

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

Dinâmica da Vegetação Através do Índice EVI e sua Relação com
Variáveis Meteorológicas

Camila Caetano da Cruz

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**DINÂMICA DA VEGETAÇÃO ATRAVÉS DO ÍNDICE EVI E SUA
RELAÇÃO COM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS**

CAMILA CAETANO DA CRUZ

Sob a Orientação do Professor
Rafael Coll Delgado

e Co-orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2017

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

CC955d Cruz, Camila Caetano da, 1991-
Dinâmica da Vegetação Através do Índice EVI e sua
Relação com Variáveis Meteorológicas / Camila Caetano
da Cruz. - 2017.
35 f.: il.

Orientador: Rafael Coll Delgado.
Coorientador: Marcos Gervasio Pereira.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais, 2017.

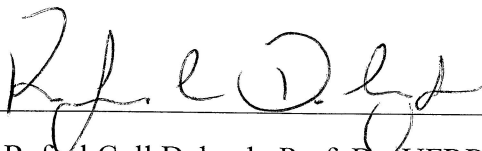
1. Sensoriamento remoto. 2. Dinâmica da vegetação.
3. Índice de vegetação. 4. Município de Pinheiral-Rio
de Janeiro. I. Delgado, Rafael Coll, 1978-, orient.
II. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-, coorient. III
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e
Florestais. IV. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

CAMILA CAETANO DA CRUZ

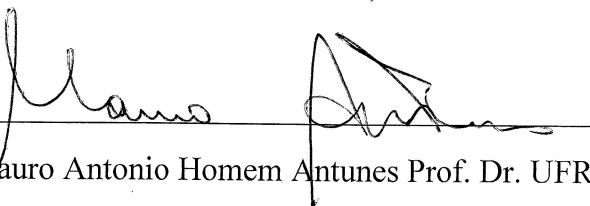
Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 15/02/2017.

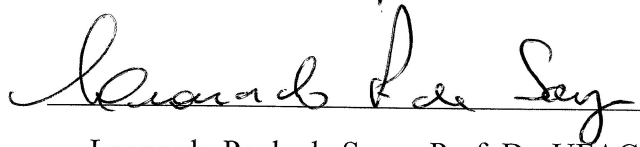


Rafael Coll Delgado Prof. Dr. UFRRJ

(Orientador)



Mauro Antonio Homem Antunes Prof. Dr. UFRRJ



Leonardo Paula de Souza Prof. Dr. UFAC

*Aos meus pais, Nahum da Cruz e Susana Maribel Caetano da Cruz,
meu exemplo de amor, dedicação e força de vontade.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a essa imensa energia criadora do Céu e da Terra, que permite que cada segundo aconteça da forma, da maneira e no lugar aonde tem que acontecer.

À minha família, meus pais, Susana Maribel Caetano da Cruz e Nahum da Cruz, por cada palavra de amor e ensinamentos, pelos abraços de conforto, por se fazer presente em cada momento da minha vida, pela paciência e compreensão.

Ao meu irmão, Felipe, pelo amor e companheirismo.

Ao meu orientador, o prof. Dr. Rafael Coll Delgado, pela paciência, companheirismo, compreensão, por todas as puxadas de orelha que me fizeram e me fazem crescer.

A todos os meus professores, por compartilharem parte de seus conhecimentos comigo e por contribuírem para a melhoria da educação no Brasil.

Aos funcionários da Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, que tornaram possível a efetivação do meu mestrado.

À banca examinadora, pelo aceite na participação desta etapa e no enriquecimento deste trabalho.

Ao professor Giovani Glaucio de Oliveira Costa, pela atenção, ensinamentos e disponibilidade para ensinar e conversar.

Ao professor Marcos Gervasio Pereira, pela co-orientação e pelas dicas e atenção durante a confecção do trabalho.

Aos colegas do LSRACA, Carlos Magno Moreira, Catherine Torres, Beatriz Griffó, Luiz Augusto Siciliano, Tamires Partelli, Mariana Chagas pela troca de informações e experiências, em especial a minha amiga Raquel Oliveira que foi fundamental na construção desse trabalho com muita paciência, carinho e vários momentos inesquecíveis.

A todos os meus amigos que estiveram presentes nessa etapa da minha vida, em especial a Mariana Elena Pinheiro, Mauro Sérgio Pinheiro, Bruna Fontinhas, Nathália Soares, Jéssica Cavaleiro, Gabriel Oliveira, Suzana Lima, Raíza Precinoto e Úrsula das Neves.

A todos os amigos da turma 2009-1 que me ajudam a construir a sociedade em que vivemos, em especial à Allana Oliveira, Murillo Cassiano e Andre Krykhtine.

A todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram para o desenvolvimento desse trabalho com seu apoio, carinho e solidariedade.

Ao Geid, uma casa iluminada que tem me ensinado muito desde 2014 e que tenho um imenso prazer de fazer parte dessa filosofia.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

À UFRRJ, pelo apoio institucional.

RESUMO

CRUZ, Camila Caetano da. **Dinâmica da vegetação através do índice EVI e sua relação com variáveis meteorológicas**. 2017. 46p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

O bioma Mata Atlântica é uma região biogeográfica com alta biodiversidade, contendo diversas reservas naturais que geram recursos indispensáveis para todos os seres vivos. Com o seu alto grau de desmatamento ao longo dos anos devido a ação antrópica, faz-se necessário a identificação e o monitoramento das mudanças do uso e cobertura do solo o que possibilita a melhor compreensão do futuro das florestas e como estão ocorrendo as suas mudanças. Com isso, esse trabalho tem o objetivo de avaliar a dinâmica da vegetação no bioma Mata Atlântica através do Índice de Vegetação Melhorado (EVI) e qual a sua relação com as variáveis meteorológicas: temperatura média do ar, chuva, radiação solar global, umidade relativa do ar e evapotranspiração. O trabalho foi realizado no município de Pinheiral no Estado do Rio de Janeiro. Foram utilizados os dados de vegetação do produto MOD13Q1, no período de 2001 a 2013, totalizando 299 imagens e dados mensais das variáveis meteorológicas, do mesmo período, totalizando 780 dados. As análises das tendências interanuais das séries temporais de índices de vegetação foram realizadas por meio das metodologias de linearidade, correlação linear, tendência linear, tendência monotônica de Mann Kendall, tendência mediana de Theil-Sen e análise dos perfis temporais e também a análise de tendência sazonal. Através da regressão linear múltipla, expressas pelas estimativas dos coeficientes da regressão e do coeficiente de determinação (R^2) foi estudada a correlação entre os dados meteorológicos e o índice de vegetação. Diante disso, foi realizado uma análise de uso do solo no mesmo período de estudo, de 2001, 2006 e 2013 através de classificadores gerados para cada valor do pixel da imagem. Com a geração dos perfis temporais dos índices de vegetação, observou-se que houve uma diminuição no vigor vegetativo, esse resultado foi de encontro às tendências interanuais estudadas, que indicaram decréscimo nos valores da vegetação tanto para a tendência monotônica de Mann Kendall como para a tendência mediana com valores próximos de 0 e negativos, sendo um comportamento não linear de acordo com as metodologias de correlação linear, linearidade e tendência linear. De acordo com a Análise de Tendência Sazonal, o EVI não apresentou um padrão de ciclo, ocorrendo uma mistura de ciclos, anual e semi-anual. Em relação a correlação dos índices de vegetação com as variáveis meteorológicas, foram encontrados valores de correlação que chegaram a 0,97 para o R^2 . Dessa forma, verifica-se uma alta explicação da dinâmica da paisagem através dessas variáveis climáticas. O EVI da paisagem para o Bioma Mata Atlântica se comporta de forma sazonal e em função das condições ambientais da região.

Palavra-chave: Sensoriamento remoto. Variáveis climáticas. Mata Atlântica.

ABSTRACT

CRUZ, Camila Caetano da. **Vegetation dynamics through the EVI index and its relation with meteorological variables**, 2017, 46p, Dissertation (Master in Environmental and Forest Sciences). Institute of Forestry, Department of Environmental Sciences, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

The Atlantic Forest biome is a biogeographic region with high biodiversity, containing several natural reserves that generate essential resources for all living beings. With its high degree of deforestation over the years due to anthropogenic action, it is necessary to identify and monitor changes in land use and cover, which enables a better understanding of the future of forests and how their changes are occurring. This work aims to evaluate the vegetation dynamics in the Atlantic Forest biome through the Enhanced Vegetation Index (EVI) and its relation with the meteorological variables: average air temperature, rainfall, global solar radiation, relative humidity and evapotranspiration. The study was carried out in the municipality of Pinheiral in the State of Rio de Janeiro. The vegetation data of the product MOD13Q1, from 2001 to 2013, totaling 299 images and monthly data of the meteorological variables of the same period, totaling 780 data, were used. The analyzes of the interannual trends of the time series of vegetation indices were performed using the methodologies of linearity, linear correlation, linear trend, monotonic tendency of Mann Kendall, median trend of Theil-Sen and analysis of temporal profiles as well as trend analysis seasonal. The correlation between the meteorological data and the vegetation index was studied through the multiple linear regression, expressed by the regression coefficient and the coefficient of determination (R^2) estimates. Therefore, a land use analysis was carried out in the same study period, from 2001, 2006 and 2013 through classifiers generated for each pixel value of the image. With the generation of temporal profiles of vegetation indices, it was observed that there was a decrease in vegetative vigor, this result was in line with the interannual trends studied, which indicated a decrease in vegetation values for both the monotonic tendency of Mann Kendall and Median trend with values close to 0 and negative, being a non-linear behavior according to the methodologies of linear correlation, linearity and linear trend. According to the Seasonal Trend Analysis, EVI did not present a cycle pattern, with a mixture of cycles, annual and semi-annual. In relation to the correlation of the vegetation indices with the meteorological variables, correlation values were found that reached 0.97 for the R^2 . Thus, there is a high explanation of the dynamics of the landscape through these climatic variables. The landscape EVI for the Atlantic Forest Biome behaves seasonally and depending on the environmental conditions of the region.

Key words: Remote sensing. Climatic variables. Atlantic forest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudo em destaque o Estado do Rio de Janeiro e o município de Pinheiral.	9
Figura 2. Etapas para obtenção dos valores médios do EVI	11
Figura 3. Obtenção dos dados climáticos de 2001 a 2013	12
Figura 4. Tendências interanuais para o EVI. (a) Linearidade; (b) Correlação linear; (c) Tendência linear; (d) Tendência Mediana; (e) Tendência de Mann Kendall.....	18
Figura 5. Análise de tendência sazonal para o EVI	19
Figura 6. Perfis espectrais temporais dos valores máximo, médio e mínimo do EVI entre o período de 2001 a 2013	21
Figura 7. Perfil sazonal do EVI (linha pontilhada preta) e variáveis climáticas (barra cinza) durante o período de 13 anos. (A) Perfil temporal mensal do EVI e Temperatura média do ar (°C), (B) Perfil temporal mensal do EVI e Chuva (mm), (C) Perfil temporal mensal do EVI e Radiação solar global (MJ.m-2.dia-1), (D) Perfil temporal mensal do EVI e Umidade relativa do ar (%), (E) Perfil temporal mensal do EVI e Evapotranspiração (mm)	23
Figura 8. Classificação da cobertura do solo através EVI no ano de 2001.....	27
Figura 9. Classificação da cobertura do solo através EVI no ano de 2006.....	28
Figura 10. Classificação da cobertura do solo através EVI no ano de 2013.....	28

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1. Período das imagens do sensor Modis.....	10
Tabela 2. Interpretação do fator de inflação de variância (VIF)	14
Tabela 3. Classificação dos valores de variação do EVI em conformidade com a cobertura terrestre.....	16
Tabela 4. Equações da análise de regressão múltipla do EVI em função das variáveis climáticas pelo método Enter.....	25
Tabela 5. Análise dos resultados do método Stepwise da regressão linear múltipla.....	26
Tabela 6. Quantificação das Classes de Cobertura do solo para a área de estudo nos anos 2001 e 2013.....	29
Quadro 1. Características do sensor MODIS.....	5
Quadro 2. Aplicações, medições e instrumentos do satélite Terra EOS –AM.....	5

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas
C1 e C2 - Coeficientes de ajuste
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
EOS - Earth Observing System
 ϵ_{\max} - Máxima Eficiência de Uso da Luz
EVI – Índice de Vegetação Melhorado (do inglês, Enhanced Vegetation Index)
G - Fator de ganho ajustado.
HDF - *Hierarchical Data Format*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC –Painel Internacional de Mudanças Climáticas (do inglês, Intergovernmental Panel on Climate Change)
IVs - Índices de Vegetação
L -Fator de Ajuste do Solo
MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MRT - Modis Reprojection Tool
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (do inglês, Normalized Difference Vegetation Index)
NetCDF - Network Common Data Form
 ρ_{ivp} - Reflectância na Região do Infravermelho Próximo
 ρ_{ver} - Reflectância na Região do Vermelho
 ρ_{azul} - Reflectância na Região do Azul
 r - Coeficiente de Correlação de Pearson
REM - Radiação Eletromagnética
 R^2 – Coeficiente de Determinação
SEBAL – Surface Energy Balance Algorithm for Land
STA - Análise de Tendência Sazonal
VIF - Fator de Inflação de Variância (do inglês, Variance Inflation Factor)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Mata Atlântica	3
2.2 Histórico da mudança da paisagem do município	3
2.3 Sensoriamento remoto	4
2.3.1 MODIS	4
2.3.2 MOD13	6
2.4 Variáveis ambientais e os fatores que interferem no comportamento espectral da vegetação	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Localização e caracterização da área de estudo	8
3.2 Obtenção e processamento dos dados	10
3.2.1 Aquisição das imagens do MODIS	10
3.2.2 Série temporal do EVI	11
3.2.3 Série temporal dos dados meteorológicos	11
3.3 Análise estatística dos dados	13
3.3.1 Análise de regressão múltipla	13
3.4 Análise da tendência do comportamento do índice de vegetação EVI	14
3.5 Análise da dinâmica da paisagem através do EVI	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Detecção das mudanças na cobertura vegetal através do EVI	26
5 CONCLUSÕES	30
6 REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

As modificações no uso e cobertura da Terra, suas causas e consequências, têm sido medidas através de métodos diretos e indiretos nos últimos anos, no intuito de verificar a vulnerabilidade humana em relação às mudanças ocorridas e como elas afetam o ciclo da vida. Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), alterações como o aumento da temperatura média do ar e a redução da disponibilidade de água doce são consequências das alterações das condições climáticas do globo (IPCC, 2014).

O Brasil se encontra no ranking dos países que mais desmatam no mundo (HANSEN *et al.*, 2013). São as atividades agrícolas, de mineração, de geração de energia e de extração de petróleo as que causam maior impacto na mudança da paisagem, tendo como consequências a perda da biodiversidade, extinção de espécies, redistribuição geográfica e fenológica de algumas espécies (PNUMA, 2013). A Mata Atlântica, um dos seis biomas brasileiros, está em alerta devido ao estado de fragmentação dos seus remanescentes de floresta (MMA, 2014).

O Estado do Rio de Janeiro, inserido no bioma Mata Atlântica, mostra bons resultados ao se manter no nível de desmatamento zero do SOS Mata Atlântica com a retirada de cobertura do solo de apenas 27 hectares, no período de 2014 a 2015 (SOS Mata Atlântica, 2016), o que evidencia a preocupação com a preservação de seus remanescentes. Porém, seu alto grau de desmatamento, desde o período da colonização, traz alterações na dinâmica do ciclo biogeoquímico, no sequestro de carbono e no ciclo hidrológico (TANIZAKI e MOULTON, 2000).

Elementos indispensáveis para o desenvolvimento sustentável dos recursos naturais são as medidas de precaução e diminuição dos causadores de desequilíbrio ambiental. O aumento da proteção e distribuição das florestas são de suma importância na redução das mudanças climáticas, atuando como um captador e armazenador de carbono, aumentando o fornecimento de água, melhorando a qualidade dos solos e aumentando a biodiversidade da fauna e flora (WHITMORE 1990, FEARNSIDE, 1996, FISHER e THOMAS 2004, NORA e MARTINI, 2010, FERREIRA *et al.*, 2015).

Devido à importância das florestas no papel de co-autora no aumento da qualidade do ar, solo e água, faz-se necessário o estudo de seu monitoramento em relação a sua distribuição geográfica e sua produtividade (EASTMAN, *et al.*, 2009). Diversos recursos tecnológicos têm sido empregados para tal, como inventários florestais, monitoramento através de sensores orbitais, estimativas através de modelos ecossistêmicos, medições diretas de fluxo de CO₂ em nível de paisagem (covariância de vórtices turbulentos), entre outras (HOUGHTON *et al.*, 2009).

Diante dos recursos disponíveis, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto tem sido uma opção viável para avaliar e estudar as variações ambientais e climáticas, pois propicia uma visão de grande escala no tempo e no espaço. Desse modo, essas técnicas podem ser empregadas para o estudo da dinâmica da paisagem espacialmente e temporalmente, possibilitando um melhor entendimento dos mecanismos importantes para o futuro das florestas tropicais (SALESKA *et al.*, 2009).

Sendo assim, os avanços tecnológicos na área aeroespacial permitem o uso de satélites com maior disponibilidade de recursos. Os sensores orbitais acoplados aos satélites têm auxiliado no fornecimento de informações precisas sobre o monitoramento do continente e seus recursos florestais (KHATAMI *et al.*, 2016). Um desses exemplos é o sensor MODIS (Moderate resolution Imaging Spectrometer) que apresenta como ferramenta de monitoramento terrestre, os índices de vegetação (IVs).

Os IVs são transformações matemáticas da refletância que, em geral, realçam o comportamento espectral da vegetação e se relacionam com os parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa, porcentagem de cobertura verde e teor de clorofila (JIANG *et al.*, 2008, EBERHARDT *et al.*, 2015). Tem como instrumento o índice de vegetação melhorado - EVI (Enhanced Vegetation Index), que melhora algumas repostas contidas na vegetação, por ser mais sensível às variações estruturais e arquitetônicas do dossel, além de reduzir as influências atmosféricas e do solo (HUETE *et al.*, 2002).

Nesse contexto, são diversos os trabalhos com base em índices de vegetação que visam observar as mudanças na vegetação através de séries temporais (SPANNER *et al.*, 1990; HUETE *et al.*, 2002; BALDÍ e PARUELO, 2008; ROSEMBACK *et al.*, 2010), buscando uma maior eficiência na elaboração de planos de manejo de recursos naturais, assim como na análise da paisagem (SOARES FILHO, 1998), delimitar as áreas prioritárias para a conservação ou ainda realizar estudos que envolvam tópicos sobre mudanças globais (JUSTICE *et al.*, 2002), modelagens de ciclos biogeoquímicos, estimativas de emissão de carbono (DEFRIES *et al.*, 2002) dentre outros.

Com base nas considerações apresentadas, o presente trabalho tem como objetivo geral:

Detectar, caracterizar e quantificar as mudanças na cobertura vegetal através do EVI, verificando a influência das variáveis meteorológicas (temperatura média do ar, chuva, evapotranspiração, umidade relativa do ar e radiação solar global) no município de Pinheiral, no período de 2001 a 2013. Pode-se, assim, fazer uma análise da degradação ambiental que se processa de forma gradual na região do Médio Vale do Paraíba, o que será útil para a definição de políticas públicas na área de ocupação urbana desordenada e áreas que necessitam de recuperação.

Foram definidos como objetivos específicos do trabalho:

1. Identificar e caracterizar as mudanças na paisagem no município de Pinheiral, utilizando imagens multitemporais do EVI através do sensor MODIS do satélite Terra;
2. Compreender os processos de degradação e recuperação dos fragmentos da Mata Atlântica usando dados de satélite e dados meteorológicos;
3. Quantificar e verificar tendências de mudanças na paisagem ocorridas no período de 2001 a 2013 e verificar a relação com a sazonalidade;
4. Calcular estatisticamente a relação entre o EVI e as variáveis meteorológicas analisadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mata Atlântica

A Mata Atlântica é um bioma brasileiro, sendo definido como uma zona do espaço geográfico que tem por características, uma determinada fitofisionomia ou formação vegetal, consonância de um clima definido, com sua fauna e outros organismos associados, integrado com as condições edafo-climáticas, como solo, altitude, fogo, salinidade, entre outros (COUTINHO, 2006). A Mata Atlântica é constituída por um conjunto de formações florestais como, Florestas: Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Estacional Semidecidual, Estacional Decidual e Ombrófila Aberta e ecossistemas associados como as restingas, manguezais e campos de altitude (MMA, 2014).

Com uma cobertura original abrangendo 17 estados brasileiros (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí) (SOS MATA ATLÂNTICA, 2016), uma parte do Paraguai (CARTES e YANOSKY, 2003; HUANG *et al.*, 2007) e Argentina (GIRAUDO, 2003), esse bioma possui ampla importância mundial devido às características inerentes a sua fauna e flora. O bioma apresenta uma área de aproximadamente 1.315.460 km² (estados brasileiros), num território que compreende quase 72% da população brasileira (IBGE, 2014), sendo mais de 145 milhões de habitantes em 3.429 municípios, correspondentes a 61% dos existentes no Brasil (IBGE, 2010).

Devido ao seu alto grau de desmatamento na época da colonização do Brasil e, posteriormente, a extração de diversos recursos naturais, dentre eles a madeira, os cinco séculos que se seguem ao descobrimento do Brasil, simbolizam a Mata Atlântica atualmente. A cada novo ciclo econômico de desenvolvimento do país, mais um passo se dava a caminho da destruição de milhares de quilômetros quadrados de floresta, que se reduziram a vestígios (DEAN, 2004).

No século XXI, o que se verifica é que restam apenas 8,5% dos remanescentes florestais acima de 100 hectares que existiam originalmente. Somados todos os fragmentos e remanescentes florestais acima de 3 hectares, compreende-se cerca de 12,5% do total original (SOS, 2016).

Sendo assim, considerada uma importante área que necessita de conservação, a Mata Atlântica apresenta uma grande diversidade de espécies endêmicas. É uma região biogeográfica que, simultaneamente, é uma reserva de biodiversidade, em que suas espécies podem estar ameaçadas de extinção, que corresponde, assim, às áreas chamadas de *hotspots* (MYERS *et al.*, 2000).

Um bioma em que suas áreas preservadas contribuem para a regulação do clima, proteção dos solos, manutenção da economia, contribuindo para as atividades de pesca, turismo, geração de energia, agricultura, melhorando também a qualidade de vida da população residente da Mata Atlântica. Torna-se evidente a necessidade de entender as mudanças que ocorrem no meio ambiente e qual a vulnerabilidade da população frente aos impactos ambientais.

2.2 Histórico da mudança da paisagem do município

Diversos foram os povos que habitaram, colonizaram e devastaram a Mata Atlântica, desde os primeiros habitantes, coletores-caçadores até a população atual. Cada povo com seus

costumes e hábitos que levaram a Mata Atlântica ao cenário que se encontra na atualidade (DEAN, 2004).

A Mata Atlântica devido a sua localização litorânea sofreu fortes impactos em relação a exploração de seus recursos naturais. Algumas variáveis podem ter contribuído para a construção do cenário de destruição que se configurou ao longo do tempo pelas diversas ocupações do território, devido a abundância da terra, mão de obra em abundância, técnicas rudimentares (PÁDUA, 2004).

Contudo, as modificações mais significativas ocorridas no ambiente das terras fluminenses se deram a partir de três empreendimentos característicos de três épocas distintas, quais sejam: i- as fazendas – engenhos de cana-de-açúcar nas planícies costeiras do final do século XVI; ii- as rotas de mineração entre portos costeiros e as Minas Gerais do século XVIII, o que de alguma forma provocou alterações nas áreas de interior – inclusive Vale do Paraíba – pois foram atravessadas por trilhas permanentes que apresentavam no seu percurso campos cultivados e pasto que eram formados à custa de derrubada de florestas; e iii- as fazendas de café do século XIX (DRUMMOND, 1997) – essas de grande importância para degradação das terras altas do médio vale do Paraíba do Sul.

A mudança da paisagem do município de Pinheiral se encontra ligada ao município de Pirai, ao qual fazia parte antes da emancipação. A região servia de passagem para o estado de Minas Gerais no século XVIII no ciclo do ouro e no século XIX teve a influência do ciclo do café no Vale do Paraíba (DEAN, 2004). No século XX, dois influxos econômicos auxiliaram no crescimento do município: a implantação da Represa Nilo Peçanha e a fábrica de papéis Pirahy. A emancipação do município ocorreu a partir da lei estadual Lei 2408/95, de 13 de junho de 1995 (IBGE, 2016).

2.3 Sensoriamento remoto

2.3.1 MODIS

O Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) - Quadro 1 - é um sensor a bordo do satélite Terra (EOS AM-1) – satélite de órbita hélio-síncrona, que foi lançado em 1999 e do satélite Aqua, lançado em 2002. O Earth Observing System (EOS) faz parte de um programa da National Aeronautics and Space Administration (NASA) de coleta de dados sobre o planeta Terra tendo como finalidade o monitoramento das mudanças que ocorrem no planeta Terra, observando-a em um intervalo de 1 a 2 dias (JUSTICE *et al.*, 2002).

Esse sensor foi projetado para abarcar três esferas relacionadas ao meio ambiente, troposfera, hidrosfera e litosfera com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para estes objetivos e com uma cobertura global quase diária (JUSTICE *et al.*, 2002, LATORRE, 2003).

É composto por imagens de 36 faixas espectrais que vão do visível ao infravermelho termal (620 a 14380 nm) (HEINSCH *et al.*, 2003), sendo que sete delas são projetadas para o estudo da vegetação e da superfície terrestre: azul (459-479 nm) – banda 3, verde (545-565 nm) – banda 4, vermelho (620-670 nm) – banda 1, NIR (841-875 nm, 1230-1250 nm) – banda 2 e 5, e SWIR (1628-1652 nm, 2105-2155 nm) – banda 6 e 7 (HEINSCH *et al.*, 2003). Possui uma alta sensibilidade radiométrica (12 bits) e gera imagens com resolução espacial de 250 metros para as bandas 1 e 2; 500 metros para as bandas 3 e 7 e 1000 metros para as outras 29 bandas.

Quadro 1. Características do sensor MODIS.

Plataforma	Terra e Aqua
Tamanho	1,0 x 1,6 x 1,0 m
Peso	228,7 Kg
Órbita	Altitude de 705 Km, cruzando o Equador às 10:30h em modo descendente (Terra) e às 13:30h no modo ascendente (Aqua), heliossíncrona, quase polar, circular
Taxa de varredura	20 rpm, ortogonal à órbita
Potência	162,5 W (media orbital)
Taxa de dados	10,6 Mbps (pico); 6,1 Mbps (media orbital)
Resolução radiométrica	12 bits
Resolução espacial	250m (bandas 1-2), 500m (bandas 3-7), 1000(bandas 8-36)
Vida útil	6 anos

Fonte : <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specification>

O sensor MODIS fornece informações como: temperatura da superfície terrestre, produtividade primária bruta, índice de área foliar, saldo de produção primária, FPAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida) e reflectância da superfície de composição da Terra, tornando-se muito atrativo para simulação de modelos de ecossistemas, pois os produtos gerados pelo sensor MODIS, quantificam e detectam mudanças na cobertura terrestre (HEINSCH *et al.*, 2003). Esse sensor merece destaque especial por abranger uma série de funções, como podemos observar no Quadro 2.

Estes dados são fornecidos a cada 8 ou 16 dias, dependendo do produto, com resoluções espaciais que variam de 250 a 1000 m, corrigidos para os efeitos dos gases atmosféricos, aerossóis e nuvens cirrus fina.

Quadro 2. Aplicações, medições e instrumentos do satélite Terra EOS –AM.

Aplicações	Medidas	Instrumento/Sensor
Atmosfera	Propriedades das nuvens	MODIS
	Fluxo de energia e radiação	
	Propriedades dos aerossóis	
	Temperatura da superfície	
	Umidade da superfície	
Solo	Cobertura e uso da mudança da terra	MODIS
	Dinâmica da vegetação	
	Temperatura da superfície	
Oceano	Ocorrência de incêndios	MODIS
	Efeitos vulcânicos	
Gelo	Temperatura da superfície	MODIS
	Fitoplâncton e material orgânico dissolvido	
	Gelo no mar	
	Cobertura de neve	

Fonte: ATDB Modis.

2.3.2 MOD13

O MOD13 é um produto do sensor MODIS e que em sua plataforma possui seis produtos correspondentes aos índices de vegetação NDVI e EVI, os quais são:

- MOD13Q1 (resolução espacial: 250 m e composição de 16 em 16 dias);
- MOD13A1 (resolução espacial: 500 m e composição de 16 em 16 dias);
- MOD13A2 (resolução espacial: 1 km e composição de 16 em 16 dias);
- MOD13A3 (resolução espacial: 1 km e composição de 30 em 30 dias);
- MOD13C1 (resolução espacial: 0,05° e composição de 16 em 16 dias);
- MOD13C2 (resolução espacial: 0,05° e composição de 30 em 30 dias).

Esses dados podem ser utilizados como insumo para modelagem de processos biogeoquímicos e hidrológicos globais e clima global e regional. Esses dados também podem ser usados para caracterizar as propriedades e processos biofísicos da superfície terrestre, incluindo a produção primária e a conversão da cobertura terrestre. Esses índices permitem realizar estudos, tanto ao longo do tempo quanto no espaço, sobre as condições da cobertura vegetal, descrevendo e reconstituindo dados de variações fenológicas e discriminando variações interanuais da vegetação nas escalas global e regional (RUDORFF *et al.*, 2007).

De acordo com Silva (2004) e Vermote (2002), o produto índice de vegetação tem como base os dados gerados pela reflectância diária de superfície (série MOD09), nível 2, os quais são corrigidos para espalhamento molecular, absorção de ozônio e aerossóis.

O MOD13 possui dois índices de vegetação, o NDVI e o EVI. O produto utilizado no trabalho foi o MOD13Q1, com uma boa resolução temporal e espacial. Os produtos MODIS NDVI e EVI são calculados a partir de reflectâncias de superfície bi-direcionais corrigidas atmosféricamente que foram mascaradas para água, nuvens, aerossóis pesados e sombras de nuvens.

O NDVI é uma relação entre medidas espectrais das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, que apresenta rápida saturação, o que o torna insensível ao aumento de biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento (LATORRE *et al.*, 2003).

O NDVI é sensível à presença de clorofila e outros pigmentos da vegetação, responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho (HUETE *et al.*, 2002). É expresso pela razão entre a diferença da medida da reflectância (ρ) nos canais do infravermelho próximo (0,70 - 1,30 μm) e do vermelho (0,55 - 0,70 μm) e a soma desses canais (ROUSE *et al.*, 1974), ou seja:

$$\text{NDVI} = \frac{(\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{V}})}{(\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{V}})} \quad (1)$$

Em que,

ρ_{IVP} corresponde à reflectância na banda do infravermelho próximo;

e ρ_{V} corresponde à reflectância na banda do vermelho visível.

O valor do NDVI pode variar em uma escala entre -1 e 1 e quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal (ROUSE *et al.*, 1974).

O MODIS também inclui um novo Índice de Vegetação, o EVI, que minimiza as variações de fundo do dossel e mantém a sensibilidade em relação às condições densas de

vegetação. O EVI também usa a faixa azul de 500m para remover a contaminação atmosférica residual causada por nuvens de fumaça e sub-pixel.

O EVI foi desenvolvido no intuito de otimizar o sinal da vegetação, melhorar a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além do monitoramento da vegetação por intermédio de uma ligação do sinal de fundo do dossel e a redução das influências atmosféricas (LATORRE *et al.*, 2003). É expresso pela equação abaixo (HUETE *et al.*, 2002):

$$EVI = G \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{\rho_{IVP} + (C1.PV - C2 * \rho_{AZUL}) + L} \quad (2)$$

Em que, ρ_{IVP} representa a reflectância na região do Infravermelho próximo;

ρ_V representa a reflectância na região do vermelho;

ρ_{azul} representa a reflectância na região do azul;

C1 e C2 são coeficientes de ajuste para os efeitos de aerossóis na atmosfera;

L é o fator de ajuste do solo;

G é o fator de ganho ajustado.

Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: L=1, C1=6, C2=7,5 e G=2,5 (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007, HUETE *et al.*, 1997; JUSTICE *et al.*, 1998).

2.4 Variáveis ambientais e os fatores que interferem no comportamento espectral da vegetação

As variações climáticas, mudanças na temperatura, incidência de radiação solar e no regime hídrico, constituem um dos principais agentes de alterações da dinâmica da vegetação, influenciando na distribuição, estrutura e função da vegetação, o que sugere uma desvalorização da mesma sob a forma de bens e serviços, estendendo os impactos socioeconômicos e de ecossistemas. Nesse contexto, tornam-se cada vez mais importante, pesquisas que estudem a dinâmica de comportamento da vegetação e sua relação com o clima. Desde a descoberta de que os vegetais extraem da radiação eletromagnética (REM) emitida pelo Sol parte da energia que necessitam para viver, a interação entre essa radiação e a vegetação passou a ser estudada detalhadamente. Os principais elementos que influenciam a quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas são os pigmentos, a quantidade de água e a estrutura celular (MOREIRA, 2007).

A vegetação sofre modificações ao longo do tempo, em decorrência de alterações sazonais, estágio fenológico e mudanças climáticas bruscas. Além dessas que são alterações naturais da vegetação, há modificações impostas pelo homem através das práticas culturais. Por conseguinte, o comportamento espectral da vegetação ou determinada cultura pode ser alterado pela ocorrência de pragas na lavoura, implementação de sistemas de irrigação e adubação (NORA e MARTINI, 2010).

A determinação do estado da vegetação por meio de medições eco-fisiológicas é onerosa e demorada quando submetidos a grandes áreas e longos períodos de tempo, o que restringe seu manuseio em determinadas situações para modelagem do ambiente (MASELLI, 2004). Diante disso, o sensoriamento remoto é uma das tecnologias que mais contribuem e motivam o avanço nos conhecimentos de como a vegetação processa e interage com essa radiação eletromagnética, devido à sua capacidade de fornecer informações de forma sinóptica, abrangendo áreas extensas e com alta frequência de aquisição. Essa tecnologia de geração de imagens obtida por sensores remotos, através dos satélites, foi essencial para o avanço em relação aos estudos ambientais.

Com essa tecnologia é possível o seu uso na obtenção de diversos dados, haja vista os múltiplos usos das imagens de satélite.

O mecanismo criado para a captura dessas imagens são os sensores, que facilitam a extração de informações das imagens orbitais. Um desses é o algoritmo SEBAL – (Surface Energy Balance Algorithm for Land) que é amplamente utilizado em sensoriamento remoto para determinar fluxos de calor sensível e latente na superfície (BASTIAANSSEN, 1998). São necessárias imagens de satélite e alguns dados meteorológicos de superfície (torres de fluxo, GPS, entre outros) para converter os dados do algoritmo. A grande vantagem do SEBAL é determinar o saldo de radiação na superfície sem custos elevados (BASTIAANSSEN, 1998).

O Sensoriamento remoto proporciona a compreensão desses padrões da vegetação e das ligações entre suas estruturas e funções, assim como suas respostas à variabilidade climática. Parte dessa compreensão advém da disponibilidade de produtos biofísicos, o que representou um grande avanço na modelagem da produtividade da vegetação (BASTIAANSSEN, 2003). Ao se considerar a natureza e as fontes de incertezas relacionadas à modelagem da produtividade, é possível organizar as contribuições do sensoriamento remoto para a redução dessas incertezas em tópicos que abordam os processos de balanço de radiação, estrutura e fenologia de ecossistemas florestais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área estudada está localizada no Estado do Rio de Janeiro, na região do Médio Paraíba, no município de Pinheiral – RJ (Figura 1), na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal que compõe a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, situado em sua margem direita, localizada entre as latitudes 22°29'03``S e 22°35'27``S e entre as longitudes 43°54'49``W e 44°04'05``W.

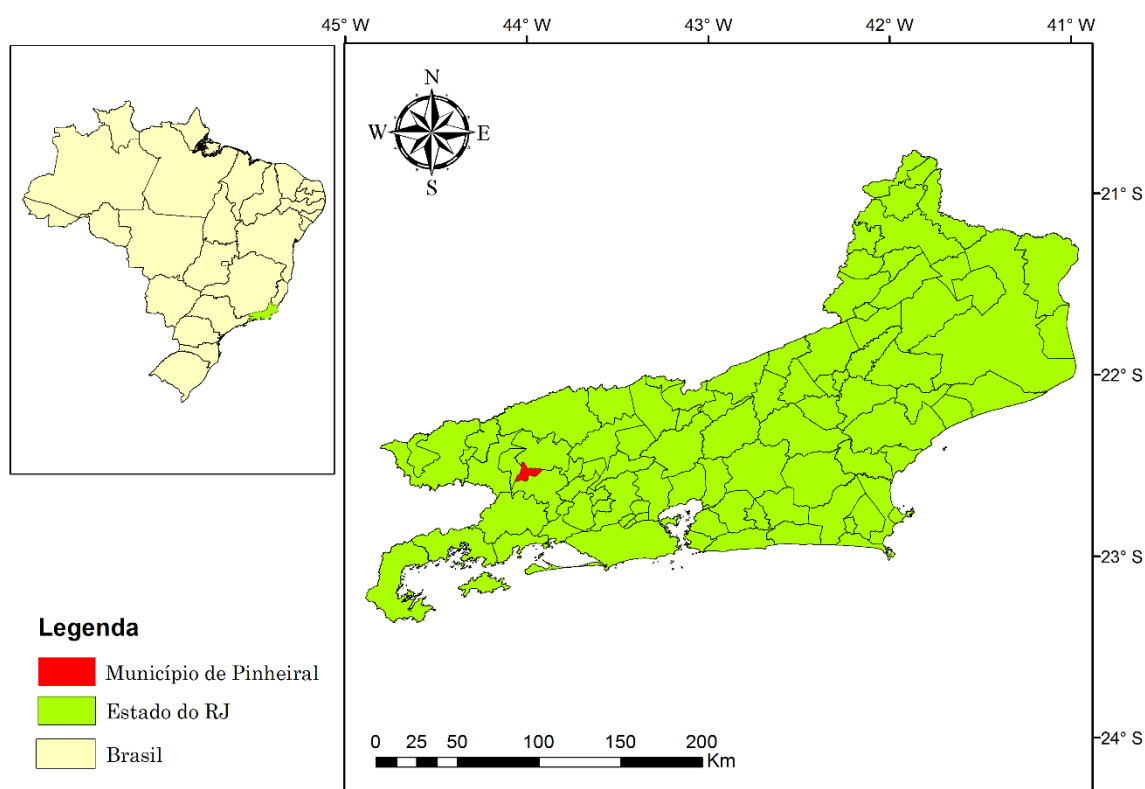


Figura 1. Localização da área de estudo dentro do Estado do Rio de Janeiro.

O clima do município de Pinheiral, de acordo com a classificação de Köppen (1948), foi identificado de duas formas distintas: em Cwa – clima temperado de inverno seco e verão chuvoso, e Am – clima tropical chuvoso com inverno seco. Dados da antiga Estação meteorológica de Piraí indicam que a região apresenta precipitação média anual em torno de 1308 mm e temperatura média do ar anual de 20,9°C (OLIVEIRA, 1998).

O município se insere em área de domínio ecológico da Mata Atlântica, cuja vegetação original denomina-se Floresta Estacional Semidecidual Submontana (IBGE, 1992; CONAMA, 1996). A vegetação atualmente dominante na região é constituída por pastagens, implantadas e espontâneas não manejadas, que se apresentam em diferentes estágios de degradação, nível de uso e/ou abandono, dando origem às demais formas de vegetação da área, como os pastos sujos e as capoeiras em diferentes estágios sucessionais.

A região apresenta várias formas de relevo com distintos graus de dissecação, conhecida pelo relevo “mar de morros”. A altitude varia desde 360 metros, na várzea do Paraíba do Sul, foz do ribeirão Cachimbal, até 720 metros na serra do Arrozal, no interflúvio ao sul da bacia do ribeirão Cachimbal. Na área de abrangência da sub-bacia do Ribeirão Cachimbal predominam encostas com declividades variadas (72,0 %), poucas áreas de topos de morros aplainados (5,7%) e várzeas estreitas (22,3%) nos vales estruturais da bacia e as margens de seu canal principal (OLIVEIRA, 1998).

Em relação às características pedológicas, o levantamento de solos realizado nas terras da antiga Fazenda Pinheiros, no município de Pinheiral – RJ, em escala 1:10.000 (UFRRJ; EMBRAPA/CNPS & UFF/CANP, 1998), foi avaliada as unidades de mapeamento predominantes nas encostas como: Argissolo Vermelho-amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo Háptico.

3.2 Obtenção e processamento dos dados

3.2.1 Aquisição das imagens do MODIS

Para analisar a variação espaço-temporal da vegetação do município de Pinheiral foram utilizadas imagens do sensor MODIS. As imagens foram adquiridas através do site da NASA (<http://glovis.usgs.gov/>) de forma gratuita.

As imagens do sensor MODIS são disponibilizadas com alguns processamentos já realizados como o georreferenciamento e a correção dos efeitos atmosféricos. Essas imagens possuem alta resolução temporal, que varia de 1 a 16 dias (JUSTICE *et al.*, 2002), e uma resolução espacial do sensor de 250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir.

Faz-se necessário a conversão das imagens no programa Modis Reprojection Tool (MRT), que é de acesso livre com download disponível no site da NASA, originalmente na projeção Integerized Sinusoidal (formato HDF – Hierarchical Data Format), para a projeção geográfica WGS 84 e formato Geotiff. Devido às imagens serem disponibilizadas e georeferenciadas para o Norte dos Estados Unidos, é necessário a correção da projeção, sistema de referência e localização para a área de estudo.

No estudo foram utilizadas 299 imagens, do produto MOD13Q1, tile h13v11 do EVI sendo 23 imagens por ano, em um total de 13 anos, conforme a tabela 1 apresentada abaixo. Foi adquirida para esse estudo uma série temporal de imagens de EVI já calculado, com uma resolução espacial de 250m e resolução temporal de 16 dias.

Tabela 1. Período das imagens do sensor Modis.

Anos	Aquisição das imagens	Datas
Bissextos	2004/ 2008/ 2012	01/01, 17/01, 02/02, 18/02, 05/03, 21/03, 06/04, 22/04, 08/05, 24/05, 09/06, 25/06, 11/07, 27/07, 12/08, 28/08, 13/09, 29/09, 15/10, 31/10,16/11, 02/12, 18/12
Normais	2001 / 2002 / 2003 / 2005 / 2006 / 2007 / 2009 / 2010 / 2011 / 2013 / 2014	01/01, 17/01, 02/02, 18/02, 06/03, 22/03, 07/04, 23/04, 09/05, 25/05, 10/06, 26/ 06, 12/07, 28/07, 13/08, 29/08, 14/09, 30/09, 16/10, 01/11, 17/11, 03/12, 19/12

3.2.2 Série temporal do EVI

A série temporal de imagens de EVI engloba um período de 13 anos, do ano 2001 até 2013. Os dados diários são baixados em uma escala de 16 em 16 dias, que corresponde ao intervalo de tempo utilizado pelo produto MOD13Q1 e posteriormente convertido para uma escala mensal, a fim de comparar com os dados climáticos. O procedimento para gerar a série temporal foi realizado no software ArcGIS 10.2, que permite a visualização dos valores médios das imagens do EVI.

Os valores médios do EVI foram encontrados a partir da visualização do histograma de cada imagem, em que posteriormente foram tabulados em uma planilha no programa Excel com o intuito de visualizar o comportamento do EVI nas diferentes estações do ano, seca e chuvosa.

As imagens foram processadas de acordo com a Figura 2 abaixo, através de três processos no programa ArcGIS 10.2 até a obtenção do valor médio do EVI.

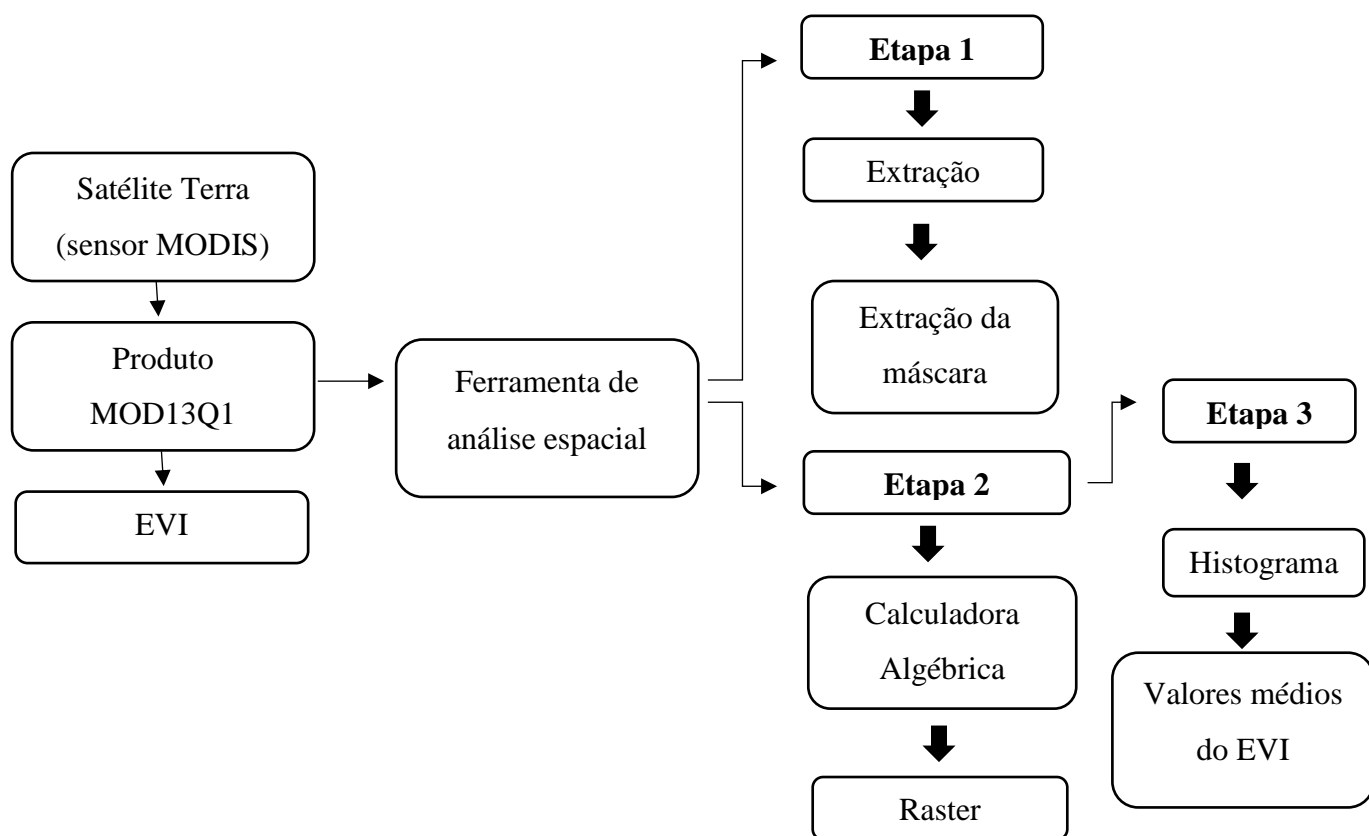


Figura 2. Etapas para a obtenção dos valores médios do EVI.

A série temporal de imagens foi calculada com os 12 meses do ano, sendo feita uma média dos dois valores encontrados de cada mês, para a análise da dinâmica da paisagem, as imagens foram divididas por ano a fim de constatar o comportamento do EVI.

3.2.3 Série temporal dos dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram baixados do site <http://careyking.com/data-downloads/> (plataforma dos dados), em que se encontram em uma caixa de download

(<https://utexas.app.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>) com todas as variáveis estudadas no trabalho. O artigo faz parte de uma pesquisa entre pesquisadores brasileiros e americanos em que recolheram informações de uma série de dados com 33 anos de informação, de 1980 até 2013, sobre a temperatura máxima e mínima do ar, evapotranspiração, umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade do vento e chuva (XAVIER *et al.*, 2015).

As fontes de dados são do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE) (XAVIER *et al.*, 2015). Nesse trabalho serão utilizados os dados de temperatura média do ar (°C), chuva (mm), evapotranspiração (mm), radiação solar global ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e umidade relativa do ar (%). Os dados adquiridos são de ocorrência mensal, ou seja, foram baixados dados dos 12 meses do ano de cada uma das cinco variáveis estudadas, em um total de 13 anos de dados.

Para a análise e retirada das informações dos dados meteorológicos, faz-se necessário o uso do software ArcGIS 10.2 para a leitura das informações. O arquivo disponibilizado se encontra no formato NetCDF (Network Common Data Form), sendo um conjunto de bibliotecas do software, tendo um formato de dados auto-descritivos que suportam a criação, acesso e compartilhamento de dados científicos orientados por matriz.

Para a obtenção da série climatológica foram utilizados dois procedimentos (Figura 3): 1) abertura do arquivo no software ArcGis 10.2 para a leitura dos dados e 2) tabulação dos dados no programa Excel, no período de 2001 a 2013 das cinco variáveis estudadas.

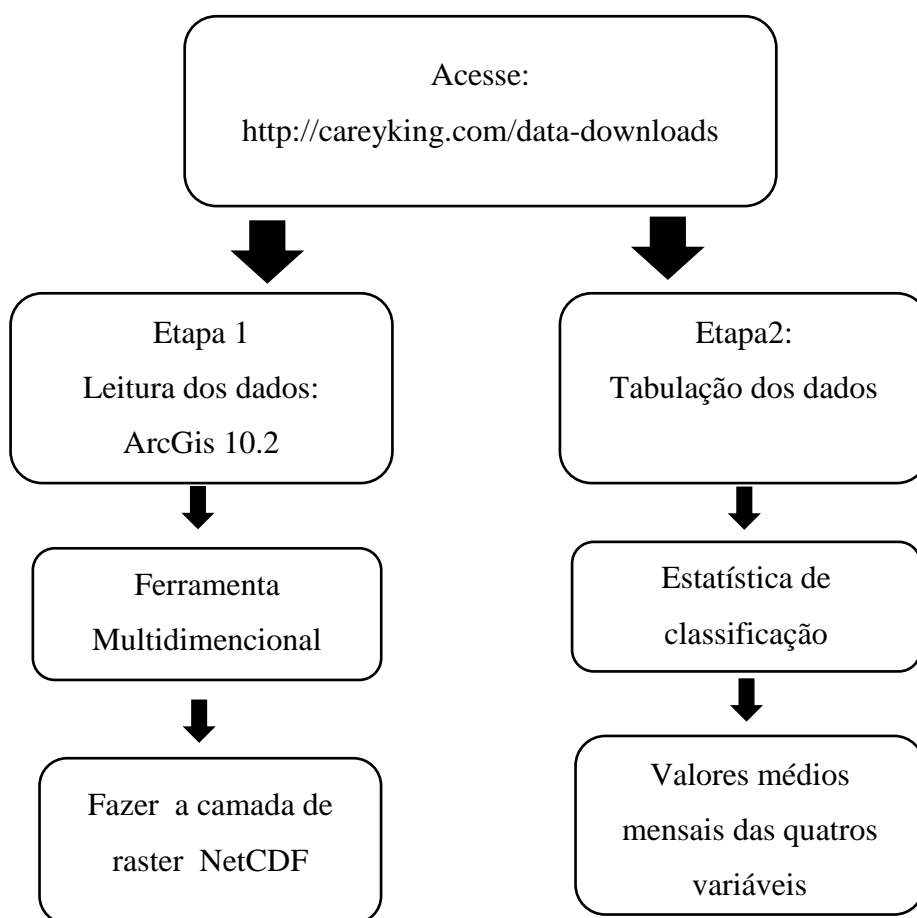


Figura 3. Obtenção dos dados climatológicos de 2001 a 2013.

3.3 Análise estatística dos dados

3.3.1 Análise de regressão múltipla

A análise de regressão múltipla foi calculada em três etapas no intuito de entender o comportamento das variáveis estudadas, sendo o EVI e sua relação com as variáveis meteorológicas. Esse método estatístico é utilizado principalmente para encontrar a variável menos representativa e verificar quais variáveis que mais influenciam na mudança da paisagem.

A análise da regressão linear múltipla tem como resultado uma equação matemática que descreve o relacionamento de uma variável explicada em função de duas ou mais variáveis explicativas ou independentes.

O modelo de regressão múltipla é representado pela equação 3:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_p X_p + e \quad (3)$$

Em que α e β_i são os coeficientes do modelo, isto é, os parâmetros a serem estimados.

Os valores de β_i , os coeficientes de regressão, indicam em termos absolutos a importância ou o peso que a variável independente X_i tem para explicar a variável Y : cada incremento de uma unidade em X_i provoca um aumento ou diminuição igual ao coeficiente de regressão em Y .

Primeira etapa:

Foram calculadas treze modelos de regressão múltipla para todos os anos estudados, 2001 a 2013, a partir do método *Enter* em que para a determinação dos estimadores do modelo de regressão, utilizou-se o Método dos Mínimos Quadrados.

Segunda etapa:

Foram gerados treze modelos para identificar se existe multicolinearidade nos dados em que consiste em prever a existência de fraca ou forte correlação entre as variáveis preditoras. O parâmetro utilizado para detectar a multicolinearidade foi o fator de inflação de variância - Variance Inflation Factor (VIF), em que a interpretação seguiu as orientações da tabela 4.

A análise de regressão múltipla foi estimada através dos valores de R^2 e dos pesos dos coeficientes, determinando as relações lineares entre o conjunto de variáveis explicativas e a variável desfecho, determinando, assim, qual a melhor combinação do conjunto de variáveis explicativas para prever a variável resposta.

Terceira etapa:

Foram calculados treze modelos de regressão múltipla, a partir do método *Stepwise* para cada um dos anos estudados e analisando quais variáveis independentes mais influenciam no modelo, uma a uma, sendo assim, as variáveis independentes entram sequencialmente de acordo com a força de explicação que elas acrescentam à previsão de pertinência no modelo.

Os testes realizados na regressão múltipla foram:

- Teste de Durbin_Watson;

A estatística Durbin-Watson determina se a correlação entre termos de erro adjacentes é zero, usado para testar a presença de autocorrelação em resíduos. Quando o valor do teste está perto de 2 significa que o teste não é significativo e que os erros são independentes. Os valores da estatística **D** de *Durbin-Watson* são interpretados da seguinte forma:

1. $D \approx 0 \rightarrow$ resíduos positivamente autocorrelacionados;
2. $D \approx 2 \rightarrow$ resíduos não são autocorrelacionados;
3. $D \approx 4 \rightarrow$ resíduos negativamente autocorrelacionados.

- Teste de Multicolinearidade.

Analisa-se a relação linear entre as variáveis independentes. Avalia-se essa relação através do fator de inflação de variância (VIF). O VIF calcula o quanto a variância dos coeficientes de regressão estimados está correlacionada em comparação ao seu estado quando as variáveis explicativas não estão relacionadas linearmente, considerando, assim, o impacto de colinearidade entre as variáveis em um modelo de regressão. Na tabela a seguir, visualiza-se a interpretação do VIF.

Tabela 2. Interpretação do fator de inflação de variância (VIF).

VIF	Status dos preditores
VIF = 1	Não correlacionados
$1 < \text{VIF} < 5$	Moderadamente correlacionados
$10 > \text{VIF} > 5$	Altamente correlacionados

Fonte: Adaptado de Bisquerra *et al.*, 2009.

3. 4 Análise da tendência do comportamento do índice de vegetação EVI

A. Tendências Interanuais

Foi elaborado o perfil da série temporal do EVI, para a análise do seu comportamento ao longo dos anos de 2001 até 2013. Com o propósito de compreender como ocorrem as mudanças no comportamento interanual da vegetação, de forma espacial na área de estudo, foram avaliadas as tendências de comportamento de acordo com os métodos descritos a seguir:

A.1) Linearidade: por meio deste método é gerado o coeficiente de determinação R^2 , ao tomar como base uma regressão linear entre os valores de cada pixel da série temporal e uma série linear. Na prática, expressa o grau em que uma tendência linear está presente na série estudada.

A.2) Correlação linear: é resultado de uma correlação linear de Pearson, entre os valores de cada pixel da série temporal e uma série linear. O coeficiente de correlação de Pearson avalia o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre os valores

“-1” e “1”, sendo o valor “0” associado à ausência de relação linear, o valor “1” à uma relação linear perfeita e o valor “-1” associado à uma relação linear perfeita, mas inversa, ou seja, quando uma das variáveis aumenta a outra diminui.

O coeficiente de correlação de Pearson é calculado por meio da seguinte equação 4:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (4)$$

Em que, r é o coeficiente de correlação de Pearson, x e y são os valores da série temporal e da série linear gerada, respectivamente.

A.3) Tendência Linear: é o resultado do cálculo do coeficiente angular de uma regressão de mínimos quadrados entre os valores de cada pixel da série e uma série linear. Na prática, expressa a taxa de variação dos dados para o período entre cada imagem da série.

A.4) Tendência mediana: Representa o valor mediano calculado das inclinações entre todas as combinações de pares na série de tempo. É um método não-paramétrico, capaz de medir a taxa de alteração, inclusive em séries curtas e com presença de ruídos.

A.5) Tendência monotônica (Mann-Kendall): é um indicador de tendência não linear, capaz de inferir o grau em que uma tendência é crescente ou decrescente. Varia de -1 a +1, sendo que o valor de +1 indica uma tendência crescente e que nunca diminui, e -1 indica uma tendência decrescente e que nunca aumenta. Seu cálculo é realizado por meio de pares de valores ao longo do tempo, onde é contabilizada a diferença entre os acréscimos e decréscimos relativos na série.

A estatística do teste, segundo Silva *et al.* (2010), é a seguinte equação 5:

$$S_0 = \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{j=k+1}^N \text{sign}(x_j - x_k) \quad (5)$$

Em que, x_j representa os valores das imagens na série temporal, x_k são os valores na série temporal estimada, N é o comprimento da série, $(x_j - x_k)$ representa o sinal da série; se é negativa, positiva ou zero.

B. Tendências sazonais

B.1) Análise de tendência Sazonal (STA): este método utiliza duas etapas de análise de séries temporais para encontrar as tendências na forma de curva sazonal, com o propósito de descrever as tendências de carácter essencialmente sazonal, rejeitando ruídos e variabilidades de curto prazo.

Primeira etapa

Cada ano de dados é submetido a uma regressão harmônica, para extrair a amplitude e a fase de ondas senoidais com uma frequência anual e semestral, juntamente com a média anual (o termo de interceptação, conhecido como amplitude 0). Nessa primeira etapa são produzidos

cinco parâmetros, de forma a descrever o ciclo sazonal: amplitude 0 (Média anual), Amplitude 1 e fase 1 (ciclo anual), Amplitude 2 e fase 2 (ciclo semi-anual).

Segunda etapa

É calculado o declive médio de Theil-Sen, ao longo do tempo, para cada pixel, para cada uma das cinco séries de tempo geradas na etapa anterior, para a fase 1. O procedimento STA rejeita dois tipos de ruídos: Um sub-anual, com uma frequência de menos de seis meses e uma variabilidade interanual para 29% de toda a série estudada. Concentra-se, assim, em uma caracterização generalizada das tendências de longo prazo na sazonalidade. Como resultados desta análise são fornecidas imagens, uma representando as fases e outra representando as amplitudes, em que o valor RGB é atribuído à amplitude 0, amplitude 1 e amplitude 2, respectivamente, no caso da imagem de amplitude. Para a imagem de fase os valores de RGB são atribuídos à amplitude 0, fase 1 e fase 2, respectivamente.

3.5 Análise da dinâmica da paisagem através do EVI

Com o objetivo de analisar a dinâmica da vegetação, utilizou-se a metodologia de Santos *et al.* (2008), que consiste em: a partir dos valores do IV computado, identificar a vegetação existente na área de estudo. No estudo foi utilizado o EVI, ao contrário do NDVI da metodologia de Santos, pois o EVI é um índice menos sensível às variações do solo e aos efeitos atmosféricos e, portanto, mais sensível às variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (HUETE *et al.*, 2002). De acordo com a Tabela 3 abaixo, foram classificados cada pixel da imagem correlacionando com seu valor de EVI aos atributos de classificação da cobertura terrestre.

Tabela 3. Classificação dos valores de variação do EVI em conformidade com a cobertura terrestre.

COBERTURA TERRESTRE	VARIAÇÃO DOS VALORES DE EVI	CARACTERÍSTICAS
ÁGUA E SOMBRA	-0,77 a -0,20	Corpos d'água, sombreamento por nuvens ou relevo
ÁREAS NÃO VEGETADAS	-0,20 a 0,18	centros urbanos, povoados, vilas e os terrenos em preparo para a atividade agropecuária
VEGETAÇÃO BASTANTE ESPARSA	0,18 a 0,23	Áreas destinadas às atividades de criação de animais e os locais onde as plantações de culturas estão em fase inicial (recém plantadas)
VEGETAÇÃO ESPARSA	0,23 a 0,44	Culturas em estágio de crescimento e vegetais de pequeno porte

VEGETAÇÃO DENSE	0,44 a 0,75	Vegetação com estrutura bem desenvolvida ou plantações em estágio próximo a colheita
VEGETAÇÃO MUITO DENSE	0,75 a 1,00	Vegetação densa, úmida e bem desenvolvida

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Algumas mudanças podem ser inferidas de acordo com o resultado encontrado na Figura 4. A linearidade é um parâmetro de correlação e que está expresso em forma de valores distribuídos no mapa, os valores de EVI na Figura 4 estão mais próximos de 0 do que próximos de 1. Sendo assim, por meio do coeficiente de determinação (R^2), é possível deduzir que em toda área de estudo não houve correlação dos dados (Figura 4). Isso indica que o EVI variou bastante no período de 2001 a 2013, e, portanto, tem acontecido alterações nas características da vegetação em quase toda a área de estudo. Já a correlação linear, indicou que os valores obtidos para a maior parte da área foram baixos (entre 0 e 0,17). Os valores de EVI chegaram a 0,17, sendo esses valores encontrados na região central da área de estudo, representados pelas cores mais escuras, em tons de azul no mapa gerado (Figura 4). A maior parte da área encontra-se com valores muito próximos de 0, tons próximos do verde e amarelo no mapa, indicando praticamente nenhuma correlação entre os dados na série de tempo, representando uma alta variabilidade.

No caso dos resultados da tendência linear, verifica-se que os dados não são lineares, ou seja, as alterações acontecem de forma heterogênea em quase todos os anos, os valores variam na maior parte do mapa entre 0 e 1,92. Observando a tendência mediana, é possível entender que, na maior parte da área, os valores variam entre -4,96 e 2,29 demonstrando uma variação do EVI ao longo da série estudada de treze anos. Ao se analisar a tendência de crescimento (valores próximos a 1) ou decréscimo (valores próximos a -1) da série, a tendência monotônica de Mann-Kendall (MK) demonstra que a partir dos valores distribuídos no mapa, que na maior parte da área a série apresenta um padrão crescente e que pouco aumenta (valores entre 0 e 0,12), representado pelas cores verde e azul no mapa, porém em algumas áreas é possível observar um padrão decrescente (valores entre 0 e -0,30) identificados no mapa pelos tons de amarelo a laranja.

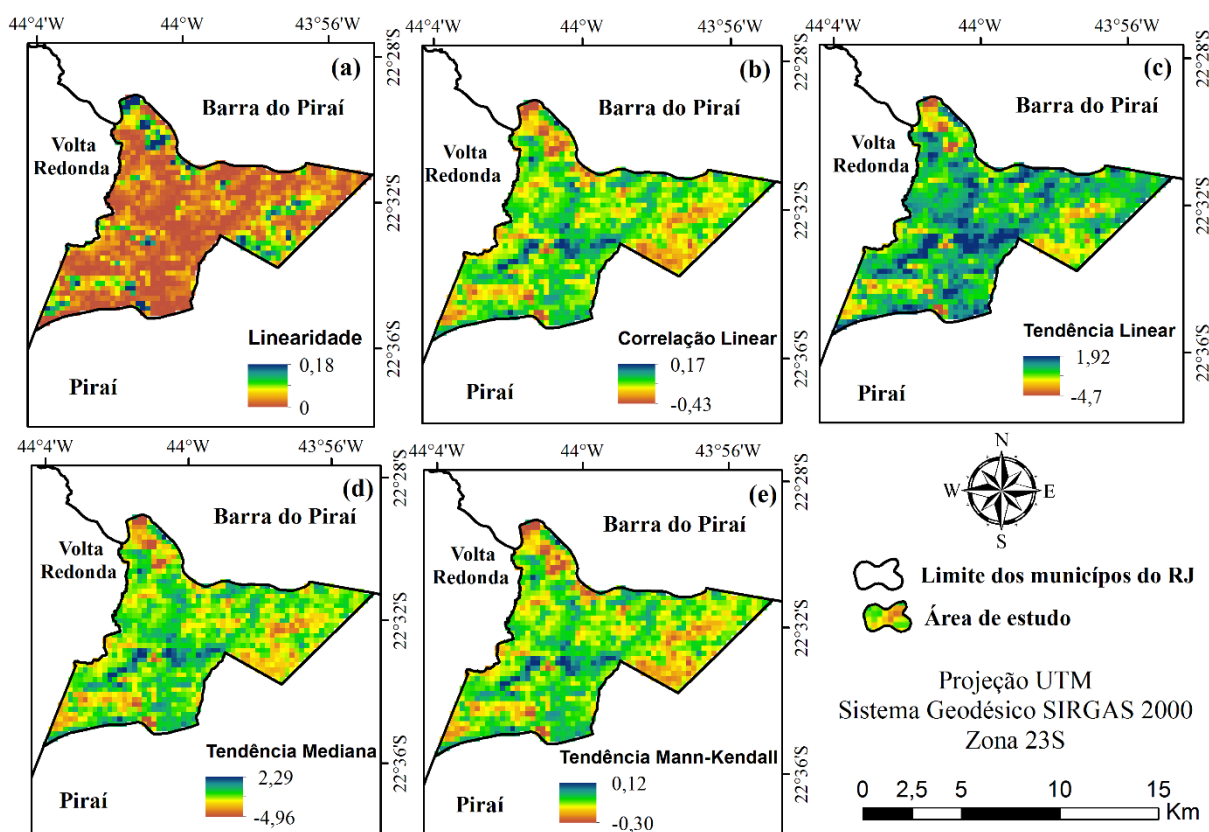


Figura 4. Tendências interanuais para o EVI. (a) Linearidade; (b) Correlação linear; (c) Tendência linear; (d) Tendência Mediana; (e) Tendência de Mann Kendall.

Após a análise das tendências inter- anuais, na Figura 5 observa-se a tendência sazonal para a área de estudo, parâmetros da análise harmônica nas amplitudes e fases do EVI. As composições coloridas RGB revelam que as áreas que passam por tendências sazonais similares apresentam a mesma resposta na composição colorida. Diante disso, decifrar, entretanto, os mapas de cores em termos das tendências, é tarefa difícil, e necessita de interpretações interativas com o conjunto de parâmetros (EASTMAN *et al.*, 2009).

É possível observar, por meio da Figura 5, que houve pouca diferenciação entre as regiões no mapa, havendo uma mistura de cores na maior parte do mapa. Considerando que a amplitude 0 refere-se à média anual dos dados, que a fase 1 e amplitude 1 descrevem um ciclo sazonal anual e que a fase 2 e amplitude 2 descrevem um ciclo sazonal semi-anual, pode-se observar que a região representativa pela variação de cores vermelho e azul (representados pela amplitude 0, amplitude 2 e fase 2), caracterizaram uma média anual e um ciclo sazonal semi-anual para essas áreas, não caracterizando um padrão de sazonalidade, ocorrendo uma mistura de ciclos, anual e semi-anual.

Grande parte do território do município apresenta como uso e cobertura do solo, áreas de pastagem e em menor dimensão cultivos agrícolas, o que pode influenciar no vigor vegetativo pouco definido. Percebe-se que uma pequena porção do mapa apresenta uma mistura da amplitude 1 e fase 1, e amplitude 2 e fase 2 (representadas pelas cores verde e azul, respectivamente), podendo estar relacionadas com as porções de fragmentos remanescentes distribuídos na área de estudo.

Branco (2016) encontrou o mesmo resultado para uma área do Estado do Espírito Santo, em que o NDVI e o EVI, apresentaram tendências semelhantes para a mesma área, indicando que a vegetação não está representada a partir de um padrão, havendo uma mistura entre ciclos, anual e semi-anual.

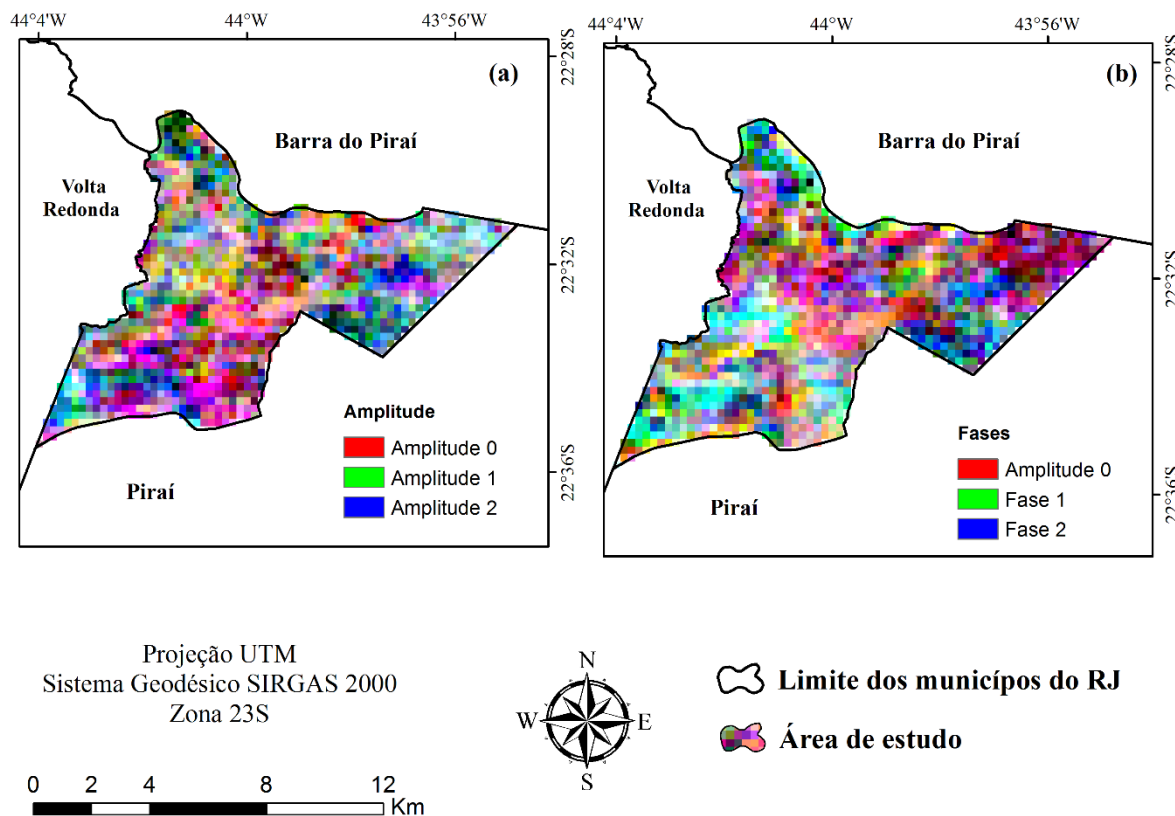


Figura 5. Análise de tendência sazonal para o EVI.

Ao longo da série temporal (Figura 6), o EVI extraído da imagem do município de Pinheiral, comporta-se da mesma maneira, mostrando um período de aumento e outro de decréscimo durante os anos analisados, indicando uma sazonalidade durante os anos, com variação de valores (entre 0,25 a 0,6).

Ferreira *et al.* (2007) observaram um comportamento semelhante entre os índices de vegetação EVI e NDVI do sensor MODIS, que expressaram um padrão de sazonalidade no Estado de Goiás. Encontraram que os resultados obtidos para o EVI se mostraram mais satisfatórios do que os resultados do NDVI, associado a maior saturação dos pixels do NDVI.

Nora e Martini (2010) encontraram resultados semelhantes no Estado do Rio Grande do Sul em bioma Mata Atlântica, em que o EVI e o NDVI apresentaram comportamento sazonal, revelando um decréscimo no valor dos IVs entre junho e setembro.

Um fator que determina os valores mais altos nos IVs entre os meses de novembro a março, demonstrando maior vigor vegetativo, é a maior disponibilidade de pigmentos fotossintéticos os quais absorvem com maior intensidade a radiação na faixa do vermelho e uma forte reflectância é registrada na faixa do infravermelho próximo, podendo ser causada pelas condições favoráveis desse período em disponibilidade de água e radiação solar (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

É importante salientar que em se tratando de dados de máxima composição de índices de vegetação, os valores máximos representados graficamente se referem aos pixels com valores máximos nas imagens, ou seja, às regiões onde há maior vigor vegetativo. Os valores mínimos se referem aonde há menor vigor vegetativo e os valores médios representam as médias representativas de toda a área e a variação representa o quanto os valores variaram dentro da área de estudo.

Nesse caso, os valores de EVI máximo, médio e mínimo se mantiveram constantes, com variação entre os semestres ao longo dos anos, indicando alterações na variação da cobertura vegetal na área estudada.

A Figura 7, apresenta o perfil sazonal do EVI de 2001 a 2013 comparado aos perfis sazonais das variáveis ambientais, com os maiores valores ($0,6 > \text{EVI} \geq 0,4$) dentro do período chuvoso, de novembro a maio e os menores valores ($0,4 > \text{EVI} \geq 0,2$) no período seco, de junho a outubro. Observando assim que os padrões temporais do EVI coincidiram com a sazonalidade das variáveis climáticas, especialmente com a temperatura média e a radiação solar global.

No período dos treze anos, a variação interanual da temperatura média do ar foi menor que $1,45^{\circ}\text{C}$ (variando de $23,84^{\circ}\text{C}$ a $22,4^{\circ}\text{C}$, sendo em 2003 e 2002, respectivamente). A radiação solar global, apresentou uma variação de $2,08 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (variando de $17,42 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ a $15,34 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em 2001 e 2008 respectivamente). A umidade relativa do ar e a evapotranspiração, variou em 6,26% (81% a 74,72%, em 2001 e 2008 respectivamente) e 183 mm (1336 mm a 1153 mm, em 2012 e 2005/2008, respectivamente).

A chuva foi a variável que apresentou alta variação, com 689 mm (variando de 1892 mm a 1203 mm, em 2009 e 2007, respectivamente). No entanto, a grande diferença entre os valores de chuva, não resultaram em uma grande variação na média anual do EVI, variando de 0,382 a 0,438, em 2011 e 2009, respectivamente.

Deng *et al.* (2007) verificaram que a chuva também não resultou em grande diferença na variação interanual nos IVs (EVI e NDVI), sendo a média anual 0,3604-0,3707 e 0,6886-0,7077, respectivamente, entre 2001 e 2004, em uma região de clima subtropical na China.

Nos resultados de Ribeiro *et al.* (2009), que correlacionaram variáveis climáticas com o EVI no Estado do Espírito Santo, observaram-se que nas áreas com floresta, o fotoperíodo, a chuva e a umidade relativa do ar são as variáveis que mais influenciam com R^2 de 0,49, enquanto que em um ambiente agrícola, a temperatura, umidade relativa e a chuva foram as que mais influenciaram com um R^2 de 0,45. Estimativas semelhante foram encontradas nesse estudo com a temperatura e a umidade relativa do ar influenciando na dinâmica do EVI, podendo ser associados, pois na área de estudo encontram-se capoeiras com diferentes estágios sucessionais e algumas porções de fragmento de remanescentes de florestas.

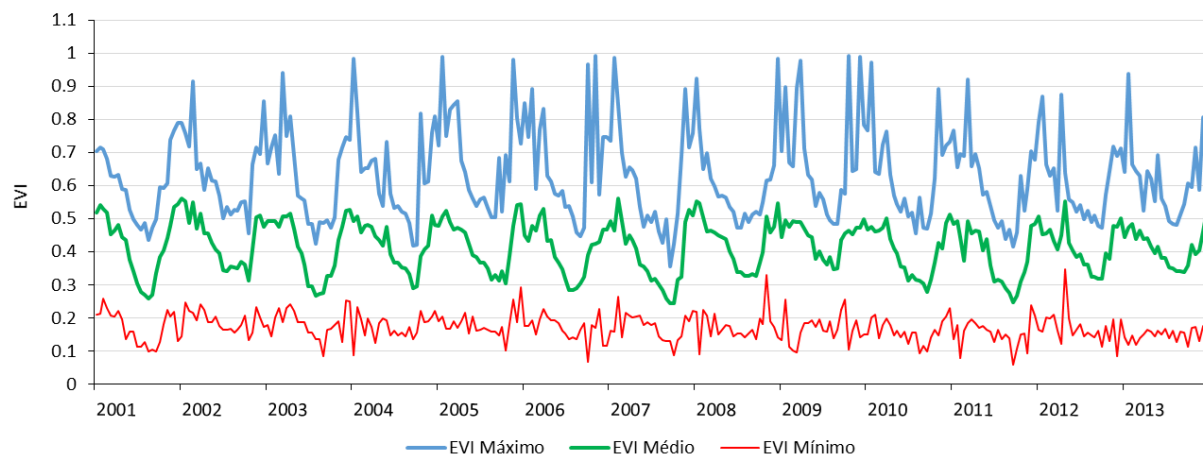
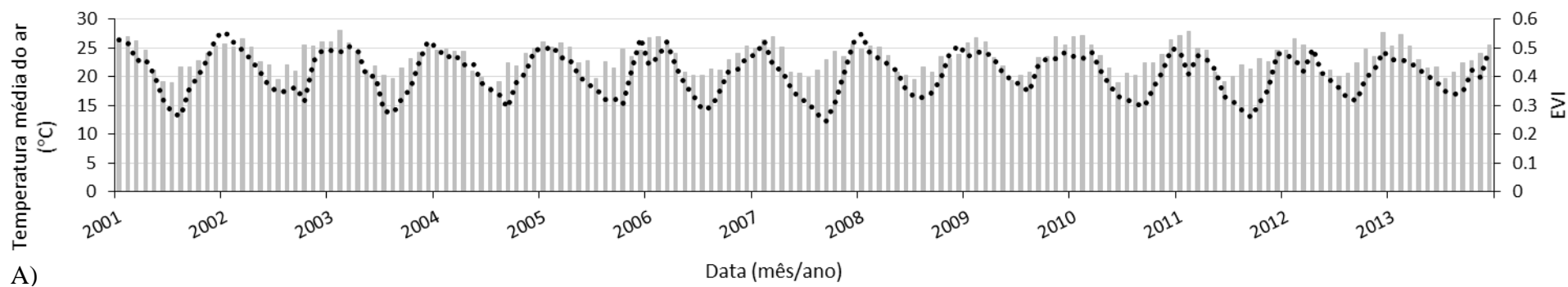
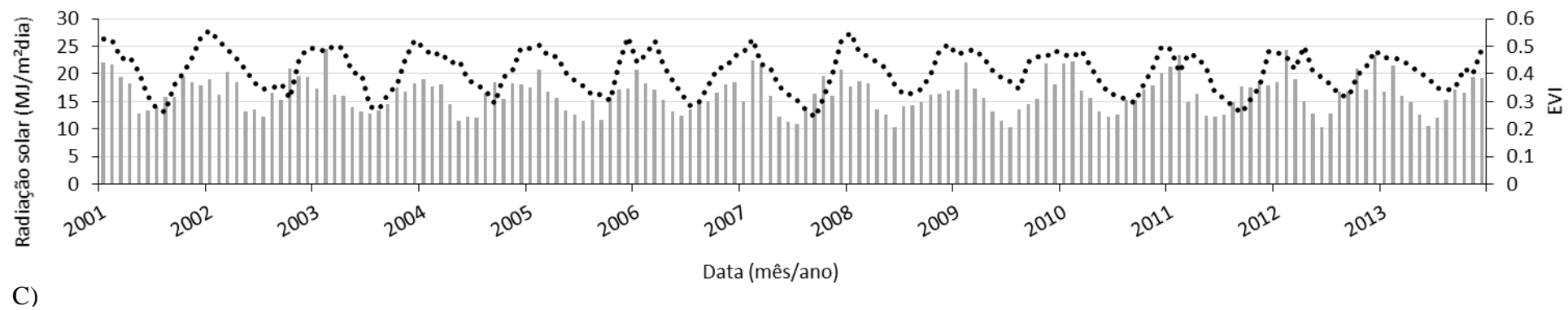
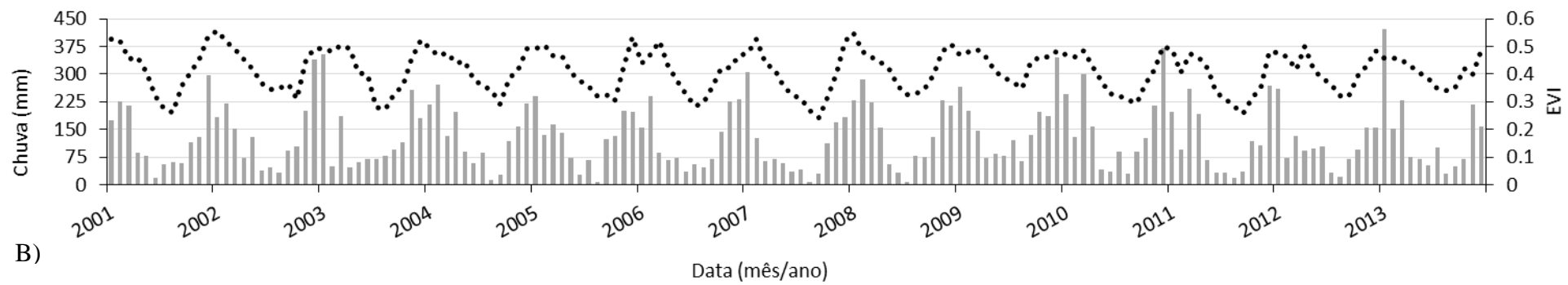


Figura 6. Perfis espectrais temporais dos valores máximos, médios e mínimos do EVI entre 2001 e 2013.



A)



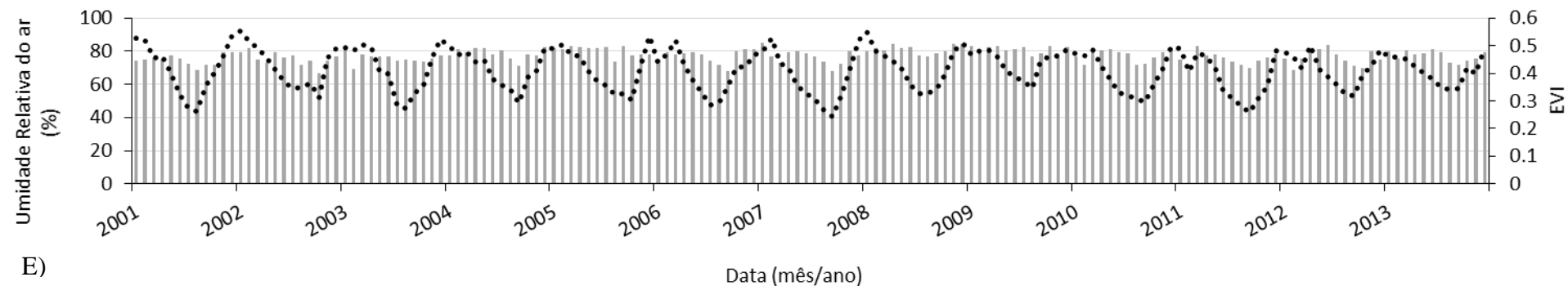
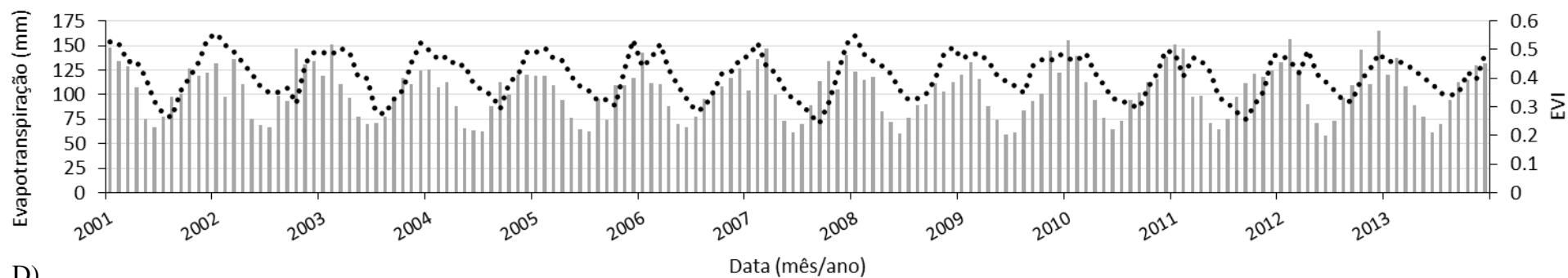


Figura 7. Perfil sazonal do EVI (linha pontilhada preta) e variáveis climáticas (barra cinza) durante o período de 13 anos. (A) Perfil temporal mensal do EVI e Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), (B) Perfil temporal mensal do EVI e Chuva (mm), (C) Perfil temporal mensal do EVI e Radiação solar global ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$), (D) Perfil temporal mensal do EVI e Evapotranspiração (mm), (E) Perfil temporal mensal do EVI e Umidade relativa do ar (%).

Os resultados encontrados na Tabela 4 foram representados por treze equações que permitem estimar e explicar o valor da variável EVI em função das variáveis climáticas estudadas (sendo X_1 = chuva, X_2 = Temperatura do ar, X_3 = Evapotranspiração, X_4 =Umidade relativa do ar, X_5 = radiação solar global). Dentre as treze equações geradas, os coeficientes que tiveram maior peso nas equações foram a temperatura do ar, umidade relativa do ar e a radiação solar global.

Esses resultados concordam com Ponzoni *et al.* (2015), na medida em que, quando avaliamos a dinâmica da vegetação, consideramos os elementos básicos que sustentam seu desenvolvimento. Quanto maior a quantidade de água disponível para a planta na atmosfera, mais a folha se torna apta a absorver radiação eletromagnética, resultando, assim uma alta relação e sendo diretamente proporcional com essas variáveis.

De acordo com Conti (2011), quando se retira a cobertura vegetal da área, surgem grandes extensões de áreas degradadas formadas geralmente por pasto ou solo nu, fato esse que pode contribuir para mudar a refletância da superfície. Com isso, pode levar a redução da energia térmica disponível - processo agravado pela ausência de nebulosidade, que favorece o escape da radiação infravermelha originada na superfície. A resultante dessa combinação de fatores é a não formação de correntes convectivas ascendentes, condição desfavorável à formação de chuvas, processo chamado de mecanismo biogeofísico de retroalimentação (feedback).

A temperatura também tem uma relação direta com o vigor vegetativo, sendo responsável por vários processos enzimáticos que dependem da temperatura. Os efeitos da temperatura do ar podem variar de acordo com a idade, o tipo de cobertura vegetal, disponibilidade hídrico, estado nutricional da planta e níveis de energia solar incidente (LARCHER, 2006), o que ratifica a temperatura do ar ser um dos parâmetros que mais influenciam no vigor vegetativo.

Nora e Martini (2010) encontraram respostas semelhantes quando avaliada as variáveis ambientais e os IVs (EVI e NDVI). Foi observado uma relação estreita entre a dinâmica sazonal da vegetação e a temperatura do ar em uma área de floresta estacional decidual no Estado do Rio Grande do Sul. A chuva também comparada no estudo, não obteve respostas semelhantes a temperatura, com pouca relação com a dinâmica da vegetação.

Os anos que obtiveram o maior R^2 foram os anos de 2002 e 2010 (0,97), seguidos de 2007 (0,94), 2009 (0,93), 2001 e 2006 (0,92) e 2003 e 2013 (0,91). Todos os anos tiveram um R^2 acima de 0,7, considerado bom para análises ambientais, sendo um R^2 que qualifica a confiança nas equações encontradas.

O teste de Darbin-watson mostra que na maioria dos anos o D variou entre 1,5 a 2,5, indicando que os resíduos não são autocorrelacionados.

Os valores encontrados de VIF para os anos estudos mostraram correlação entre as variáveis do modelo, apresentando valores maiores que 5. Diante disso, é necessário uma interpretação cuidadosa dos coeficientes da regressão visto que as variáveis são correlacionadas.

Tabela 4. Equações da análise de regressão múltipla do EVI em função das variáveis climáticas pelo método Enter.

Ano	Equações resultantes da regressão múltipla (coeficientes)	p-valor	R²	Durbin-Watson
2001	$Y = -1,025 + 8,93E-005X_1 + 0,12 X_2 - 6,42E-007X_3 + 0,13 X_4 + 0,10X_5$	0,03	0,92	2,2
2002	$Y = -1,787 - 7,79E-005X_1 - 0,04X_2 - 0,03X_3 + 0,22X_4 + 0,55X_5$	0,00	0,97	2,0
2003	$Y = -1,686 - 0,003X_1 + 0,322X_2 - 7,371E-005X_3 + 0,0179X_4 + 0,0025X_5$	0,04	0,91	1,0
2004	$Y = -0,946 + 4,22E-005 X_1 + 0,007X_2 + 0,001X_3 + 0,014X_4 - 0,001X_5$	0,031	0,82	1,9
2005	$Y = -0,78 + 0,001X_1 + 0,009X_2 - 0,005X_3 + 0,001X_4 + 0,039X_5$	0,05	0,75	1,5
2006	$Y = -0,598 - 3,10E-005X_1 + 0,041X_2 + 0,005X_3 + 0,007X_4 - 0,61X_5$	0,03	0,92	2,3
2007	$Y = -0,223 + 0,001X_1 + 0,017X_2 - 0,09X_3 - 1,09E-006X_4 + 0,69X_5$	0,02	0,94	2,1
2008	$Y = -0,318 + 0,005X_1 - 0,003X_2 + 0,0024X_3 + 0,0087X_4 - 0,0131X_5$	0,027	0,83	1,7
2009	$Y = -0,515 + 6,43E-005 X_1 + 0,24X_2 - 0,002X_3 + 0,005X_4 + 0,007X_5$	0,02	0,93	1,8
2010	$Y = -0,682 + 0,0002X_1 + 0,0138X_2 - 0,0028X_3 + 0,0074X_4 + 0,0273X_5$	0,00	0,97	2,7
2011	$Y = -0,689 + 0,0003X_1 + 0,0233X_2 - 0,023X_3 + 0,0075X_4 + 0,0107X_5$	0,016	0,86	1,4
2012	$Y = -0,5703 + 0,0004X_1 + 0,025X_2 - 0,0031X_3 + 0,0046X_4 + 0,0201X_5$	0,027	0,83	2,8
2013	$Y = -0,7405 - 0,0002X_1 + 0,0142X_2 + 0,0024X_3 + 0,0102X_4 - 0,0122X_5$	0,005	0,91	2,5

Nota: Sendo X₁ = precipitação, X₂= Temperatura, X₃= Evapotranspiração, X₄=Umidade relativa do ar, X₅= Radiação solar global

Foi calculado o método de Stepwise, propondo um modelo mais adequado para cada ano em virtude dos dados não serem multicolineares, em que as variáveis independentes entram no modelo sequencialmente de acordo com o poder de explicação que elas acrescentam na previsão do modelo. Sendo realizado o teste para todos os anos do estudo, a ANOVA apresentou p -valor em torno de 0,00 para quase todos os anos, ou seja, esse valor é menor que 5% de significância, o que implica que o parâmetro EVI é influenciado pelas variáveis climáticas incluídas no modelo.

Os resultados foram satisfatórios com coeficientes de determinação entre $0,71 \leq R^2 < 1$, com uma forte influência dessas variáveis (X_2 e X_5 , Temperatura e Radiação Solar, respectivamente) no índice de vegetação EVI. Como podemos visualizar na Tabela 5 abaixo, o perfil de cada ano e suas variáveis que mais explicam o modelo.

Tabela 5. Análise dos resultados do método Stepwise da regressão linear múltipla.

Ano	Constante	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	R^2
2001	-0,98	-	0,26	-	-	0,95	0,95
2002	-1,89	-	-	-	0,24	0,31	0,97
2003	0,34	0,001	-	-	-	-	0,71
2004	-1,07	-	0,3	-	-	0,1	0,93
2005	0,33	0,01	-	-	-	-	0,83
2006	-0,18	-	0,025	-	-	-	0,89
2007	-1,22	-	-0,02	0,21	-	0,17	0,96
2008	0,32	0,001	-	-	-	-	0,87
2009	-0,51	-	0,16	-	-	0,07	0,95
2010	-0,75	-	0,24	-	-	0,08	0,97
2011	0,29	0,001	-	-	-	-	0,85
2012	-0,74	-	0,24	-	-	0,008	0,89
2013	-0,42	-	0,18	-	-	0,065	0,92

4.1 Detecção das mudanças na cobertura vegetal através do EVI

A partir dos mapas confeccionados de acordo com Santos *et al.* (2008), gerou-se as classes de cobertura conforme os valores das variações do EVI para cada categoria apresentada na Tabela 3. Verificou-se que houve uma alteração na cobertura da paisagem nas regiões Norte, Sudeste e Sul dos mapas onde verificamos um aumento da vegetação esparsa ao longo do território estudado.

No mapa da classificação do uso da cobertura do solo em 2006 (Figura 9), nota-se um aumento da vegetação esparsa na área, o que pode se inferir que neste ano a captação de imagens do satélite tenha reconhecido uma menor quantidade de água nas folhas das plantas alterando a

refletância da área ou até mesmo o efeito caducifólio, mas acentuado no ano em questão, propiciando uma leitura com menor vegetação densa. A análise deve ser interpretada com cautela, uma vez que, no ano de 2013 (Figura 10), a vegetação densa, comparada ao ano de 2001 (Figura 8), altera-se em 200 ha. Com a classificação de floresta estacional semidecidual na região, entre as estações seca e chuvosa, ocorre uma alteração na densidade das folhas da vegetação devido ao efeito caducifólio de algumas plantas.

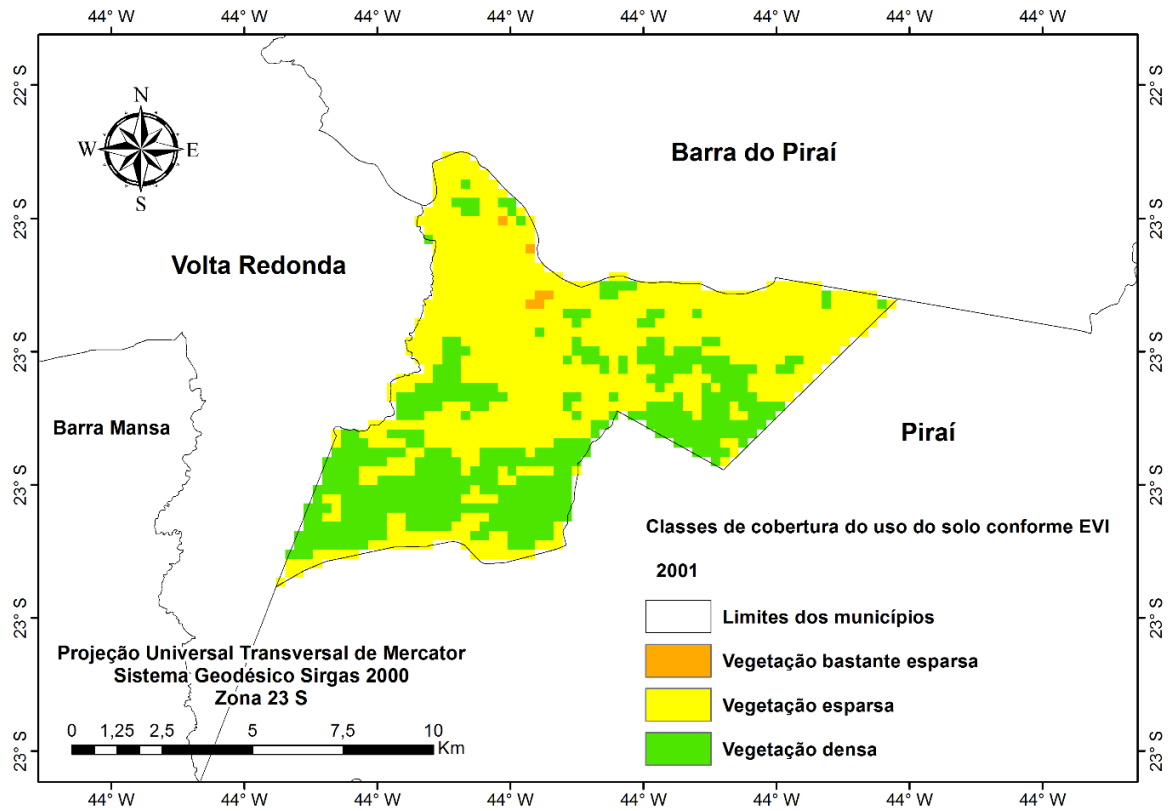


Figura 8. Classificação da cobertura do solo através EVI no ano de 2001.

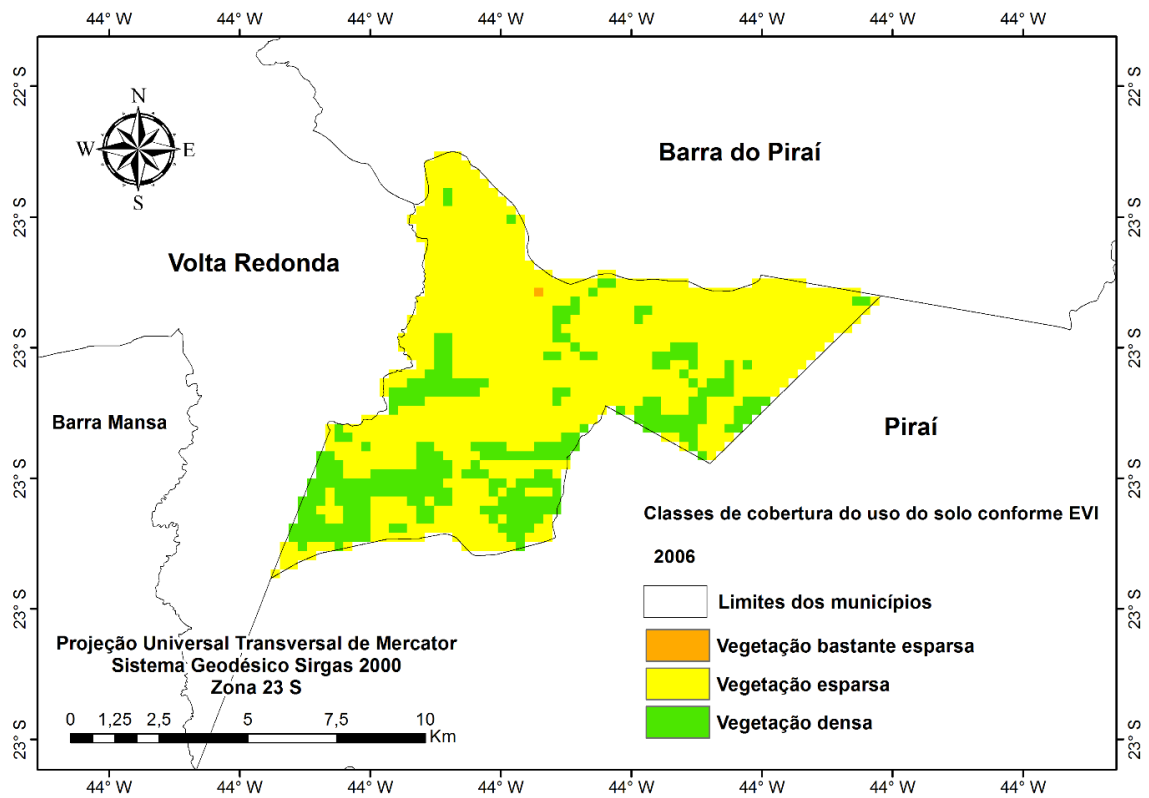


Figura 9. Classificação da cobertura do solo através EVI no ano de 2006.

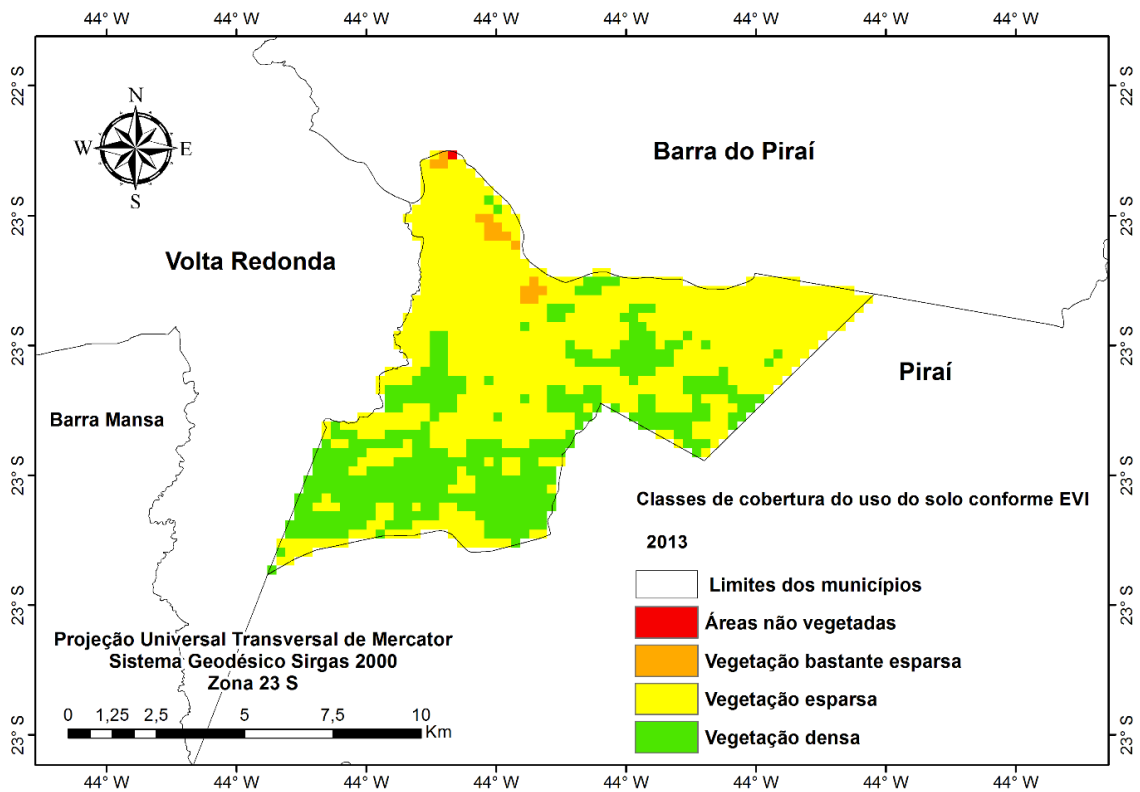


Figura 10. Classificação da cobertura do solo através EVI no ano de 2013.

Tabela 6. Quantificação das Classes de Cobertura do solo para a área de estudo nos anos 2001, 2006 e 2013.

Categorias	2001		2006		2013		Diferença
	ha	%	ha	%	ha	%	%
Áreas não vegetadas	0	0	0	0	6,25	0,08	0,08
Vegetação bastante esparsa	37,5	0,47	6,25	0,08	106,25	1,34	0,87
Vegetação esparsa	5037,5	63,46	6062,5	76,37	5206,25	65,59	2,13
Vegetação densa	2862,5	36,06	1868,75	23,54	2618,75	32,99	-3,07

De acordo com a Tabela 6, em que se quantificou a partir das classes de cobertura do solo a área de vegetação do local de estudo, percebeu-se que para o ano de 2001, comparado com o ano de 2013, houve um aumento de 6,25 ha de área não vegetada, o que pode se inferir, os motivos sendo pela expansão da população, desencadeando, em áreas urbanas ou em áreas desmatadas para possíveis fins agrícolas. De acordo com o censo demográfico do IBGE de 2010, a população do município de Pinheiral cresceu em 3.238 habitantes do último censo em 2000, havendo um acréscimo de 42 hab.km⁻².

A área de vegetação bastante esparsa teve um aumento significativo de 2001 para 2013, saindo de 37,5 ha para 106,25 ha, representando uma diminuição nas outras classes de cobertura do solo analisadas. A vegetação esparsa teve um aumento de 2001 para 2006, de 1025 ha de vegetação, sendo que em 2013 decresceu 856, 25 ha. Esse decréscimo pode ser explicado pela condição da vegetação nos anos analisados em questão. De acordo com Poelking *et al.* (2007), quando se analisa índices de vegetação, uma das considerações a serem feitas é observar se a cobertura vegetal se encontra sob estresse hídrico, o que pode repercutir no aumento da sua refletância no espectro visível e a absorver mais no infravermelho próximo. Assim, as diferenças entre as refletâncias nesses comprimentos de onda tendem a decrescer quanto maior o nível de estresse hídrico da cobertura vegetal.

A vegetação densa, ao longo desses 13 anos, teve um decréscimo mínimo ao final do período de análise. A maior queda na vegetação se verificou entre os anos de 2001, com 2862,5 e o ano de 2006, com 1868,75, tendo um decréscimo de 993,75 ha. Essas mudanças provocadas normalmente na paisagem estão associadas às atividades desenvolvidas na área: agricultura, agropecuária, desmatamento e práticas de irrigação que resulta em mudanças da cobertura vegetal, além dos fenômenos naturais principalmente os climáticos.

A vegetação demonstra um comportamento crescente/decrescente quando influenciado por eventos climáticos como La niña e El niño, nos anos de 2006 e 2007, o Brasil teve ocorrências de El niño fraco e em 2007 e 2008, ocorrências de La niña forte (CPTEC, 2017).

As menores médias de EVI foram encontradas nos anos de 2006 (0,40) e 2007 (0,38) e as maiores médias no ano de 2008 (0,43).

Santana *et al.* (2016) encontrou resultados semelhantes para o Estado de São Paulo, onde a vegetação se comportou de maneira contrária, em que a menor média do índice EVI foi encontrado para o ano de 2007 (0,38), já o ano de 2008 obteve o maior índice (0,46).

5 CONCLUSÕES

Analisado o comportamento espectral da vegetação através do EVI no espaço-tempo, constatou-se que existe uma tendência de crescimento no vigor vegetativo e que a série é não linear ao longo dos anos a partir dos parâmetros estudados. A dinâmica observada mostra-se compatível com as características sazonais típicas preconizadas pela literatura, revelando uma redução da atividade fotossintética durante a estação do inverno e um aumento na estação do verão. Observou-se uma diminuição nas áreas de vegetação densa e um aumento nas áreas de vegetação esparsa. As variáveis meteorológicas que mais se correlacionaram com o EVI foram a umidade relativa do ar, temperatura média do ar e radiação solar global. Essas informações são importantes, uma vez que monitoram as perturbações e descrevem as condições/comportamentos fenológicos da vegetação, avaliando a vulnerabilidade dos ecossistemas.

6 REFERÊNCIAS

- BALDÍ, G.; PARUELO, J. M. Land-use and land cover dynamics in South American temperate grasslands. **Ecology and Society**, v.13, p.1-20, 2008.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLSLAG, A. A. M. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p.198-212, 1998.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 94, p.321-340, 2003.
- BISQUERRA, RAFAEL; SARRIERA, JORGE C.; MATÍNEZ, FRANCESC. Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS. **Bookman Editora**, 2009.
- CARTES, Jose Luis; YANOSKY, Alberto. Dynamics of biodiversity loss in the Paraguayan Atlantic Forest: an introduction. **The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook**. **CABS and Island Press, Washington**, p. 267-268, 2003.
- CONTI, JOSÉ BUENO. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 70-75, 2011.
- COUTINHO, Leopoldo Magno. O conceito de bioma. **Acta botânica brasílica**, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.
- CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Monitoramento das condições de neutralidade no pacífico equatorial. <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso: janeiro de 2017.
- DEAN, Warren. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. 1. ed. São Paulo: Cia. das Letras, 484 p. 2004.
- DEFRIES, Ruth S. et al. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 22, p. 14256-14261, 2002.
- DENG, F., SU, G., LIU, C. Seasonal Variation of MODIS Vegetation Indexes and Their Statistical Relationship With Climate Over the Subtropic Evergreen Forest in Zhejiang, China. **Ieee Geoscience and Remote Sensing Letters**, vol. 4, no. 2, 2007.
- DRUMMOND, JOSÉ AUGUSTO. Devastação e preservação ambiental: os Parques Nacionais do Estado do Rio de Janeiro. Editora da Universidade Federal Fluminense, 1997.
- EASTMAN, J. R.; SANGERMANO, F.; GHIMIRE, B.; ZHU, H., CHEN, H., NEETI, N.; CAI, Y.; MACHADO, E. A. e CREMA, S. C. **International Journal of Remote Sensing**. v. 30, n. 10, p. 2721–2726, 2009.

EBERHARDT, I.D.R., LUIZ, A. J. B., FORMAGGIO, A.R., SANCHES, I. D. Detecção de áreas agrícolas em tempo quase real com imagens Modis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 50, n.7, 2015.

FEARNSIDE, P. M. GUIMARAES, W.M.; Carbon uptake by secondary forest in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 35-46. 1996.

FERREIRA, MANUEL EDUARDO ET AL. Desmatamentos no bioma Cerrado: uma análise temporal (2001-2005) com base nos dados MODIS-MOD13Q1. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 3877-3883, 2007.

FERREIRA, T. R.; DI PACE, F. T.; DELGADO, J. R.; SILVA, T. G. Preliminary analysis of drought in 2012 in semi-arid of alagoas using indices of vegetation through sensor modis. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 5, n.1, 2015.

FISHER, M. J.; THOMAS, R. J. Implications of land use change to introduced pastures on carbon stocks in the central lowlands of tropical South America. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, p. 111-131, 2004.

Fundação SOS Mata Atlântica. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2008 - 2010. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. 122p. <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/atlasrelatoriofinal.pdf>. Acesso: Junho de 2016.

GIRAUDO, Alejandro R. Dynamics of biodiversity loss in the Argentinean Atlantic Forest: an introduction. **The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook**. CABS and Island Press, Washington, p. 139-140, 2003.

HANSEN ,M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S. A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S. V.; GOETZ, S. J.; LOVELAND, T. R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G. The state of biodiversity in latin america and the caribbean. Pnuma - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente... **Science**. v 342, 2013.

HEINSCH, Faith Ann et al. GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products NASA MODIS Land Algorithm. **MOD17 User's Guide**, p. 1-57, 2003.

HOUGHTON, R. A.; GLOOR, M.; LLOYD, J.; POTTER, C. O Balanço do Carbono Regional. Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph Series 186, **American Geophysical Union**. p. 409-428, 2009.

HUANG, C., KIM, S., ALTSTATT, A., TOWNSHEND, J.R.G., DAVIS, P., SONG, K., TUCKER, C.J., RODAS, O., YANOSKY, A., CLAY, R., MUSINSKY, J.,. Rapid loss of Paraguay´s Atlantic forest and the status of protected areas – a landsat assessment. **Remote Sensing of Environment**. v.106, p. 460–466, 2007.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 fev. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de uso da terra. Manuais técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. 91p. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/.shtm>. Acesso: Junho de 2016.

INPE. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 2013–2014. Disponível em www.inpe.br/fundaçãosos. Acesso: 10 de agosto de 2015.

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2014.

JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3833-3845, 2008.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R.; ROY, D.P.; HALL, D.K.; SALOMONSON, V.V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, p. 1228-1249, 1998.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R. E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**. v.83, n.1-2, p.3-15, 2002.

LATORRE, MARCELO LOPES. Sensor MODIS: Características gerais e aplicações. 2003.

KHATAMI, R., MOUNTRAKIS, G., STEHMAN, S. V. . A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. **Remote Sensing of Environment** . v. 177, p. 89–100 , 2016.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica. P. 479, 1948.

MASELLI, FABIO. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data. **Remote sensing of environment**, v. 89, n. 4, p. 423-433, 2004.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de Cobertura Vegetal**. 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia/mapa-de-cobertura-vegetal> Acesso em: 10 out. 2015.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v. 403, p. 853-858, 2000.

NORA, E. L. D.; MARTINI, D. Z. Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA. **Ambiência**, v. 6, n. 1, p.97 – 108, 2010.

OLIVEIRA, J.A. Caracterização física da Bacia do Ribeirão Cachimbal –Pinheiral (RJ) de suas principais paisagens degradadas. Seropédica: (**Dissertação Mestrado Ciências Ambientais e Florestais**). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 136p.1998.

OLIVEIRA, M. B. L.; SANTOS, A. J. B.; MANZI, A. O.; ALVALÁ, R. C. S.; CORREIA, M. F.; MOURA, M. S. B. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de Caatinga e atmosfera no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p. 378-386, 2006.

PÁDUA, JOSÉ AUGUSTO. A ocupação do território brasileiro e a conservação dos recursos naturais. **Unidades de conservação: atualidades e tendências**, p. 12-19, 2004.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. **Parêntese**, p. 5-128, 2007.

PONZONI, FLÁVIO JORGE; SHIMABUKURO, YOSIO EDEMIR; KUPLICH, TATIANA MORA. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de Textos, 2015.

RIBEIRO, C. A. D.; ABRAHÃO, C. P.; XAVIER, A. C. Correlations between climatic variables and multitemporal EVI images in natural forest and cropping areas. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 196-204, 2009.

ROSEMBACK, R.; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y.; CONFORTE, J. C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 2, n. 62, p. 401-416, 2010.

ROUSE, J. W.; HAAS, H.R. SCHELL, J.A. DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite - 1 **Symposium . Proceedings**. v.1, p.309-317, 1974.

RUDORFF, CONRADO M. et al. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 269-280, 2007.

SALESKA, S.; ROCHA, H.; KRUIJT, B.; NOBRE, A. Fluxos de Carbono do Ecossistema e Metabolismo da Floresta Amazônica. **Amazonia and Global Change**. American Geophysical Union. Geophysical Monograph Series. v. 186, 2009.

SANTANA, M. F.; DELGADO, R. C.; JÚNIOR, J. F. O.; GOIS, G. e TEODORO, P. E. Variability of the Atlantic Forest based on the EVI index and climate variables in Cunha-SP, Brazil. **Revista de Ciências Agroambientais**. v.14, n.1, p.37-44, 2016.

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para identificação da cobertura fitogeográfica da bacia hidrográfica do rio Goiana--PE. **II Simpósio de Geografia Física do Nordeste**, 2008.

SILVA, E. T. J. B. Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias. 2004, 146 f. 2004. Tese de Doutorado. **Dissertação (Mestrado em Geologia)**–Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.5, p. 501-509, 2010.

SILVA, B.B.; GALVÍNCIO, J.D.; MARIA,S.; MONTENEGRO, G.L.; MACHADO, C.C.C.; OLIVEIRA, L.M.M.; MOURA, M.S.B. Determinação por sensoriamento remoto da produtividade primária bruta do perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.1, p. 57 - 64, 2014.

SLATER, Philip N. Remote sensing: optics and optical systems. 1980.

SPANNER, M. A.; PIERCE, L. L.; RUNNING, S. W.; PETERSON, D. L. The seasonality of AVHRR data of temperate coniferous forests: Relationships with leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v.33, p.97-112, 1990.

SOARES FILHO,B.S. Modelagem dinâmica de paisagem de uma região de fronteira da colonização amazônica. **Tese (Doutorado Engenharia Civil)**. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 299f.1998.

SOS Mata Atlântica, Disponível em: < <http://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/>>. Acesso em: 08.abril.2016.

TANIZAKI, K.; MOULTON,T.P. A fragmentação da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro e a perda de biodiversidade. Rio de Janeiro: EDUERJ, p. 23 -35, 2000.

USGS - U. S. Geological Survey. 2014. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/>>. Acesso em: 02 maio. 2015.

VERMOTE, Eric F.; EL SALEOUS, Nazmi Z.; JUSTICE, Christopher O. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1, p. 97-111, 2002.

WHITMORE, T. C. An introduction to tropical rain forests. **Oxford**. p.226, 1990.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 2644–2659, 2016.