bloqueios atmosféricos são comuns nessa região (REBOITA et al., 2010).

4.3. Fenologia das plantas:

Em Ecologia, o termo Fenologia refere-se ao estudo dos eventos periódicos das diferentes fases da vida das plantas (como crescimento e desenvolvimento) – e/ou dos animais

– e suas relações com as condições do ambiente (BERGAMASCHI, 2007). O Clima é o principal fator abiótico que influencia diretamente a fenologia das plantas (PEREIRA et al., 2008). Tais padrões fenológicos podem sofrer influência, principalmente, de fatores como: a radiação solar, a temperatura do ar e o estresse hídrico (MANTOVANI et al., 2003) que acarretarão em variações no volume, forma e na estrutura das plantas (BERGAMASCHI, 2007).

A fenologia da vegetação das florestas de Mata Atlântica e Cerrado, na região Sudeste do Brasil, é diretamente relacionada com a variabilidade da precipitação nesta região (MORELLATO, 1995 *apud* ATHAYDE et al., 2009), pois a fenologia das plantas é condicionada pela disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, acompanha os padrões de variação das chuvas. De modo geral, a diminuição do índice pluviométrico impacta no crescimento das vegetações e pode provocar queda de folhas (MANTOVANI et al., 2003), refletindo na alteração das respostas fenológicas dessas vegetações.

5. CARACTERIZAÇÃO DAS COBERTURAS VEGETAIS ANALISADAS

5.1. Cerrado

O Cerrado, em termos de área, é o segundo maior bioma da América do Sul e o segundo maior do país, ficando atrás apenas da Floresta Amazônica. Devido a sua vasta extensão territorial, o bioma apresenta distintas formações vegetais que se diferenciam, particularmente, pelas suas fisionomias, influenciadas pelo clima, pelos tipos de solos, pela geomorfologia, topografia e disponibilidade de água, principalmente (RIBEIRO & WALTER, 2008).

O Clima, principal fator determinante da fitofisionomia do Cerrado, é o Tropical Chuvoso ou Aw, de acordo com a Classificação Climática de Köppen, que é caracterizado por duas estações climáticas bem definidas: estação chuvosa no verão, estendendo-se pelos meses de outubro a abril, e estação seca no inverno, entre os meses de maio a setembro (RIBEIRO & WALTER, 2008). A precipitação no bioma possui médias anuais que variam entre 1.200 a 1.600mm. Em seu limite com a Floresta Amazônica, apresenta médias variantes entre 2.000 a 2.200mm e na fronteira com a Caatinga entre 600 a 800mm (SANTOS, 2015).

A partir disso, e de outros fatores geográficos, o Cerrado apresenta *Formações Florestais* com predominância de espécies arbóreas com formação de dosséis, contínuo ou descontínuo – como Mata Seca, Mata de Galeria, Mata Ciliar e Cerradão; *Formações Savânicas* onde predomina espécies de árvores e arbustos, sem formação de dossel contínuo, em áreas de

gramíneas – como o Cerrado *Sensu Stricto*, Veredas, Parque de Cerrado e Palmeiral; e *Formações Campestres*, predominantemente, formadas por espécies herbáceas e arbustivas – como Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo (RIBEIRO & WALTER, 2008).

5.2. Mata Ciliar

A Mata Ciliar, pertencente ao grupo da *Formação Florestal* do Cerrado, é uma fisionomia associada ao curso d'água, isto é, se estende por toda a extensão dos rios nesta região sem que haja formação de galerias. Esse tipo de vegetação ocorre principalmente em terrenos acidentados, podendo apresentar solos rasos como os Cambissolos, profundos como os Latossolos ou ainda solos aluviais (RIBEIRO & WALTER, 2008).

Essa vegetação apresenta, em sua maioria, típicas espécies arbóreas caducifólias, isto é, vegetações que perdem suas folhas, geralmente, durante o inverno, e pode apresentar, ainda, espécies “sempre-verdes” conferindo a ela um aspecto semidecíduo (RIBEIRO & WALTER, 2008).

5.3. Campo Limpo

O Campo Limpo é outra fitofisionomia encontrada no Cerrado, ao qual pertence ao grupo das *Formações Campestres*, que como o nome já indica compreende espécies exclusivamente herbáceas, sem a presença de árvores. Geralmente, encontra-se esse tipo de vegetação em altitudes mais elevadas, nas encostas de chapadas, onde há o predomínio de solos Litólicos, Litossolos, Cambissolos, entre outros. Entretanto, pode-se ainda encontrar essas vegetações em áreas planas, próximas de rios, em solos do tipo Hidromórficos, orgânicos e Aluviais, onde comumente é chamado de “Campo de Várzea” (RIBEIRO & WALTER, 2008).

Durante os períodos de seca, as herbáceas que possuem raízes rasas tornam-se combustíveis para as frequentes queimadas que ocorrem neste bioma. Isso ocorre porque a falta de água afeta o crescimento dessas plantas e provoca o ressecamento das partes aéreas (OLIVEIRA, 2008).

5.4. Mata Atlântica

A Mata Atlântica ocupa uma vasta extensão territorial do Brasil, compreendendo 17 unidades federativas de norte a sul (ARAÚJO et al., 2007). Devido à sua vastidão, ela apresenta uma grande diversidade de fitofisionomias – com a presença de árvores de médio e grande porte, com formação de florestas densas – determinadas e influenciadas pelas variações dos

fatores geográficos como a latitude, altitude, proximidade do mar, clima – particularmente pela variabilidade da precipitação, entre outros (ANTONINI & DRUMMOND, 2006; RIBEIRO & WALTER, 2008). Além disso, vai apresentar uma grande variação climática compreendendo desde climas tropicais chuvosos à climas mesotérmicos com predominância de verões quentes (a moderadamente quentes) e úmidos, onde a precipitação irá variar de 800 a 4500mm (RIBEIRO & WALTER, 2008).

A Mata Atlântica é composta por *Florestas Ombrófilas* (densa, aberta e mista) – caracterizadas por fisionomias tropicais e costeiras – encontradas, principalmente, na costa litorânea; *Florestas Estacionais* (semidecíduais e decíduais) – típicas de clima sazonal sendo encontradas nas regiões interioranas; e, por ecossistemas associados como *Campos de Altitude* e *Restingas*. No estado de Minas Gerais, a *Floresta Estacional Semidecidual* é a mais encontrada compreendendo uma vasta área deste bioma no estado e a *Floresta Ombrófila Mista* é a menos representativa (ARAÚJO et al., 2007).

Dentre os biomas brasileiros, a Mata Atlântica foi a mais fragmentada e devastada, restando hoje apenas 22% de sua mata nativa. Sua biodiversidade é constantemente ameaçada em função de atividades econômicas, como seu desmatamento para a expansão de plantações agrícolas e pecuária, urbanização, extração de madeira, mineração, entre outros. Por isso várias políticas de preservação, conservação, uso sustentável de sua vegetação e recuperação de áreas degradadas são feitas em razão da conservação de sua biodiversidade, como a Lei 11.428, de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica (ANTONINI & DRUMMOND, 2006; MMA, 2016; SOS Mata Atlântica, 2016).

5.5. Monoculturas – Produção Agrícola e Plantação de Eucalipto

A agricultura é a maior atividade socioeconômica dependente do tempo e do clima, pois elementos como radiação solar, temperatura e umidade afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Assim, por se apresentarem homogêneas em vastas áreas, são mais suscetíveis às condições do ambiente a qual estão inseridas. Dessa forma, fenômenos climáticos como as secas ou ocorrências de temperaturas extremas podem afetar grandemente a produção agrícola causando prejuízos financeiros e impactos sociais (PEREIRA et al., 2007).

Por apresentar condições ambientais e climáticas favoráveis ao cultivo de plantas, a Região Sudeste do Brasil vem apresentando transformações em sua paisagem, onde fragmenta-se vegetações nativas afim de introduzir atividades agropecuárias (CAVALCANTI et al., 2009). Tais transformações refletem, principalmente, na fauna e na flora, mas também no bem-estar do próprio homem.

Embora sejam importantes no âmbito socioeconômico, a introdução de atividades agrícolas causa graves impactos ambientais, podendo ser citado o desmatamento para a sua inserção, as contaminações do solo e da água oriundas da utilização de agrotóxicos, o uso intensivo de monoculturas, entre outros (DE DEUS & BAKONYI, 2012).

Em particular, as produções de extensas áreas de plantações de eucalipto causam intensos conflitos e embates socioambientais, além de provocarem inúmeros debates acerca do assunto. De um lado, acredita-se que as plantações de eucalipto apresentam apenas riscos ao meio ambiente e às populações, causando, entre inúmeros problemas argumentados, desgaste do solo e, conseqüentemente, erosões, perda de biodiversidade, êxodo rural, degradação de florestas nativas, seca de rios e desequilíbrios ambientais (SILVA et al., 2012).

Entretanto, muitos estudos vêm mostrando que é possível haver uma relação positiva entre as plantações de eucalipto e a fauna silvestre. Além disso, o reflorestamento a partir do eucalipto vem contribuindo para a redução do desmatamento de florestas nativas e para a fabricação de carvão, ainda, estas plantações não consomem grandes quantidades de água como é pregado por muitos ambientalistas. Dessa forma, pesquisas acerca dessas plantações demonstram que é possível haver produção sustentável dessas plantas (SILVA et al., 2012).

6. ÁREA DE ESTUDO

A microrregião de São João Del Rei, composta por 15 cidades, se localiza na região sudeste do estado de Minas Gerais e está inserida na mesorregião do Campo das Vertentes, que abrange 36 municípios mineiros – que se distribuem, ainda, em mais duas microrregiões: a Microrregião de Lavras e a de Barbacena. Por sua vez, o município de São João Del Rei, sede microrregional, encontra-se entre as coordenadas 21°08'00"S e 44°15'40"W, apresenta uma área de aproximadamente 1452,002 km², possui cerca de 84 mil habitantes e dista aproximadamente 185km da capital mineira, Belo Horizonte (IBGE, 2010) (**Figura 2**).

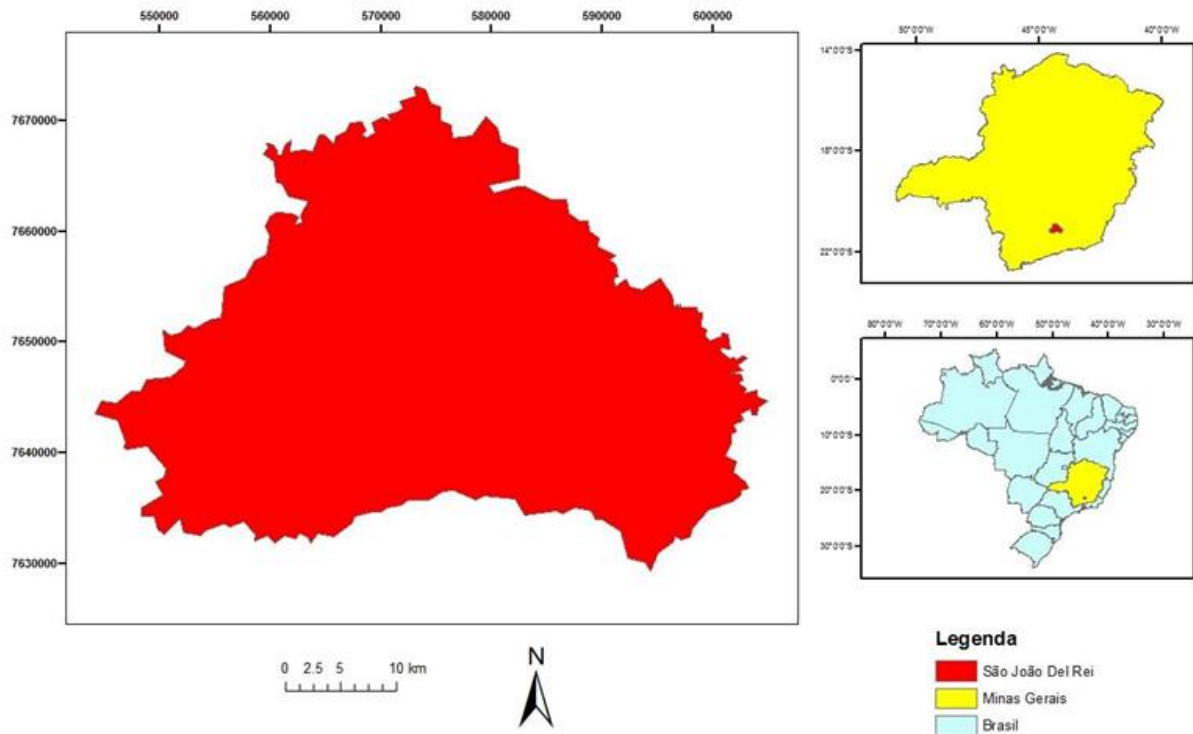


Figura 2: Localização da área de estudo – São João Del Rei

São João Del Rei está situado entre a Serra de São José e a Serra do Lenheiro que apresentam uma rica diversidade ecológica, abrangendo, principalmente, os biomas de Mata Atlântica e Cerrado. Nas partes altas de seu relevo é possível encontrar, ainda, vegetações típicas de campos limpos (BARUQUI et al., 2006).

O Clima da região, de acordo com a classificação de Köpper, é o Cwa, ou Tropical de Altitude, que se caracteriza por invernos secos e amenos e verões chuvosos e quentes. A estação chuvosa, coincidindo com o período de calor, se entende entre os meses de setembro a março, com média anual variando de 1.200 a 1.600mm, enquanto que a estação seca, conseqüentemente a mais fria, compreende os meses de abril a agosto, e apresenta média de 123mm de chuva ao ano (BARUQUI et al., 2006).

7. MATERIAIS E MÉTODOS

7.1. Materiais

7.1.1. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

O *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) é resultante da parceria entre as agências espaciais *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), dos Estados Unidos da América, e *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), do Japão, com o objetivo principal de monitorar a precipitação na região dos trópicos (KUMMEROW et al., 2000 *apud* COLLISCHONN, 2006). O satélite foi lançado em novembro de 1997 e teve sua missão encerrada 17 anos depois, em abril de 2015 (NASA). A bordo do satélite há cinco instrumentos: o radar de precipitação (*Precipitation Radar – PR*), imageador de micro-ondas (*Microwave Imager – TMI*), o escaneador do visível e infravermelho (*Visible and Infrared Scanner – VIRS*), o sistema de energia radiante de nuvens e da Terra (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System – CERES*), e, por fim, o sensor imageador de raios (*Lightning Imaging Sensor – LIS*), sendo os dois sensores principais o PR, responsável por providenciar mapas de estruturas precipitantes em três dimensões e o TMI, principal instrumento de medição da precipitação (**Figura 3**) (COLLISCHONN, 2006; PEREIRA et al., 2013).

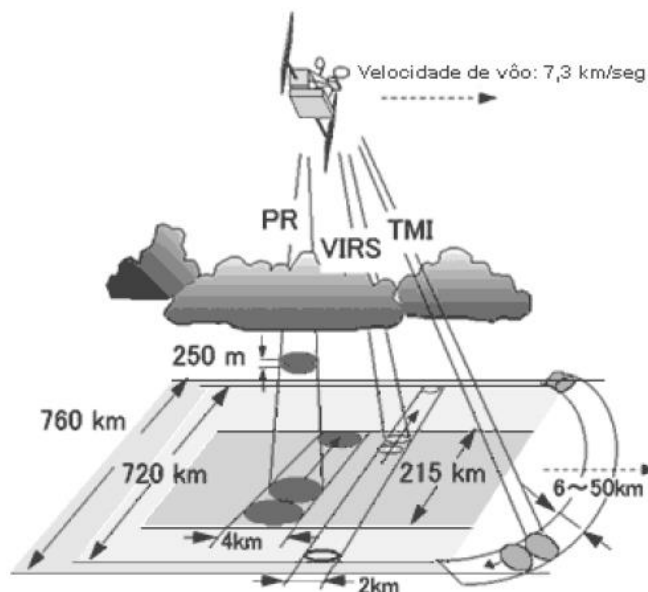


Figura 3: Esquema da aquisição de dados dos sensores: imageador de micro-ondas (TMI); escaneador do visível e infravermelho (VIRS); radar de precipitação (PR); à bordo do satélite TRMM
Fonte: Collischonn, 2006

Os dados referentes às estimativas da precipitação foram obtidos através do produto 3B43, na versão V7, derivado das médias mensais do produto 3B42 (YILMAZ et al., 2010 *apud* LIMA, 2016), que possui resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e cobertura geográfica de Lat. 50°S - 50°N e Long. -180°W - 180°E (SANTOS, 2015). Este executa seu varrimento a cada 3 horas, permitindo que seus dados sejam disponibilizados praticamente em tempo real. Além disso, o fato do TRMM apresentar uma órbita não sol-síncrona com 35° de inclinação permite que se

disponha de amostras com alta frequência temporal da região tropical (ANDERSON et al., 2013).

7.1.2. MODIS – MOD13A3

O *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um sensor que foi acoplado ao satélite Terra (EOS AM-1) em 1999 e ao satélite Aqua (EOS PM-1) em 2002, ambos pela NASA. A aquisição de dados é feita em 36 bandas espectrais em um período de 1 a 2 dias. Enquanto o satélite Terra cruza o Equador, passando de Norte a Sul, na parte da manhã, o Aqua faz o caminho inverso cruzando o Equador, de Sul para Norte, na parte da tarde. Os referidos dados nos permitem monitorar e analisar a dinâmica e os processos que ocorrem na superfície terrestre, oceânica e atmosférica (NASA,2016; ZHANG et al., 2014).

Especificamente, utilizou-se o produto MOD13A3 que disponibiliza dados mensais e de resolução espacial de mil metros do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), o qual permite-nos realizar análises acerca da cobertura vegetal (PEREIRA et al., 2010). O NDVI é o índice mais utilizado no diagnóstico do crescimento vegetal e na identificação de coberturas vegetais (ZHANG et al., 2014). Dessa forma, o NDVI mede o vigor vegetativo da vegetação através da razão entre a diferença e a soma das reflectâncias do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R), obtendo-se valores que variam entre -1 a 1 (**equação 1**):

$$\text{NDVI} = \text{NIR} - \text{R} / \text{NIR} + \text{R} \quad (1)$$

Assim, uma vegetação sadia apresentará valores altos, próximos de 1, por outro lado, regiões com ausência de vegetação, como áreas aquáticas ou cobertas por gelo irão apresentar valores negativos. Já regiões que apresentam solo exposto e rochas têm valores próximos a zero (MKHABELA, 2010).

7.2. Processos Metodológicos

Escolheu-se 6 tipos de cobertura vegetal, aleatoriamente, na região de estudo, levando em consideração a localização e as características de cada uma, afim de relacioná-las com a precipitação e comparar suas respostas fenológicas sob um mesmo índice pluviométrico.

A partir disso, os dados obtidos do produto 3B43, do satélite TRMM, e do MOD13A3, dos satélites Aqua e Terra, correspondem ao período que se estende desde fevereiro de 2000

(devido a disponibilidade dos dados) a dezembro de 2015. Ao todo, foram adquiridos 191 dados de precipitação e 191 de NDVI (para a análise da vegetação). Os dados do MOD13A3 são disponibilizados em *tiles* e em formato *Hierarchical Data Format* (HDF). Para a utilização dos mesmos foi necessário, a partir do programa *Modis Reprojection Tool* (MRT), a conversão dos dados de HDF para o formato *Tagged Image File* (TIFF) (PEREIRA et al., 2010).

Com isso, utilizou-se a ferramenta *Grid Analysis and Display System* (GrADS) para a geração de arquivos binários, a partir dos dados obtidos do TRMM e do MOD13A3, com o intuito de facilitar o acesso, a manipulação e a visualização desses dados, para serem inseridos, posteriormente, no software ENVI - desenvolvido a partir da *Interactive Data Language* (IDL), que nos permite realizar análises de dados na área do Sensoriamento Remoto, além de fornecer arquivos, para serem reproduzidos em outros programas, de fácil manuseio.

Finalmente, com o propósito de comparar e analisar os valores mensais de precipitação e de NDVI e verificar a escala temporal e a frequência das variações dos dois índices, originou-se, através da Transformada *Wavelet* (TW), seis séries temporais, uma para cada tipo de vegetação analisada. Para isso, utilizou-se a plataforma *Interface Description Language* (IDL), a partir do *Wavelet Toolkit*, fazendo uso do modelo *Morlet* de ordem 3, com significância global de 5% (PEREIRA et al., 2010).

O termo *Wavelet* foi proposto pelo geofísico Jean Morlet, pelo matemático Yves Meyer, o qual desenvolveu os métodos de análise, e pela equipe do Centro de Física Teórica de Marseille, sob a orientação do físico teórico Alex Grossman, na França nos anos 80 (SILVA, 2008). A Transformada *Wavelet* é utilizada na análise de séries temporais não-estacionárias, ou seja, que variam no espaço e no tempo, e que apresentam diferentes frequências, distribuindo-se de forma desigual espacial e temporalmente. Dessa forma, torna-se possível verificar modificações nos padrões de distribuição da precipitação e da vegetação no espaço e no tempo (PEREIRA et al., 2010).

Na figura 4 está o fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados neste estudo, resumindo as cinco etapas principais, especificadas anteriormente.

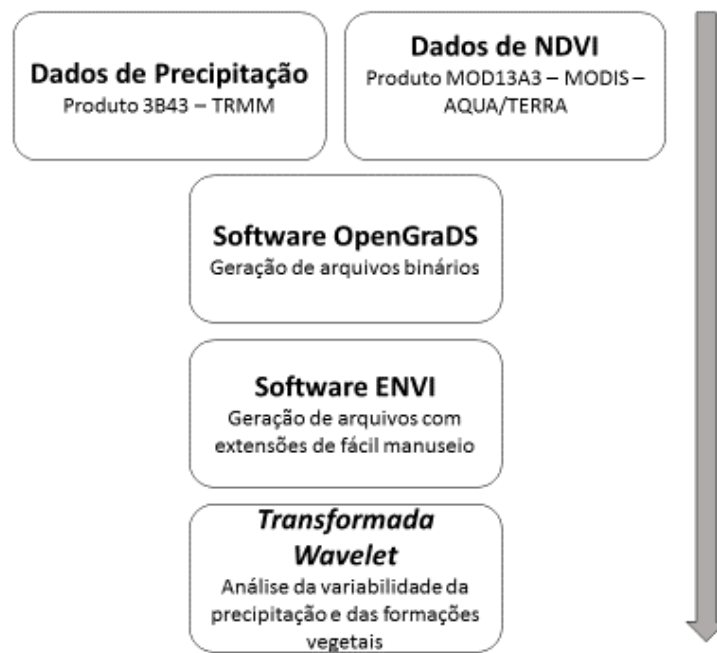


Figura 4: Fluxograma dos procedimentos metodológicos

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1. Variabilidade da Precipitação

A precipitação é um dos fatores determinantes e influenciadores da dinâmica da vegetação (BARBOSA, 1998 *apud* BARBOSA & LAKSHIMI, 2016) e se apresenta como um dos elementos climáticos mais importantes no processo de distribuição das plantas sobre a superfície terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1993).

As chuvas apresentam uma alta variabilidade interanual, ocasionada pelas características do clima da região (CAVALCANTI, 2009). Nesta perspectiva, através dos dados de precipitação oriundos do satélite TRMM, foi possível averiguar que o mês de janeiro de 2007 apresentou o maior valor acumulado mensal de chuvas durante o período analisado, 566 milímetros (mm) (**Figura 5**). Entretanto, foi o ano de 2008 que apresentou o maior valor acumulativo anual de chuvas (**Figura 6**), com a precipitação chegando aos 2031 mm, enquanto que em 2014, observou-se uma anomalia negativa na região, onde os valores acumulativos não ultrapassaram os 1027 mm durante todo o ano.

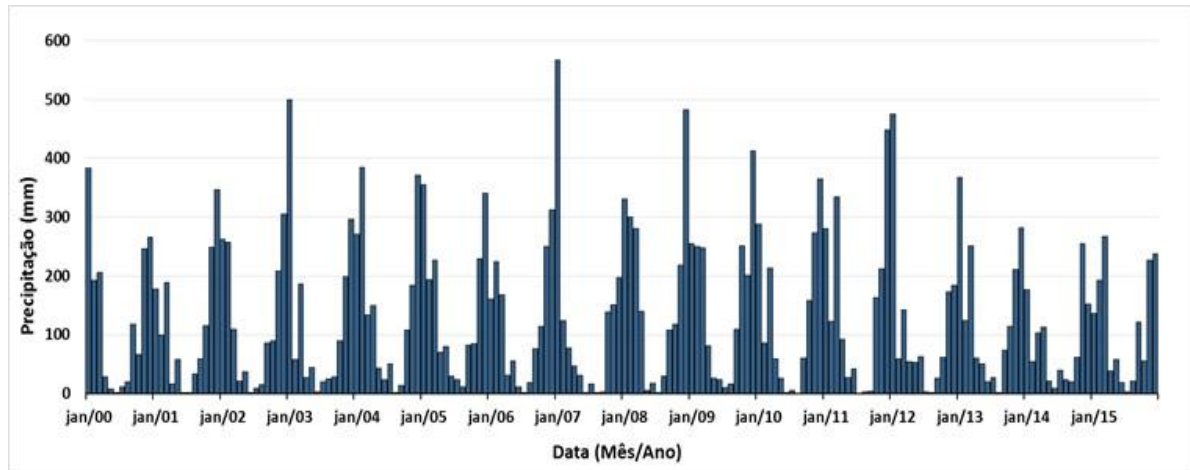


Figura 5: Variabilidade Mensal da Precipitação em São João Del Rei, no período de 2000 a 2015

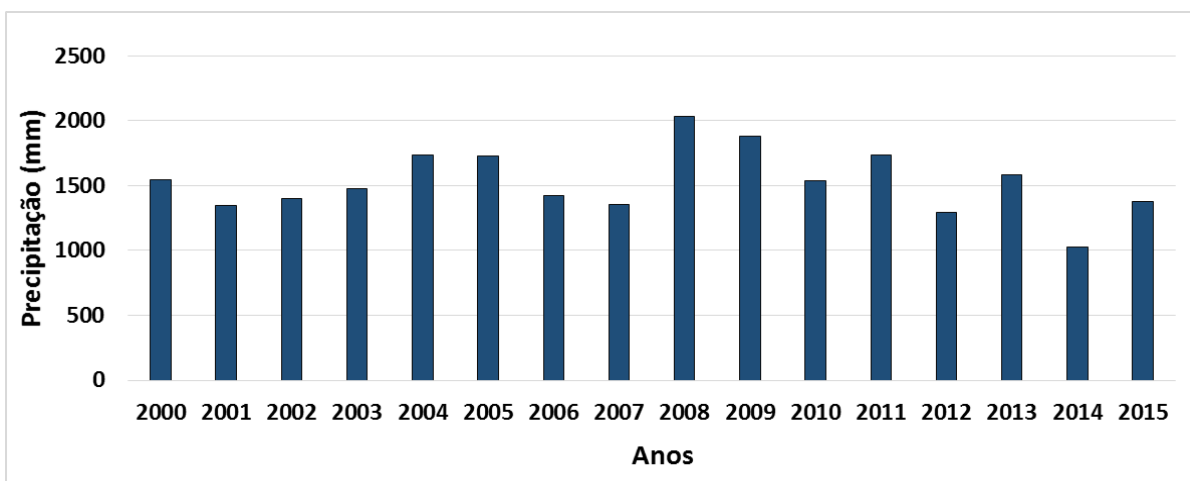


Figura 6: Precipitação Acumulada em São João Del Rei no período de 2000 a 2015

Os baixos índices pluviométricos observados no final do ano de 2013 e início de 2014 foram ocasionados por um intenso bloqueio atmosférico caracterizado pela forte atuação e atípicas posição e intensidade do sistema de Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que reduziu a umidade do ar e criou um fluxo de ar intenso de cima para baixo, dificultando a formação de nuvens e as condições para chuva, resultando na anomalia negativa observada (PEGORIM, 2015).

Com a finalidade de validar os dados do TRMM e analisar os períodos de maior variação da precipitação, utilizou-se a Transformada *Wavelet*. A partir disso, legitimou-se que a variabilidade da precipitação ocorre de 6 em 6 meses em consonância com as características observadas do clima regional, que apresenta uma estação seca (inverno) e outra chuvosa (verão). Além disso, foi possível constatar as variações mais significativas (representadas pelas áreas vermelhas do gráfico) da precipitação no período analisado. A primeira variação ocorreu entre 2006 e 2007; a segunda entre 2008 e 2010; e a terceira entre 2010 e 2012 (**Figura 7**).

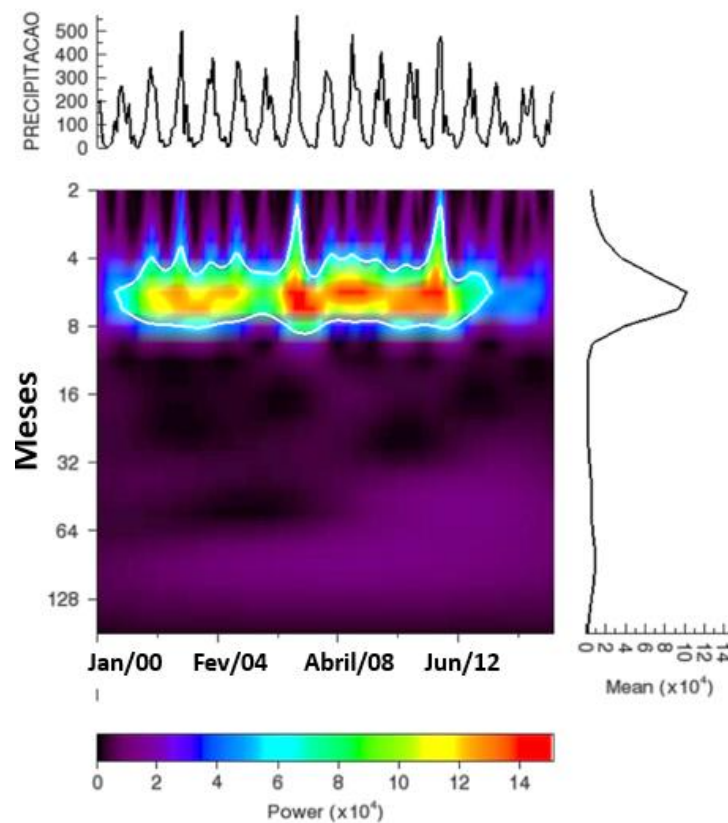


Figura 7: Série Temporal da Precipitação obtida através da Transformada *Wavelet*

Especificamente, a primeira variação da precipitação ocorreu entre agosto de 2006 e dezembro de 2007, onde a precipitação apresentou baixos índices no referido mês de agosto (18,5 mm) e no mesmo mês no ano seguinte (0,0 mm) e alcançou o maior valor observado em janeiro de 2007 (**Figura 8a**). Já a segunda variação ocorreu entre os meses de abril de 2008 e maio de 2010, variando de 5,0 mm, em maio de 2008; chegando ao maior índice em dezembro de 2008 (483,1 mm) e caindo novamente em maio de 2010 (26,3 mm) (**Figura 8b**). Finalmente, a terceira variação ocorreu, precisamente, entre outubro de 2010 e junho de 2012, onde apresentou índices de 0,0 mm, em julho de 2011 e 475 mm, em janeiro de 2012 (**Figura 8c**).

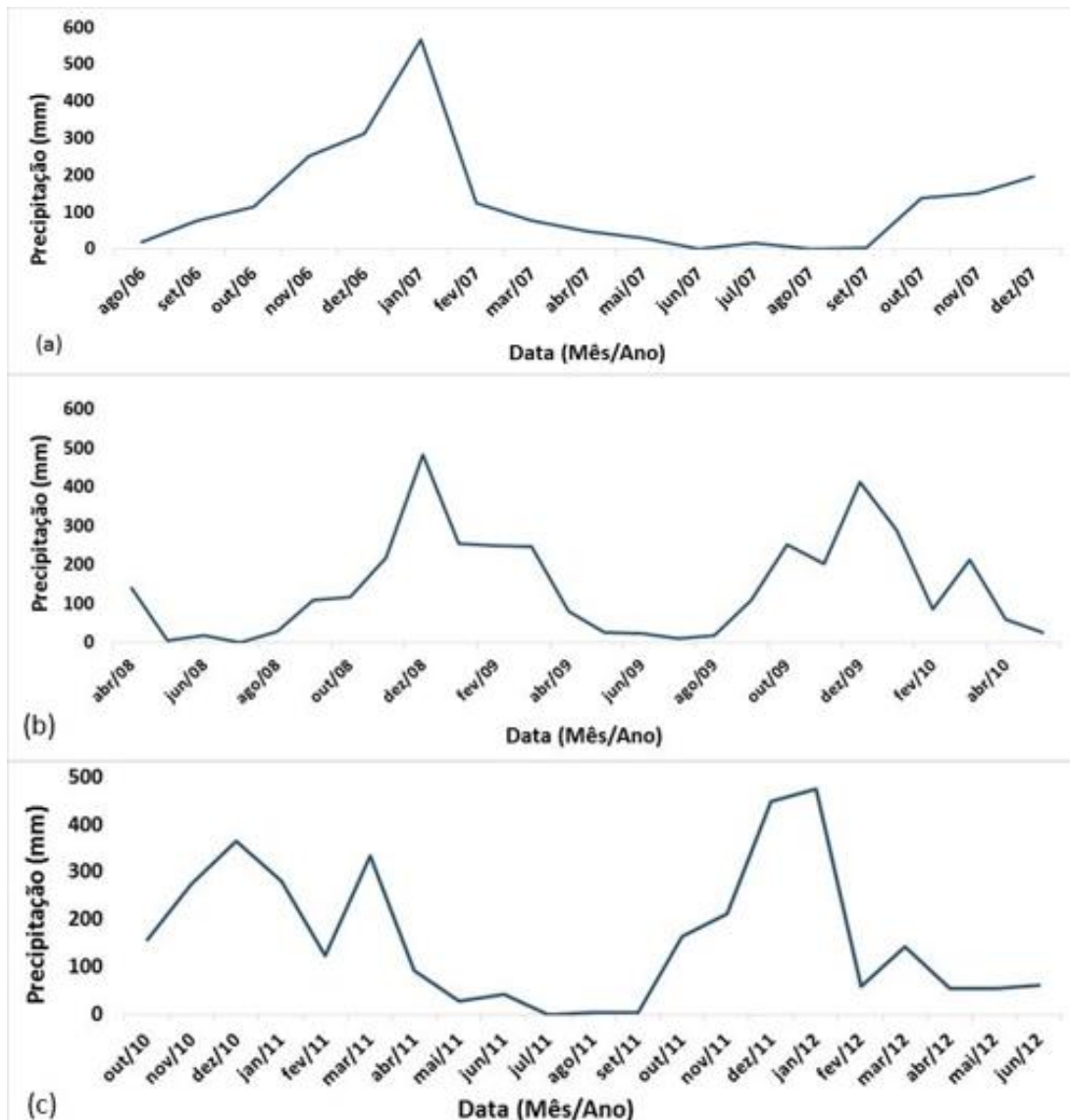
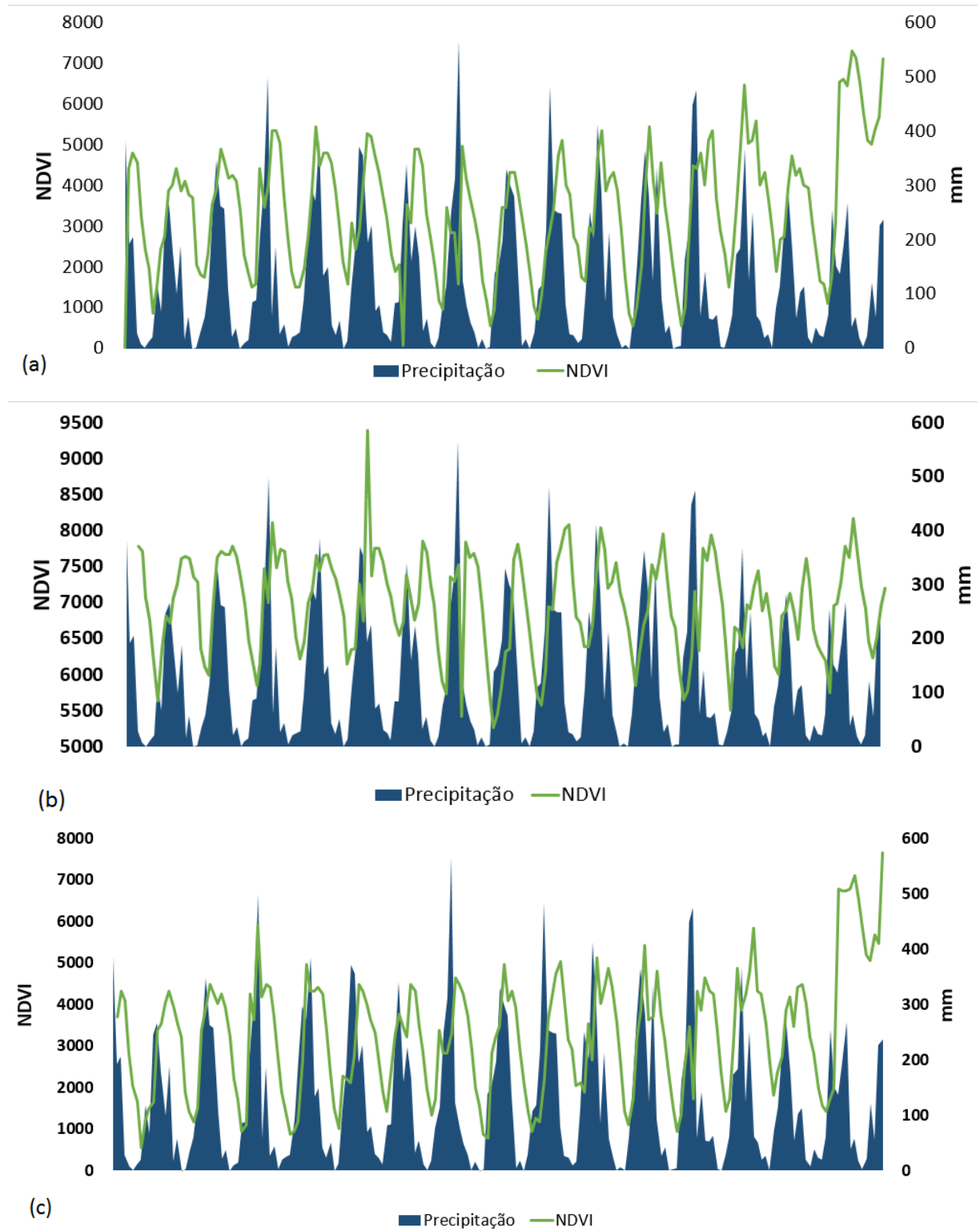


Figura 8: Variações temporais da precipitação observadas a partir da Transformada *Wavelet* em São João Del Rei no período analisado, para: a) Variação 2006-2007; b) Variação 2008-2010; c) Variação 2010-2012

8.2. Correlação entre as variáveis precipitação e NDVI

Os dados de NDVI obtidos a partir do produto MOD13A3 (do sensor MODIS) permitiram analisar as mudanças fenológicas das vegetações e possibilitaram a análise da variabilidade interanual do índice. Ressalta-se que o NDVI é uma variável de resposta às chuvas, isto é, a diminuição dos padrões de precipitação provoca a diminuição do NDVI (BARBOSA & LAKSHIMI, 2016). Dessa forma, com o propósito de relacionar a variabilidade da precipitação com as respostas da vegetação, observadas através do NDVI, constatou-se que as estações de crescimento das plantas são diretamente influenciadas pelas chuvas, ou seja, as variações temporais do NDVI são ligadas às variações da precipitação (**Figura 9**). Assim, a variabilidade do NDVI apresenta valores máximos durante a estação chuvosa e valores mínimos

durante a estação seca, coincidindo com as máximas e mínimas da precipitação (SANTOS, 2015; LIMA, 2016).



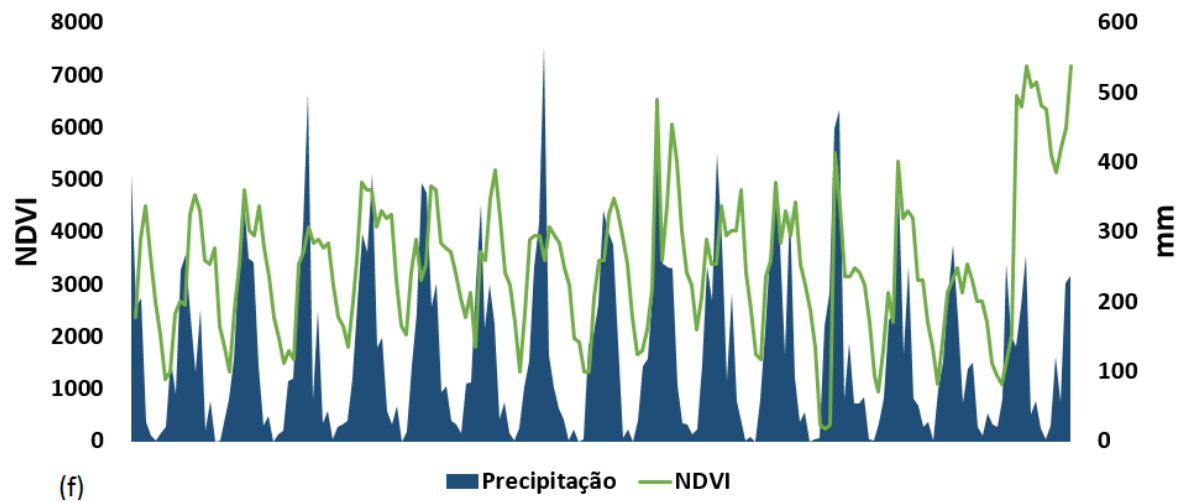
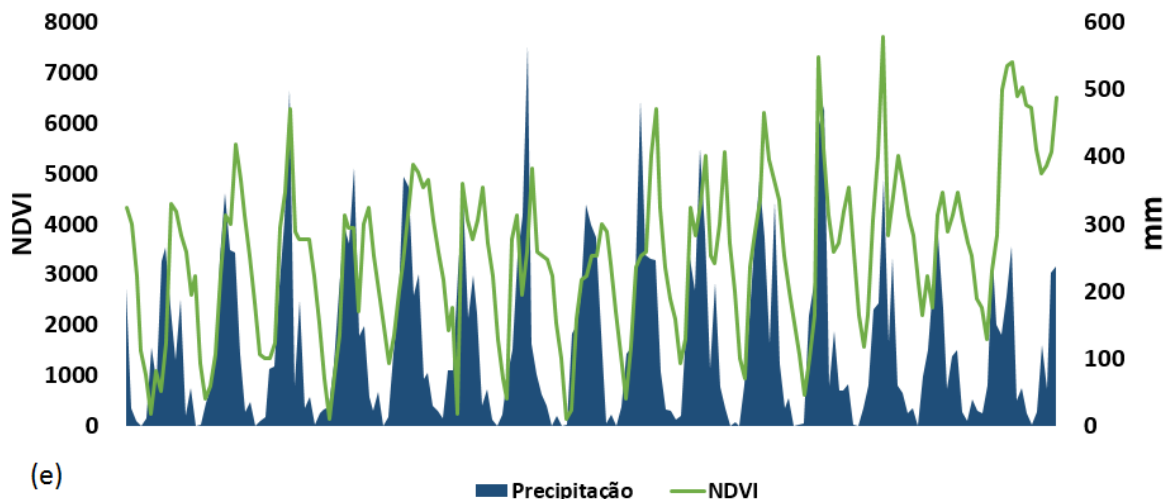
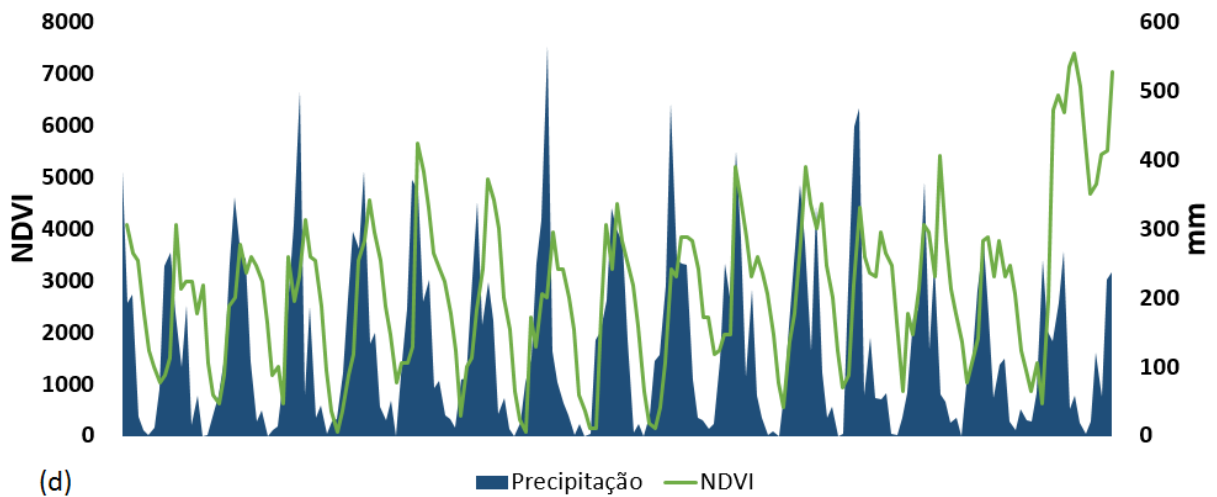


Figura 9: Variabilidade da Precipitação e do NDVI, no período de 2000 a 2015, em São João Del Rei, para: a) Vegetação de Mata Atlântica; b) Campo Limpo; c) Plantação Agrícola; d) Plantação de Eucalipto; e) Cerrado; f) Mata Ciliar

8.3. Séries Temporais de NDVI obtidas a partir da Transformada *Wavelet*

Com o auxílio da Transformada *Wavelet* foi possível validar os dados oriundos do produto MOD13A3 e verificar com precisão o padrão de variação das respostas do NDVI dos seis tipos de cobertura vegetal analisados. Dessa forma, gerou-se seis séries temporais, uma para cada tipo de vegetação, com o intuito de analisar a interferência de outros fatores nas respostas do NDVI.

8.3.1. Série Temporal do NDVI da Vegetação de Mata Atlântica

Observou-se que até junho de 2013 a vegetação apresentou comportamento semelhante à precipitação, onde o NDVI variou a cada 6 meses coincidindo com a variação da precipitação. Posteriormente, entretanto, no ano de 2014, a variação do NDVI apresentou uma anomalia em seu sinal, o qual pode ter sido ocasionada por uma alteração nas respostas fenológicas da vegetação devido à anomalia negativa da precipitação apresentada neste ano. Além disso, observou-se que há uma variação decadal (a cada dez anos) nas respostas do NDVI que não está de acordo com a precipitação, supostamente causada por mudanças no uso e cobertura deste ponto (**Figura 10**).

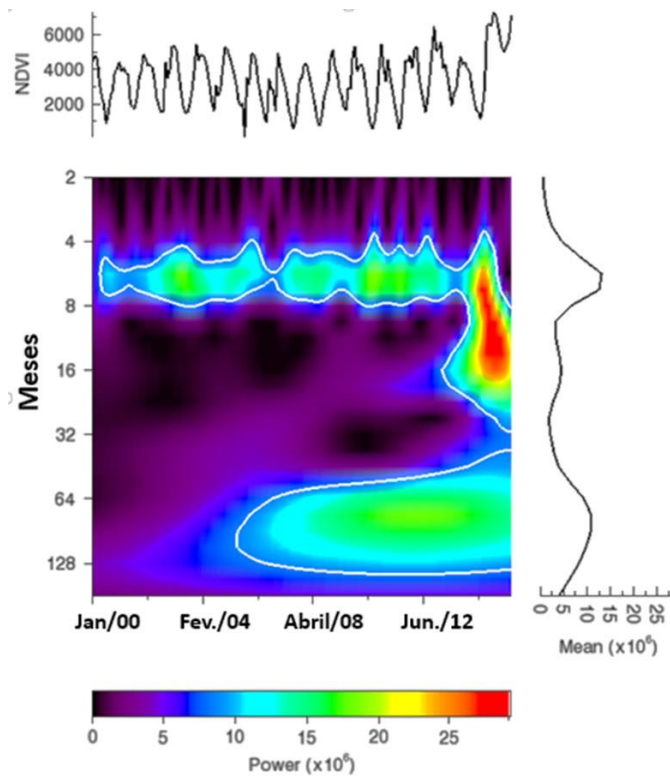


Figura 10: Série Temporal do NDVI obtida através da Transformada *Wavelet* para a Vegetação de Mata Atlântica

8.3.2. *Série Temporal do NDVI da vegetação de Campo Limpo*

Nesta cobertura vegetal, o comportamento da vegetação mostrou-se semelhante à variabilidade da precipitação, apresentando variação a cada 6 meses. Durante o período analisado modificações na vegetação interferiram na resposta do NDVI que apresentou uma anomalia entre os anos de 2008 e 2009, conforme observado no gráfico abaixo (**Figura 11**).

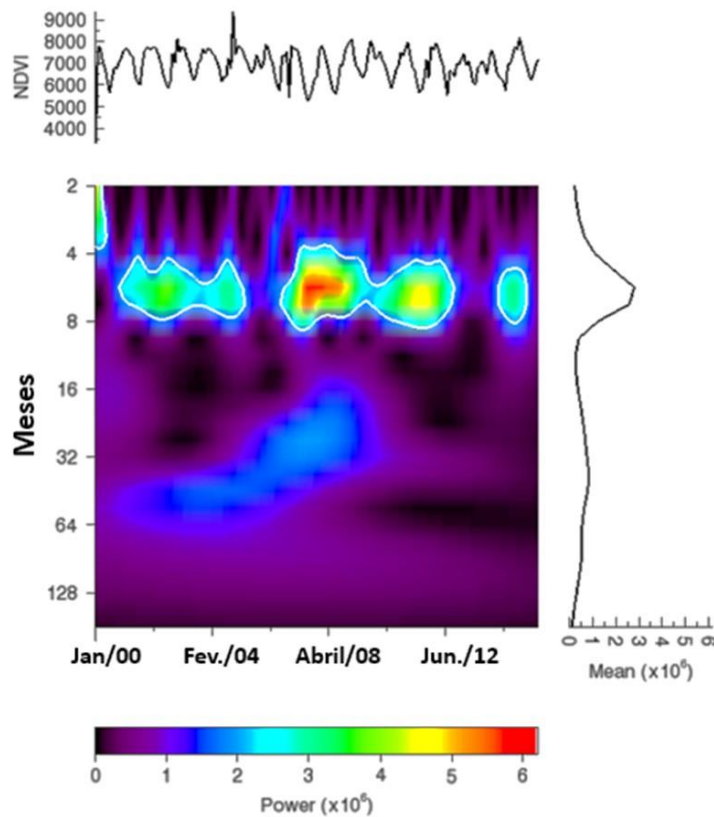


Figura 11: Série temporal do NDVI obtida através da Transformada *Wavelet* para vegetação de Campo Limpo

8.3.3. *Séries Temporais do NDVI das áreas de plantação agrícola e de Eucalipto*

O padrão de variação do NDVI nestas duas áreas apresentou-se semelhante ao padrão de variação da precipitação, ambos de 6 em 6 meses. Porém, como observado na vegetação de Mata Atlântica, estas duas coberturas vegetais apresentaram uma anomalia nos últimos anos que pode estar relacionada com os baixos índices pluviométricos verificados no verão de 2013/2014. Ademais, ambas as coberturas apresentaram variações decadais nas respostas do NDVI, não coincidindo, também, com as variações da precipitação. Tais variações podem ser explicadas pelo fato de se tratarem de áreas de agricultura, onde frequentemente ocorre alterações no uso da terra que modificam a estrutura da vegetação (**Figura 12**).

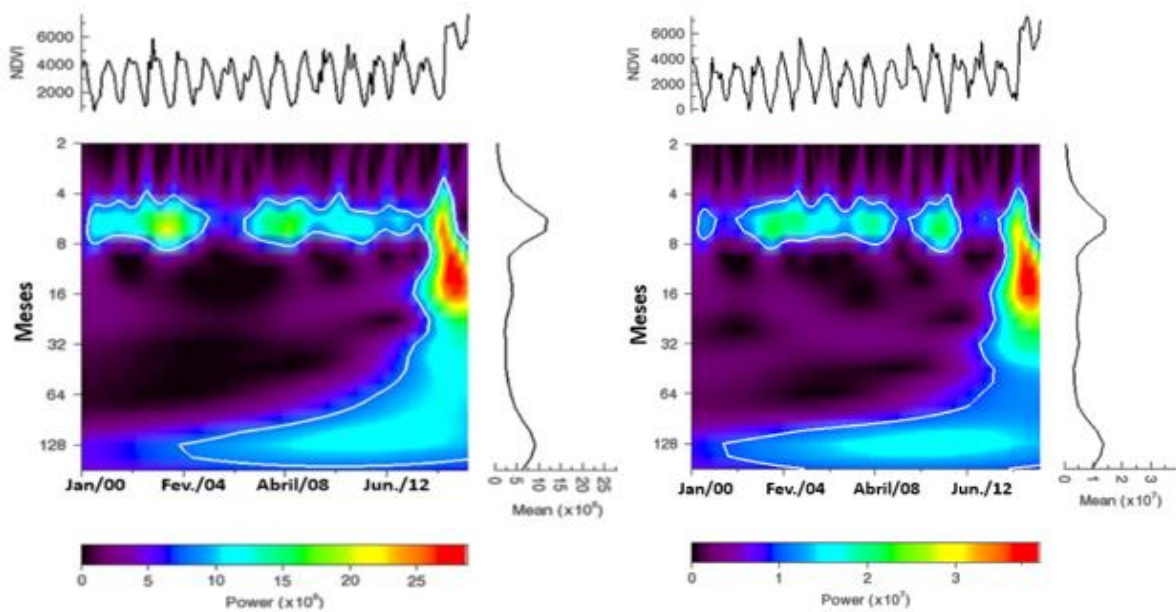


Figura 12: Séries temporais do NDVI obtidas através da Transformada *Wavelet* para Plantação Agrícola e Plantação de Eucalipto

8.3.4. Séries Temporais do NDVI da vegetação de Cerrado

Em consonância com as coberturas vegetais anteriores, o comportamento da vegetação típica de Cerrado apresentou-se similar à variabilidade da precipitação até o ano de 2012. Durante esse período manifestou-se duas anomalias nos sinais do NDVI. A primeira ocorreu entre os anos de 2001 e 2002 e a segunda entre 2010 e 2012. A primeira anomalia foi provocada por modificações na cobertura dessa vegetação. Já a segunda pode ter sido fortemente influenciada pela terceira principal variação dos índices pluviométricos, como mencionada anteriormente, que ocorreu durante esses mesmos anos. Após esse período, como já observado nas demais coberturas vegetais, a anomalia negativa da precipitação ocorrida no ano de 2014 interferiu nas respostas do NDVI, que passou a variar de ano em ano e não mais de 6 em 6 meses, conforme a precipitação. Ademais, o gráfico mostra ainda uma variação decadal das respostas do NDVI, que ocorre desde o início da análise até o final. Esta variação poderia ser explicada pelas constantes mudanças no uso e cobertura deste tipo de vegetação, observado pelo ponto sorteado na imagem (**Figura 13**).

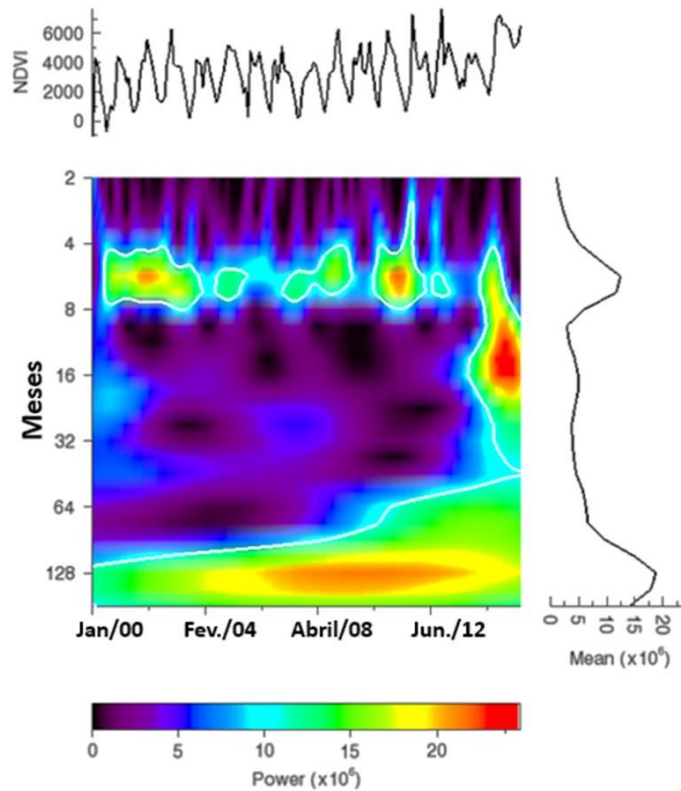


Figura 13: Séries temporais do NDVI obtidas através da Transformada *Wavelet* para vegetação de Cerrado

8.3.5. Séries Temporais do NDVI da vegetação de Mata Ciliar

O comportamento da vegetação de Mata Ciliar não apresentou grande significância em relação à precipitação. Observa-se que suas variações ocorreram de 6 em 6 meses até o ano de 2013. Nos últimos anos, com os baixos índices pluviométricos registrados na região, o NDVI apresentou uma anomalia. Além disso, é possível observar uma variação a cada 4 anos na resposta do NDVI a partir de 2010 (que não coube a este estudo analisar por demandar análises mais específicas e a longo prazo) (**Figura 14**).

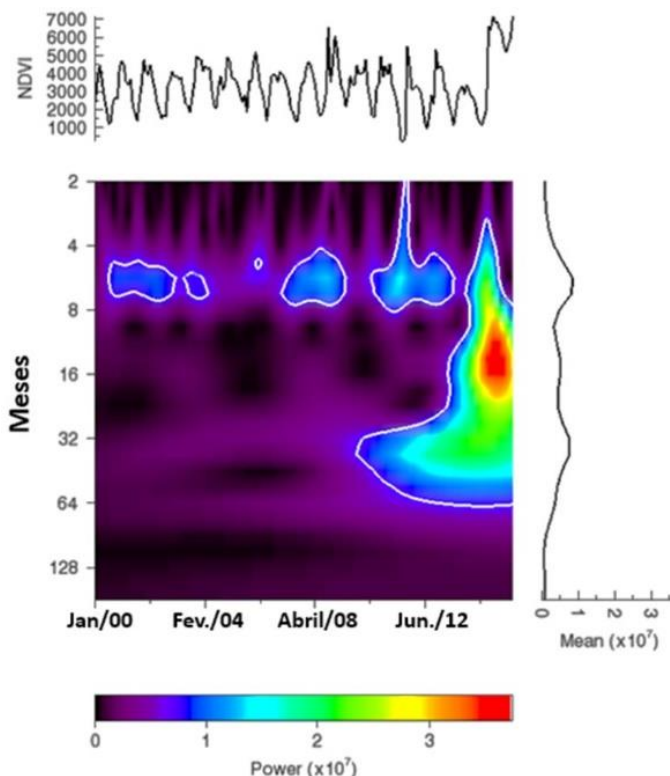


Figura 14: Séries temporais do NDVI obtidas através da Transformada *Wavelet* para vegetação de Mata Ciliar

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As observações via satélite acerca das mudanças nas respostas fenológicas da vegetação e dos elementos climáticos têm chamado atenção e ganhado espaço em diversas áreas do conhecimento, por oferecerem uma visão ampla sobre os impactos dos elementos climáticos na dinâmica de crescimento das plantas e nas diversas atividades humanas (PEREIRA et al., 2013; WANG et al., 2016).

Conhecer o padrão de variação interanual e sazonal da precipitação é essencial por ela se apresentar como fator determinante sobre os sistemas naturais e humanos. Além disso, com o auxílio das análises de dados orbitais, compreender essa variabilidade tem se tornado mais confiável por causa da eficiência e abrangência dos dados oferecidos pelos satélites, especialmente em áreas muito extensas (PEREIRA et al., 2013).

De modo geral, a precipitação mostrou-se a maior influenciadora e maior determinante das respostas fenológicas das vegetações analisadas neste estudo através dos dados obtidos de NDVI. Entretanto, é importante ressaltar que a precipitação não foi o único fator a interferir nas respostas das vegetações. Alterações em seus usos, por exemplo, são consideradas fator importante na modificação dessas respostas, principalmente no que diz respeito às variações decadais observadas.

Dessa forma, o sensoriamento remoto mostrou-se eficaz na realização e no êxito dos objetivos propostos por este estudo, uma vez que analisar as mudanças nas características das vegetações ocasionadas pelas variações da precipitação requer uma longa série temporal de dados. Assim, este estudo corroborou com a relação entre a variabilidade da precipitação e as variações temporais do NDVI dos seis tipos de vegetação analisados em São João Del Rei no período proposto.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. O. ARAGÃO, L. E. O. e C.; ARAI, E. Avaliação dos dados de chuva mensal para a região Amazônica oriundos do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) produto 3b43 versões 6 e 7 para o período de 1998 a 2010. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 6743-6750.

ANTONINI, Yasmine. DRUMMOND, G.M. Os estados da Mata Atlântica: Minas Gerais. In: CAMPANILI, Maura. PROCHNOW, Miriam. **Mata Atlântica: Uma rede pela floresta.** Brasília: RMA, 2006. Cap.3, p. 107-113.

ARAÚJO, M.H.S. **Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica.** Rio de Janeiro: Instituto de Estudos Socioambientais do Sul da Bahia, 2007.

ATHAYDE, E.A. et al., Fenologia de espécies arbóreas em uma floresta ribeirinha em Santa Maria, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n.1, p. 43-51, 2009. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1050>>. Acesso: em Out 2016

AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BARBOSA, H.A.; LAKSHMI KUMAR, T.V.; JUNIOR, I.W. da Silva. Analysis of the NDVI temporal dynamics in semi-arid ecosystems: Brazilian Caatinga and African Western Sahel. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011, p. 6496-6500.

BARBOSA, H.A.; LAKSHMI KUMAR, T.V. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Jornal of Arid Environments**, v.124, p. 377-387, janeiro 2016. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196315300392>>. Acesso: em Out 2016.

BARUQUI, A. M. et al. **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Zona Campos das Vertentes – MG**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2006.

BERGAMASCHI, Homero. O Clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: **FENOLOGIA: Ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos**. EMBRAPA, UFPR, UNESP, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236144951_O_clima_como_fator_determinante_da_fenfenolo_das_plantas>. Acesso: em Out 2016

BORATTO, I.M. de Paula; GOMIDE, R.L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 7345-7352.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mata Atlântica**. Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>>. Acesso em: Out 2016

CAVALCANTI, I.F.A [et al.] organizadores. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009

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

COLLISHCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. 128 p. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DE DEUS, R. M.; BAKONYI, S.M.C. O impacto da agricultura sobre o meio ambiente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.7, n.7, p. 1306-1315, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/index>>. Acesso: em Out de 2016

DINIZ, J.M.T. Variabilidade da Precipitação e do número de dias com chuvas de duas cidades distintas da Paraíba. **HOLOS**, v.3, n.29, 2013.

FERREIRA, D.B. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 2006. 125f. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

Fundação SOS Mata Atlântica. **A Mata Atlântica**. São Paulo. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/>>. Acesso em: Out 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: São João Del Rei**. 2010. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=316250>>. Acesso: em Out 2016

LIMA, T.E.R.; PEREIRA, G. Estudo da Variabilidade da Precipitação em São João Del-Rei e sua relação com as respostas fenológicas da vegetação. In: Seminário de Iniciação Científica, 23, 2016, São João Del Rei. **Anais...** São João Del Rei: UFSJ, 2016.

MANTOVANI, Marcelo et al., Fenologia Reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da Floresta Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.4, p-451-458, 2003.

MKHABELA, M.S. et al., Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, p-385-393, 2010.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4ª Edição. Viçosa: Editora UFV, 2011. 319 p.

NASA. *National Aeronautics and Space Administration*. **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)**. Disponível em: <<http://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis>>. Acesso: em Out 2016

NASA. *National Aeronautics and Space Administration*. **Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)**. Disponível em: <<https://trmm.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso: em Out 2016

PEGORIM, Josélia. **Que bloqueio é esse?** CLIMATEMPO, 2015. Disponível em: < <http://www.climatempo.com.br/noticias/285020/que-bloqueio-e-esse/>>. Acesso: em Out 2016

OLIVEIRA, P.E. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de Cerrado. In: SANO, S.M., ALMEIDA, S.P., RIBEIRO, J.F., **Ecologia e Flora**, v. 1, EMBRAPA, 2008. Cap. 9, p. 275-287.

PEREIRA, A.R., ANGELOCCI, L.R., SENTELHAS, P.C. **Meteorologia Agrícola**. Edição Revista e Ampliada. Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo, 2007.

PEREIRA, G. et al. Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 139 - 148, 2013. Disponível em: < <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=109&SUMARIO=1612>>. Acesso: em Out 2016

PEREIRA, L. O. et al. Delimitação das áreas alagadas do Pantanal a partir da análise por Componentes Principais e *Transformada Wavelet*. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3, 2010, Cáceres. **Anais...** Cáceres: INPE, 2010. p.16-20.

PEREIRA, T.S. et al., Fenologia de espécies arbóreas em Floresta Atlântica da Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **IHERINGIA Série Botânica**, v.63, n.2, p.329-339, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268417307_Fenologia_de_especies_arboreas_em_Floresta_Atlantica_da_Reserva_Biologica_de_Poco_das_Antas_Rio_de_Janeiro_Brasil>. Acesso: em Out 2016

REBOITA, M.S. et al., Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 2010, p. 185-204. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228652533_REGIMES_DE_PRECIPITACAO_NA_AMERICA_DO_SUL>. Acesso: em Out 2016

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T.. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. Embrapa Cerrados. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

SANTOS, Paula Resende. **Análise das Queimadas no Cerrado e sua Relação com o uso e cobertura da terra para os anos de 2000 a 2014**. 2015. 56f. Monografia (conclusão do curso de Geografia) – Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2015.

SENTELHAS, P. C. ANGELOCCI, L.R. **Temperatura do solo e do ar**. São Paulo: ESALQ/USP, 2009.

SILVA, R.F.B et al., Monocultivos de Eucalipto, reflexividade e arena: Diálogos interdisciplinares em ambiente e sociedade. **Revista Terceiro Incluído – Transdisciplinaridade e Educação Ambiental**, v.2, n.2, p.35-50, 2012. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/teri/article/view/23287>>. Acesso: em Out 2016

SUN, Jian et al. The response of vegetation dynamics of the different alpine grassland types to temperature and precipitation on the Tibetan Plateau. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.188, n. 20, p.1-11, 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-015-5014-4>>. Acesso: em Out 2016.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. v.2, Recife, 2006.

WANG, Dongdong et al. Impacto f sensor degradation on the MODIS NDVI time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 119, p. 55-61, Abril 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442571100438X>>. Acesso: em Out 2016

ZHANG, Z. et al. MODIS NDVI times series clustering under dynamic time warping. International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing, v.12, n.5, 14f, 2014. Disponível em: <<http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0219691314610116>>. Acesso: em Out 2016