

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

FABRÍCIO MOULIN MOTA

**DINÂMICA TEMPORAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO
E ELEMENTOS METEOROLÓGICOS NO CAFÉ
CONILON**

**SÃO MATEUS, ES
JULHO DE 2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**DINÂMICA TEMPORAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO
E ELEMENTOS METEOROLÓGICOS NO CAFÉ
CONILON**

FABRÍCIO MOULIN MOTA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli

**SÃO MATEUS, ES
JULHO DE 2015**

DINÂMICA TEMPORAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ELEMENTOS METEOROLÓGICOS NO CAFÉ CONILON

FABRÍCIO MOULIN MOTA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada: 24/07/2015

Prof. Dr. João Batista Esteves Peluzio
Instituto Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Jéferson Luiz Ferrari
Instituto Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-orientador)

Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

À minha querida mãe, Lúcia Helena Moulin Mota, ao meu pai, Ortelino Emiliano da Mota, à minha avó materna, Georgina Batista Moulin, aos meus irmãos, Ivo Augusto Moulin Mota e William Emiliano da Silva, a minha namorada, Aline Santos Francisco, e a todos meus amigos e demais parentes que estiveram presentes na minha vida.

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar a oportunidade de participar do mestrado, e pela força, fé e conhecimento para superar todas as dificuldades encontradas até a conclusão.

A Lucia Helena Moulin Mota e Ortelino Emiliano da Mota, meus pais, que me ensinaram a respeitar para ser respeitado, sempre foram meu exemplo de vida.

A minha namorada, Aline Santos Francisco, que sempre me motivou e teve paciência, companheira em todos os momentos que estava em São Mateus.

Aos amigos e professores Dr. Jéferson Luiz Ferrari, Dr. João Batista Esteves Peluzio, Dr. Jose Maria Dalcolmo, que sempre me incentivaram a continuar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli e ao meu co-orientador Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos, que durante este período foram mais que professores, foram grandes amigos, pacientes, que ensinaram e aconselharam, e o mais importante, confiaram e acreditaram na minha pessoa.

Ao amigo e Prof. Dr. Jéferson Luiz Ferarri, pelos ensinamentos, apoio, incentivo e por sempre estar disposto a uma boa conversa. O senhor é uma pessoa excepcional.

Aos professores Dr. João Batista Esteves Peluzio, Dr. Jéferson Luiz Ferrari por participarem da banca examinadora, contribuindo com seus conhecimentos.

O Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de realização deste curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro durante o período de execução deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, agradeço.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIRS: *Atmospheric Infrared Sounder*

AMSU-A: *Advanced Microwave Sounding Unit*

AMSR-E: *Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS*

AQUA: Satélite de observação terrestre

ASTER: *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

BH: Balanço Hídrico

BRDF: Função de Distribuição da Reflectância Bidirecional

CAD: Capacidade de Água Disponível

CBERS: *China-Brazil Earth-Resources Satellite*

CERES: *Clouds and the Earth's Radiant Energy System*

CEUNES: Centro Universitário Norte do Espírito Santo

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento

CV-MVC: *Constraint View angle Maximum Value Composite*

DAAC: *Distributed Active. Archive Center*

DH: Deficiência Hídrica

DJ: Dia Juliano

DPV: Déficit de Pressão de Vapor

EM: Energia Eletromagnética

EOS: *Earth Observing System*

Eq: Equação

EVI: *Enhanced Vegetation Index*

EXC: Excedente hídrico

FAO-56: Boletim 56 da Food and Agriculture Organization

GEOTIFF: Padrão de metadados

GES DAAC: *Goddard Space Flight Center Earth Sciences / Distributed Active. Archive Center*

HBS: *Humidity Sounder for Brazil*

HDF: *Hierarchy Data Format*

IEMA: Instituto Estadual do Meio Ambiente

IFES: Instituto Federal do Espírito Santo

IKONOS: Satélite de observação terrestre

INCAPER: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia
IV's: Índices de Vegetação
LANDSAT: *Land Remote Sensing Satellite*
LPDAAC: *Land Processes Distributed Active Archive Center*
MISR: *Multi-angle Imaging Spectro - Radiometer*
MOD13: MODIS Vegetation Indices
MODIS: *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
MOPITT: *Measurements of Pollution in the Troposphere*
MODAPS: *MODIS Adaptive Processing System*
MRT: *software* para processamento de imagens
NASA: Agência Espacial Norte Americana
NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*
OIC: Organização Internacional do café
P: Precipitação pluviométrica
QUICK BIRD: Satélite
RAPIDEYE: Satélite
REM: Radiação eletromagnética
RS: Radiação solar
SPOT: *Satellite Pour l'Observation de la Terre*
SPUTNIK: Satélite
SR: Sensoriamento remoto
TERRA: Satélite de observação terrestre
T_{máx}: Temperatura máxima do ar
T_{méd}: Temperatura média do ar
T_{mín}: Temperatura mínima do ar
UFES: Universidade Federal do Espírito Santo
UR% máx: Umidade relativa do ar máxima
UR% méd: Umidade relativa do ar média
UR% mín: Umidade relativa do ar mínima
URSS: União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
UTM: *Universal Transversa de Mercator*
WGS – 84: World Geodetic System

LISTA DE SÍMBOLOS

- a : Albedo ou coeficiente de reflexão da copa
- $a_s + b_s$: Fração da radiação extraterrestre que atinge a Terra em dias claros
- C_1 : Coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho
- C_2 : Coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul
- d_r : Inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol
- $e^\circ(T)$: Pressão de saturação de vapor à temperatura do ar
- $e^\circ(T_{\max})$: Pressão de saturação de vapor à temperatura máxima diária
- $e^\circ(T_{\min})$: Pressão de saturação de vapor à temperatura mínima diária
- e_a : Pressão real ou atual de vapor
- ETc: Evapotranspiração da cultura
- ETo: Evapotranspiração de referência
- e_s : Pressão de saturação de vapor médio
- G : Fluxo de calor no solo
- G_{sc} : Constante solar
- J : Número de dias no ano entre 1 e 365 ou 366
- Kc: Coeficiente da cultura
- L: Fator de correção para a interferência do solo
- N : Duração máxima possível da luz do sol
- p : Pressão atmosférica
- ρA : Reflectância no azul
- ρIVP : Reflectância no infravermelho próximo
- ρV : Reflectância no vermelho
- R_a : Radiação solar extraterrestre
- R_n : Saldo de radiação
- R_s : Radiação solar global
- R_n : Saldo de radiação líquida
- R_{nl} : Saldo de radiação de ondas longas
- R_{ns} : Saldo de radiação de ondas curtas
- R_{so} : Radiação solar para céu claro

T : Temperatura

$T_{\max,K}$: Temperatura máxima absoluta diária

$T_{\min,K}$: Temperatura mínima absoluta diária

UR_{\max} : Umidade relativa máxima do ar

UR_{\min} : Umidade relativa mínima do ar

u_z : Velocidade do vento na superfície m z acima do solo

u_2 : Velocidade diária do vento

γ : Constante psicrométrica

z : Altura de medição acima da superfície do solo

Δ : Inclinação da curva de pressão de vapor de saturação

ω_s : Inclinação solar

φ : Latitude (rad)

δ : Dizimação da energia solar

σ : Constante de Stefan-Boltzmann

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 Objetivo Geral	3
1.2 Objetivos Específicos	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Características da vegetação estudada	4
2.2 Sensoriamento Remoto	5
2.3 Características espectrais da vegetação	6
2.4 Índices de Vegetação (IV's)	7
2.5 Características do Sensor MODIS	8
3. CAPÍTULO I. Relação entre variáveis meteorológicas e Índices de Vegetação (IVs) em lavouras cafeeiras	13
Resumo	14
Abstract	14
Introdução	15
Material e Métodos	16
Resultados e Discussão	29
Conclusão	52
Referências Bibliográficas	53
4. CONCLUSÕES GERAIS	57
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

RESUMO

MOTA, Fabrício Moulin; M.Sc; Universidade Federal do Espírito Santo; Julho de 2015; **Dinâmica temporal de índices de vegetação e elementos meteorológicos no café conilon**. Orientador: Fábio Luiz Partelli, Co-orientador: Alexandre Rosa dos Santos.

A técnica de sensoriamento remoto, com o uso de dados de estações meteorológicas, vem sendo muito estudada para a obtenção da informação a respeito da vegetação. Destacando-se os índices de vegetação, por meio destes índices são possíveis obter informações a respeito da biomassa verde e dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento da vegetação. O objetivo da pesquisa foi analisar a dinâmica da vegetação representativa de alvos agrícolas (café conilon) de uma região do município de São Mateus, ES, a partir de índices de vegetação gerados pelo sensor MODIS – TERRA e sua relação com dados meteorológicos, durante o período de 2007 a 2014. Foram utilizados dados de imagens de séries temporais de índices de vegetação de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), e dados da estação automática A616 do INMET referente ao período de 2007 a 2014. O NDVI e EVI podem ser influenciados pelas variáveis meteorológicas. O comportamento típico de cada índice em cada período foi diferente. As variáveis meteorológicas e o EVI e NDVI podem ser considerados um indicador sensível para se avaliarem os efeitos da fenologia da cultura. As variáveis meteorológicas relacionadas com o NDVI e EVI apresentaram resultados promissores para a utilização como indicador analítico da vegetação.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, sensor MODIS, NDVI, EVI, *Coffea canephora*.

ABSTRACT

MOTA, Fabricio Moulin; M.Sc; Federal University of Espirito Santo; July 2015; **Vegetation Index of Temporal Dynamics and Meteorological Elements in conilon coffee**. Supervisor: Fabio Luiz Partelli, Co-Advisor: Alexandre Rosa dos Santos.

The remote sensing technique with the use of weather station data, has been widely studied for obtaining information about the vegetation. Highlighting the vegetation indexes through these indexes are possible to obtain information about green biomass and growth parameters and development of vegetation. This research goal was to analyze the dynamics of representative vegetation in agricultural fields (conilon coffee) in a region of São Mateus, ES, from vegetation indexes generated by the MODIS - TERRA and its relationship with meteorological data during the period 2007 to 2014. It has been used data of images of time series of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and EVI (Enhanced Vegetation Index) from MODIS sensor (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), and data from automatic station A616 INMET due the period of 2007 to 2014. The NDVI and EVI can be influenced by meteorological variables. The typical behavior of each index in each period was different. The meteorological variables and the EVI and NDVI can be considered a sensitive indicator to evaluate the effects of crop phenology culture. The weather variables related to NDVI and EVI showed promising results for use as an analytical indicator of vegetation.

Key words: Remote Sensing, sensor MODIS, NDVI, EVI, *Coffea canephora*.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O uso de geotecnologia para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação para avaliação, tomadas de decisões e o entendimento das causas, torna-se fundamental para fornecer dados da cobertura global da superfície terrestre (SANTOS et al., 2012). Dentre as geotecnologias destaca-se o sensoriamento remoto orbital, que vêm se firmando como uma eficiente ferramenta para controle e análise de recursos naturais em geral (FLORENZANO, 2011).

A visão sinótica proporcionada pelas imagens de sensores orbitais, por exemplo, aliada as resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais tem permitido a classificação e monitoramento da cobertura vegetal bem como a compreensão da dinâmica dos processos climáticos (MOREIRA, 2011).

Atualmente, os usuários de sensoriamento remoto são beneficiados por terem acesso a uma gama de sensores acoplados em satélites, tais como: *CBERS*, *LANDSAT*, *RAPIDEYE*, *IKONOS*, *SPOT*, *QUICK BIRD*, *TERRA* e *AQUA*. Esse aumento na utilização de imagens de satélites (produtos orbitais) é consequência, principalmente, do baixo custo de seus produtos, comparados a métodos fotogramétricos e topográficos (fotografias aéreas).

Esse avanço no uso de tecnologias espaciais proporcionou o desenvolvimento de diferentes métodos e modelos matemáticos para o cômputo da biomassa vegetal e de parâmetros da fenologia da vegetação. Alguns modelos matemáticos que utilizam dados gerados a partir de imagens de satélites vêm sendo aplicados para obter a estimativa das biomassas vegetais e de crescimento e desenvolvimento da vegetação.

Um desses sensores orbitais é o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), que está acoplado ao satélite *TERRA* e *AQUA*, desenvolvido para mensurar os processos biológicos e físicos globais de toda superfície da terra. Este sensor se caracteriza por disponibilizar imagens com alta resolução temporal e produtos voltados especialmente para a vegetação como o MOD13Q1, possuindo amplas aplicações em estudos de cobertura vegetal. Constituído pelo *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI (ROUSE et al.,

1973), e *Enhanced Vegetation Index* – EVI (HUETE et al., 1997), previamente processado (DAAC, 2015).

O NDVI foi criado para eliminar as diferenças sazonais do ângulo de elevação solar e minimizar os efeitos de atenuação atmosférica em imagens multitemporais (MOREIRA, 2011).

O EVI tem a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da influência atmosférica de fundo do dossel sobre o monitoramento da vegetação (HUETE et al., 2002). De acordo com o mesmo autor, em áreas de maior densidade de biomassa, o EVI apresenta superioridade na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI.

Na literatura a vários trabalhos mostrando a importância da aplicação de pesquisas relacionadas à fenologia da vegetação com a utilização de imagens de satélite e variáveis climáticas, possibilitando monitorar os processos dinâmicos da vegetação, suas mudanças e os possíveis impactos que isso pode implicar ao meio ambiente (LIU e NEGRÓN JUÁREZ , 2001; WANG et al., 2012; WARDLOW e EGBERT, 2010; BRADLEY e GERARD, 2011; KUPLICH et al., 2013; VAN LEEUWEN et al., 2013; ZHANG et al., 2014; SETIAWAN et al., 2014; ESTEL et al., 2015). Porém, em se tratando de café conilon, a literatura carece de informações que correlacionem os fatores biofísicos das culturas supracitadas com as suas respostas espectrais.

1.1 Objetivo Geral

Analisar a dinâmica da vegetação representativa de alvos agrícolas (café conilon) de uma região do município de São Mateus, ES, a partir de índices de vegetação gerados pelo sensor MODIS – TERRA e sua relação com dados meteorológicos, durante o período de 2007 a 2014.

1.2 Objetivos Específicos

Mapear manchas representativas de lavouras de café da região;

Monitorar a resposta espectral da vegetação das lavouras estudadas anual e interanual, por meio da construção de perfis espectrais de índices de vegetação;

Comparar-se a resposta espectral da vegetação, se respondem de forma diferenciada, as variações dos elementos climáticos e do balanço hídrico climatológico do ar, de para cada tipo de variáveis meteorológicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características da vegetação estudada

Um exemplo de sucesso na atividade cafeeira com intensas pesquisas é o Brasil. Nos últimos dez anos a produção de café no país cresceu cerca de 50%, sem expansão de áreas (CONAB, 2014). Isso só foi possível devido às novas técnicas, tecnologias e pesquisas agrônômicas avançadas e aplicadas na atividade.

Atualmente, o Brasil é o maior produtor de cafés do mundo (*Coffea arabica* - Café arábica e *Coffea canephora* - Café conilon ou robusta) com participação de 30 a 40% da produção mundial. Com relação à espécie *Coffea canephora* destaca-se como o segundo maior produtor mundial, atrás do Vietnã Organização Internacional do Café (OIC, 2014).

Cabe destacar o estado do Espírito Santo, por ser o segundo maior produtor brasileiro de café (24,60% da produção nacional) e o maior produtor de café conilon (77,8%). Na safra de 2015 o Estado produziu cerca de 7,8 milhões de sacas beneficiadas. Essa produção é oriunda de um parque cafeeiro em produção de 283.124 ha, com produtividade média de 27,41 sacas por ha (CONAB, 2015).

As variedades de café 'Conilon' no estado do Espírito Santo são diversificadas, constituído de clones altamente produtivos e com características superiores para o seu pleno desenvolvimento no campo. Esses materiais genéticos, destacando-se por apresentar alta produtividade, estabilidade de produção, tolerância à déficit hídrico, tolerância à ferrugem, uniformidade de maturação e grãos grandes. Cabe destacar os programas de pesquisa que reúnem instituições e universidades voltadas para a geração de conhecimentos estratégicos de informações e de comunicação técnico-científica (Instituto Capixaba de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural - INCAPER; Universidade Federal do Espírito Santo - UFES; Instituto Federal do Espírito Santo - IFES e outros). Ressalta-se aqui o papel fundamental do (INCAPER) ao longo do tempo. Outra instituição que vem se destacando é a UFES, atualmente a universidade vem desenvolvendo inúmeros trabalhos na cafeicultura do Sul e do Norte do Estado, na construção do conhecimento sobre café conilon (DUBBERSTEIN et al., 2014).

2.2 Sensoriamento Remoto

De acordo com Rosa (2005) geoprocessamento é uma área do conhecimento moderno, onde engloba um total de conjunto de técnicas (ou tecnologias) ligadas à informação espacial, quer seja no tocante a coleta, tratamento e análise desses dados (SANTOS et al., 2012). Num estágio avançado de desenvolvimento, permitindo grande acessibilidade de recursos, a custos relativamente baixos, destacam-se o Sensoriamento Remoto (SR).

Segundo Florenzano (2011), o SR refere-se à obtenção de dados e imagens da superfície terrestre por meio da captação, registro e análise da radiação eletromagnética, sem que haja o contato, ou seja, remotamente (Figura 1).

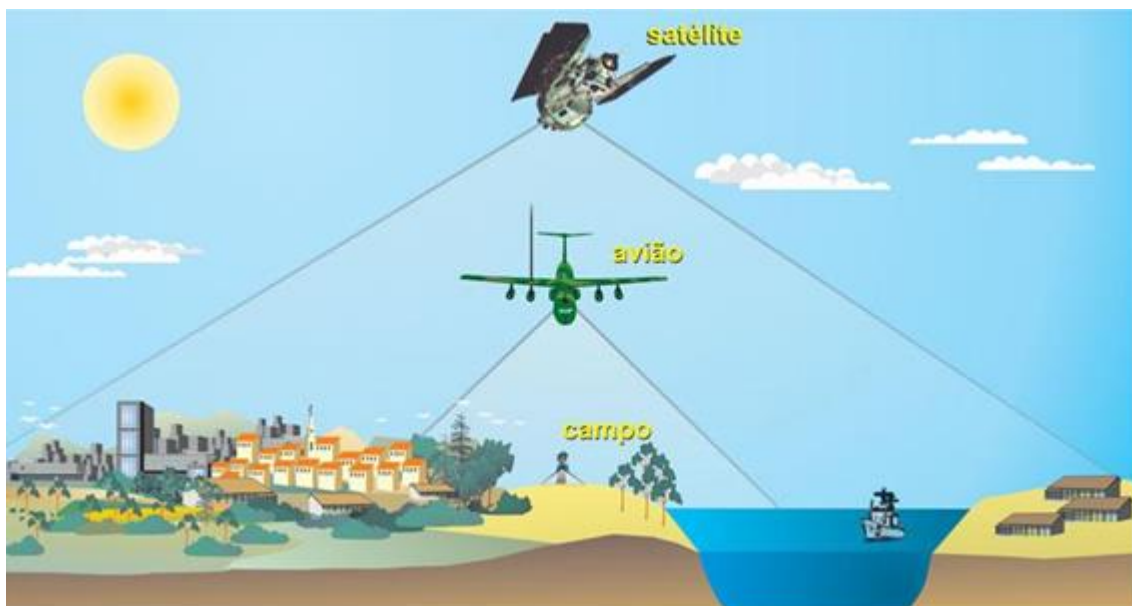


Figura 1. Níveis de obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto
Fonte: Florenzano (2011).

Os sensores podem coletar a energia proveniente dos objetos em três níveis: orbital, aéreo e campo/laboratório. Dentre esses níveis de obtenção, o mais utilizado para estudo da superfície terrestre é o nível orbital, compostos por satélites.

Segundo Novo (2012) o primeiro satélite artificial lançado foi o *Sputinik*, em novembro de 1957, pela então União Soviética (URSS). No entanto, a era dos sensores orbitais teve impulso somente à partir do programa *Landsat*, de iniciativa Norte - americana.

O programa norte americano *Landsat* foi o primeiro a ser desenvolvido no mundo para fornecer cobertura periódica global da superfície terrestre (CASACA et

al., 2007). Sendo seu primeiro satélite lançado em 1972, pela Agência Espacial Norte Americana (NASA). Desde então foram lançados uma série de oito satélites. Após o sucesso do programa *Landsat* ocorreu uma grande evolução dos sensores orbitais.

Na escolha de um sensor orbital para estudos dos recursos terrestres deve ser feita mediante a análise de alguns pontos, como a eficiência, a frequência na obtenção de dados, o ângulo de visada, custos, comportamento espectral dos alvos, fatores que podem interferir no seu comportamento e a qualidade e a capacidade de resolução espacial, temporal, espectral e radiométrica (FLORENZANO, 2011; FERRARI, 2012).

- Resolução espacial ou geométrica: É a capacidade do sensor em discriminar objetos em função do tamanho. A referência mais usada para resolução espacial é o tamanho do pixel (MOREIRA, 2011).
- Resolução temporal: É a frequência de imageamento sobre um mesmo local.
- Resolução espectral: É a capacidade do sensor em discriminar objetos na superfície terrestre pela sensibilidade das faixas espectrais.
- Resolução radiométrica: É a capacidade do sensor em discriminar intensidade de energia refletida ou emitida pelos objetos na superfície terrestre.

2.3 Características espectrais da vegetação

A classificação e o monitoramento dos diferentes tipos de alvos terrestres podem ser distinguidos por suas diferenças de reflectância próprias em cada banda do espectro eletromagnético, isso implica na forma de análise, informações referentes à composição do objeto. As imagens multiespectrais oferecem informações sobre a composição dos objetos, em função da Radiação Eletromagnética – REM (MOREIRA, 2011).

Os processos de interação da REM com as plantas estão diretamente relacionados com as características espectrais da vegetação, ou seja, a classificação e o monitoramento da vegetação por métodos de SR são possíveis especialmente pelos intervalos de comprimento de onda do espectro

eletromagnético. Isso acontece pela dependência dos elementos constituintes das estruturas das folhas, onde acontece uma interação (MOREIRA, 2011).

De acordo com Moreira (2011) na região do visível, o comportamento da reflexão é determinado pela clorofila. A maior parte da REM é absorvida na faixa do visível entre os intervalos de 0,4-0,5 μm (azul), 0,6-0,7 μm (vermelho), enquanto no intervalo de 0,5-0,6 μm (verde) é refletida. Já na faixa dos 0,7-1,3 μm (infravermelho próximo) a reflexão espectral é alta e com baixa absorção.

Segundo Ponzoni (2001) o comportamento espectral na região dos 1,3-3,0 μm (infravermelho médio) é influenciado pela estrutura da folha, e da concentração de água nos tecidos, com grande absorção ocorrendo em 1,45 e 1,95 μm , ocasionando picos de refletância.

2.4 Índices de Vegetação (IV's)

O SR permite estender as análises da vegetação em diferentes escalas espaciais, temporais e espectrais da superfície terrestre, desenvolvendo estudos sobre o comportamento sazonal e mudanças da composição biofísica e bioquímica de dosséis (STONE et al., 1994; MORA e IVERSON, 1997; JIN e SADER, 2005).

Dentre os estudos sobre a vegetação com a utilização de técnicas de SR, destaca-se os Índices de Vegetação (IV's). E dentre muitos IV's na literatura, destaca-se o *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI proposto por (ROUSE et al., 1973), e o *Enhanced Vegetation Index* – EVI desenvolvido por (HUETE et al., 1997). Onde o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho, enquanto que o EVI é mais sensível à variação da estrutura do dossel (HUETE et al., 2002).

De acordo com Moreira (2011) a finalidade da criação do NDVI é eliminar as diferenças sazonais do ângulo de elevação solar e minimizar os efeitos de atenuação atmosférica em imagens multitemporais. O EVI tem a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da influência atmosférica de fundo do dossel sobre o monitoramento da vegetação (HUETE et al., 2002). De acordo com Huete et al. (2002) em áreas de maior densidade de biomassa, o EVI apresenta superioridade na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI.

As equações dos IV's, o NDVI e o EVI, são apresentadas nas equações 1 e 2, respectivamente (ROUSE et al. 1973; HUETE et al. 1997).

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

Em que,

ρ_{IVP} : reflectância no infravermelho próximo; e

ρ_V : reflectância no vermelho.

$$\text{EVI} = G \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + C_1 \rho_V + C_2 \rho_A + L} \quad (\text{eq. 2})$$

Em que,

G : fator de ganho ($G = 2,5$).

ρ_{IVP} : reflectância no infravermelho próximo;

ρ_V : reflectância no vermelho;

C_1 : coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho ($C_1 = 6$);

C_2 : coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul ($C_2 = 7,5$);

ρ_A : reflectância no azul;

L : fator de correção para a interferência do solo ($L = 1$).

2.5 Características do Sensor MODIS

Desde 1980, foi criado um programa de longa duração de pesquisas de observação da superfície da Terra, oceanos e atmosfera e suas interações, denominado *Earth Observing System* (EOS), mantido pelo Comitê Espacial Norte Americano (NASA). Segundo Justice et al. (2002) o objetivo desse programa é determinar como a Terra está se modificando e quais as consequências para a vida no planeta.

O programa EOS visa o lançamento de diversos satélites, sendo o primeiro satélite denominado de Terra, possuindo cinco sensores MODIS (*Moderate*

Resolution Imaging Spectroradiometer), CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*), ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), MOPITT (*Measurements Of Pollution In The Troposphere*), e MIRS (*Multi-angle Imaging SpectroRadiometer*) na órbita descendente. O segundo satélite lançado foi o Aqua, no ano de 2002, possuindo a bordo seis sensores: MODIS, AMSU (*Atmospheric Infrared Sounder*), AIRS (*Atmospheric Infrared Sounder*), HBS (*Humidity Sounder for Brazil*), AMSR-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS*), e CERES.

O Satélite Terra foi lançado em 1999, tendo como objetivo principal adquirir dados que possam aumentar os conhecimentos sobre a dinâmica atmosférica global, sobre a interação Terra, oceano e atmosfera. Estes dados começaram a ser coletados em fevereiro de 2000.

Entre os principais sensores a bordos do satélite Terra, o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é o principal. Suas características de acordo com (BARKER et al., 1992) são: Ampla cobertura espacial e espectral, imagea 288 “grânulos” a cada 24 h, sendo sua cobertura equivalente a uma área aproximada de 2340 km (*across track*) por 2030 km (*along-track*); Continuidade nas tomadas de medidas nas regiões espectrais, que já estão sendo estimadas por outros satélites, vindo a complementar as informações, já adquiridas por estes; e na condução das pesquisas de mudanças globais é a primeira ferramenta dos satélites EOS.

De acordo com Justice et al. (2002) os processamentos dos dados são divididos em cinco níveis (0 a 4):

- Nível 0: imagem em seu estado bruto, sem tratamento. Não disponível ao usuário, não consta nas listas de produtos padrões do sensor MODIS;
- Nível 1 (1A): possui uma base de dados de 36 canais do MODIS, utilizado como dado de entrada para geolocalização, calibração e processamento;
- Nível 1 (1B): os produtos contêm os dados de calibração e geolocalização para as 36 bandas geradas pelo nível 1 A;
- Nível 2: os produtos derivados de radiâncias calibradas de prévios produtos MODIS;
- Nível 3: os produtos são espacialmente reamostrados e temporariamente compostos para produzir uma simples estimativa das variáveis geofísicas para cada grade de localização; e

- Nível 4: os produtos são gerados pela incorporação dos dados MODIS em modelos para se estimar as variáveis geofísicas.

O processamento do nível zero é feito pelo sistema operacional, e os níveis 1A e 1B e os produtos de geolocalização é feito no centro de arquivos Goddard Space Flight Center Earth Sciences Distributed Active Archive Center (GES DAAC). Os produtos de níveis 2, 3 e 4 são, inicialmente, produzidos pelo sistema de processamento adaptativo do sensor MODIS Adaptive Processing System (MODAPS), e em seguida distribuídos para outros três centros de DAACs.

O sensor MODIS, abordo das plataformas Terra e Aqua são compostos por 36 bandas espectrais, onde foi desenvolvido para mensurar os processos biológicos e físicos globais de toda superfície terrestre a cada um ou dois dias.

As 36 bandas situam-se entre 0,4 a 14,4 μm , em que as primeiras 19 bandas são da porção refletida do espectro eletromagnético (405 a 2155 nm), onde as bandas 1-7 são direcionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8-16 para as observações oceânicas; e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36, a exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro (3660 a 14385 nm) (BARKER et al., 1992). A varredura de 55° para cada lado na órbita de 705 km de altura resulta numa faixa imageada de 2.330 km (SOARES et al., 2007). As especificações técnicas deste sensor estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações gerais do Sensor MODIS

Órbita	Altitude 705 km, 10:30 am nó descendente (terra) ou 1:30 pm nó ascendente (Aqua), e quase polar, circular sincronizada com o Sol.
Taxa de Leitura / varredura	55° para cada lado na órbita, 20,3 rpm, faixa transversal. Imagea 288 “grânulos” a cada 24 h.
Quantização	12 bits
Taxa de dados	10,6 Mbps (pico); 6,1 Mbps (media orbital)
Potência	162.5 W (média para uma órbita)
Peso	228,7 kg
Tamanho	1,0 x 1,6 x 1,0 m
Resolução espacial	250 m (bandas 1 - 2), 500 m (bandas 3 - 7), 1000 m (bandas 8 - 36)
Alcance Espectral	0.4 - 14.4 μm

Fonte: Adaptada do site MODIS. (2015) e JUSTICE et al. (2002).

De acordo com Justice et al. (2002) os dados adquiridos de todo planeta permitem os estudos de longa duração da superfície terrestre, necessários para o entendimento das mudanças globais. Os produtos da superfície terrestre gerado pelo sensor MODIS podem ser verificados na Tabela 2.

Tabela 2 - Produtos da superfície terrestre gerados pelo sensor MODIS

	Módulos	Produtos
Produtos voltados ao balanço energético	MOD 09	Reflectância de superfície
	MOD 11	Temperatura da superfície da Terra e emissividade
	MOD 43	BRDF/Albedo
	MOD 10 e 19	Cobertura de neve e extensão de gelo na superfície do mar
Produtos voltados à vegetação	MOD 13	Índices de vegetação (Máximo NDVI e EVI integrado)
	MOD 15	Índice de área foliar (LAI) e FAPAR
	MOD 17	Fotossíntese líquida e produtividade primária
Produtos voltados à cobertura terrestre	MOD 12	Cobertura da terra e mudança na cobertura da terra
	MOD 14	Anomalias termais, fogo e queima de biomassa
	MOD 44	Conversão da cobertura vegetal

Fonte: Adaptada de JUSTICE et al. (2002).

Possuindo amplas aplicações em estudos de cobertura vegetal, destacam-se os produtos voltados para a vegetação, em especial, o produto MOD 13 (Tabela 2). Constituído pelo NDVI e EVI com resolução espacial de 250m, 500m e 1000m e resolução temporal de 16 dias e disponibilizado em formato *Hierarchy Data Format* (HDF).

Na estrutura das imagens de composição para a geração dos produtos NDVI e EVI, os dados coletados no período de 16 dias fornecem um número de imagens maior que 5, onde é aplicado o modelo de Reflectância Bidirecional de *Walthall* – BRDF (WALTHALL et al., 1985). Quando as imagens no período de 16 dias forem inferiores a 5, o modelo a ser aplicado será *Constraint View angle Maximum Value Composite* (CV-MVC). Segundo Huete et al. (1999) esse modelo tem propósito de selecionar o pixel de maior valor coletado para a geração da imagem final.

De acordo com Huete (2006) por meio do reprocessamento de toda série de imagens (versão de processamento V005) pela aplicação de algoritmos que resultaram na diminuição dos efeitos de nuvens e aerossóis nas imagens e novos parâmetros também foram adicionados, como melhorias na capacidade de detecção de mudanças nos produtos disponibilizados. Mesmo com esses aparatos, ainda

assim, Wang et al. (2012) aponta problemas com respeito a degradação do sensor nas séries temporais de NDVI/MODIS, os quais merecem atenção.

Os produtos do sensor MODIS têm sido muito utilizados para fins de estudos ambientais e da vegetação, como em diversos trabalhos científicos de diferentes autores (WARDLOW e EGBERT, 2010; ROSEMBACK et al., 2010; BRADLEY e GERARD, 2011; JONG e BRUIN, 2011; YANG et al., 2012; KUPLICH et al., 2013; VAN LEEUWEN et al., 2013; ZHANG et al., 2014; SETIAWAN et al., 2014; ECKERT et al., 2015; ESTEL et al., 2015). Essas contribuições são de estudos que vão desde o mapeamento e monitoramento de culturas agrícolas; relações entre fenologias, elementos meteorológicos, series temporais, tendências e sazonalidades, dentre outros.

3. CAPÍTULO I. Relação entre variáveis meteorológicas e Índices de Vegetação (IV's) em lavouras cafeeiras

Resumo:

Os índices de vegetação são uma importante ferramenta gerada por técnicas de sensoriamento remoto. Por meio destes índices são possíveis obter informações a respeito da biomassa verde e dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento da vegetação. O objetivo da pesquisa foi analisar a dinâmica da vegetação representativa de alvos agrícolas (café conilon) de uma região do município de São Mateus, ES, a partir de índices de vegetação gerados pelo sensor MODIS – TERRA e sua relação com dados meteorológicos, durante o período de 2007 a 2014. Foram utilizados dados de imagens de séries temporais de índices de vegetação de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), e dados da estação automática A616 do INMET referente ao período de 2007 a 2014. O NDVI e EVI podem ser influenciados pelas variáveis meteorológicas. O comportamento típico de cada índice em cada período foi diferente. As variáveis meteorológicas e o NDVI e EVI podem ser considerados um indicador sensível para se avaliarem os efeitos da fenologia da cultura. O vegetal sofreu drasticamente com os níveis de déficit hídrico observando-se redução nos valores dos índices de vegetação. As variáveis meteorológicas relacionadas com o NDVI e EVI apresentaram resultados promissores para a utilização como indicador analítico da vegetação.

Termos para indexação: sensoriamento remoto, café, índices espectrais de vegetação.

Abstract:

Vegetation indexes are an important tool generated by remote sensing techniques. Through these indexes it is possible to obtain information about the green biomass and growth parameters and development of vegetation. This research goal was to analyze the dynamics of representative vegetation in agricultural fields (conilon coffee) in a region of São Mateus, ES, from vegetation indexes generated by the MODIS - TERRA and its relationship with meteorological data during the period 2007 to 2014. . It has been used data of images of time series of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and EVI (Enhanced Vegetation Index) from MODIS sensor (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), and data from automatic station A616 INMET due the period of 2007 to 2014. NDVI and EVI can be influenced by meteorological variables. The typical behavior of each index in each period was different. The meteorological variables of NDVI and EVI can be considered a sensitive indicator to evaluate the effects of crop phenology culture. Vegetable drastically suffered from the drought levels with a reduction in the values of vegetation indexes. The weather variables related to NDVI and EVI showed promising results for use as an analytical indicator of vegetation.

Index terms: Remote sensing, coffee, spectral vegetation indices.

Introdução

Os índices de vegetação são uma importante ferramenta gerada por técnicas de sensoriamento remoto. Por meio destes índices são possíveis obter informações a respeito da biomassa verde e dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento da vegetação.

Nos últimos anos houve um aumento importante nos estudos relacionados à fenologia da vegetação com a utilização de imagens de satélite e variáveis meteorológicas (LIU e NEGRÓN JUÁREZ, 2001; WANG et al., 2003; WAN et al., 2004; WARDLOW e EGBERT, 2010; BRADLEY e GERARD, 2011; GALVÃO et al., 2011; KUPLICH et al., 2013; VAN LEEUWEN et al., 2013; ZHANG et al., 2014; SETIAWAN et al., 2014; ESTEL et al., 2015), possibilitando monitorar os processos dinâmicos da vegetação, suas mudanças e os impactos que isso pode implicar ao meio ambiente. Essa técnica permite avaliar grandes áreas a baixos custos.

Dentre muitos sensores que tem a finalidade de coletar informações da superfície terrestre o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) do satélite Terra está sendo muito utilizado, devido às imagens possuir alta resolução temporal e ter produtos voltados especialmente para a vegetação, como o MOD13, composto pelo NDVI e EVI (ANDERSON et al., 2003).

Segundo Moreira (2011) a finalidade da criação do NDVI é eliminar as diferenças sazonais do ângulo de elevação solar e minimizar os efeitos de atenuação atmosférica em imagens multitemporais. O EVI tem a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da influência atmosférica de fundo do dossel sobre o monitoramento da vegetação (HUETE et al., 2002).

O valor do NDVI e EVI pode variar em uma escala entre -1 a $+1$ (quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal) e os valores negativos (presença de corpos d' água), sendo que o 0 representa o valor aproximado para ausência de vegetação. Os Índices espectrais mais utilizados em níveis locais, regionais e globais é o NDVI (WARDLOW e EGBERT, 2008).

O sucesso na maioria das atividades agrícolas depende do monitoramento das condições climáticas durante todas suas fases fenológicas e ciclo das culturas. A atividade da cafeicultura, atualmente, tem sido monitorada em campo utilizando-se dados de estações meteorológicas e visita a campo (lavoura) para acompanhar o seu desenvolvimento.

A importância da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da cafeicultura (MOREIRA et al., 2003). Porém, de acordo com Mendes et al. (2014), em se tratando de café conilon, a literatura carece de informações que correlacionem os fatores biofísicos da cultura com a sua resposta espectral.

Diante do exposto, objetivou-se, no presente estudo, analisar a dinâmica da vegetação representativa de alvos agrícolas (café conilon) de uma região do município de São Mateus, ES, a partir de índices de vegetação gerados pelo sensor MODIS – TERRA e sua relação com dados meteorológicos, durante o período de 2007 a 2014.

Material e Métodos

As etapas metodológicas utilizadas para avaliar os índices de vegetação, NDVI e EVI com variáveis meteorológicas foram:

- Etapa 01: Delimitação e área de estudo;
- Etapa 02: Escolha das imagens e downloads (NDVI e EVI);
- Etapa 03: Pré-processamento das imagens (NDVI e EVI) no *software* MRT;
- Etapa 04: Fotointerpretação em tela da cultura estudada em imagens de alta resolução espacial;
- Etapa 05: Processamento das imagens NDVI e EVI;
- Etapa 06: Organização do banco de dados meteorológicos e;
- Etapa 07: Correlação e regressão do NDVI e EVI com variáveis meteorológicas.

Etapa 01 – Delimitação e área de estudo

Algumas das principais culturas de interesse econômico do estado do Espírito Santo concentram-se na região Norte, como o café conilon, a fruticultura (mamão, coco, goiaba, maracujá), a silvicultura (floresta plantada), as culturas condimentares (pimenta do reino, aroeira, pimenta da Jamaica e urucum), a macadâmia e a cana-de-açúcar, além das extensas áreas de pastagens, entre outras.

A área de estudo está localizada na região Norte do estado do Espírito Santo, município de São Mateus, Brasil, situado entre as latitudes de 18° 40' e 18° 24' S e longitude de 39° 51' e 40° 04' W.

Definiu-se como alvo terrestre (local e temporal) a fenologia de 20 lavouras de café conilon, que apresentava semelhança morfológica e de dossel, dentro de um raio de 40 km da estação meteorológica automática A616, do INMET (Figura 2).

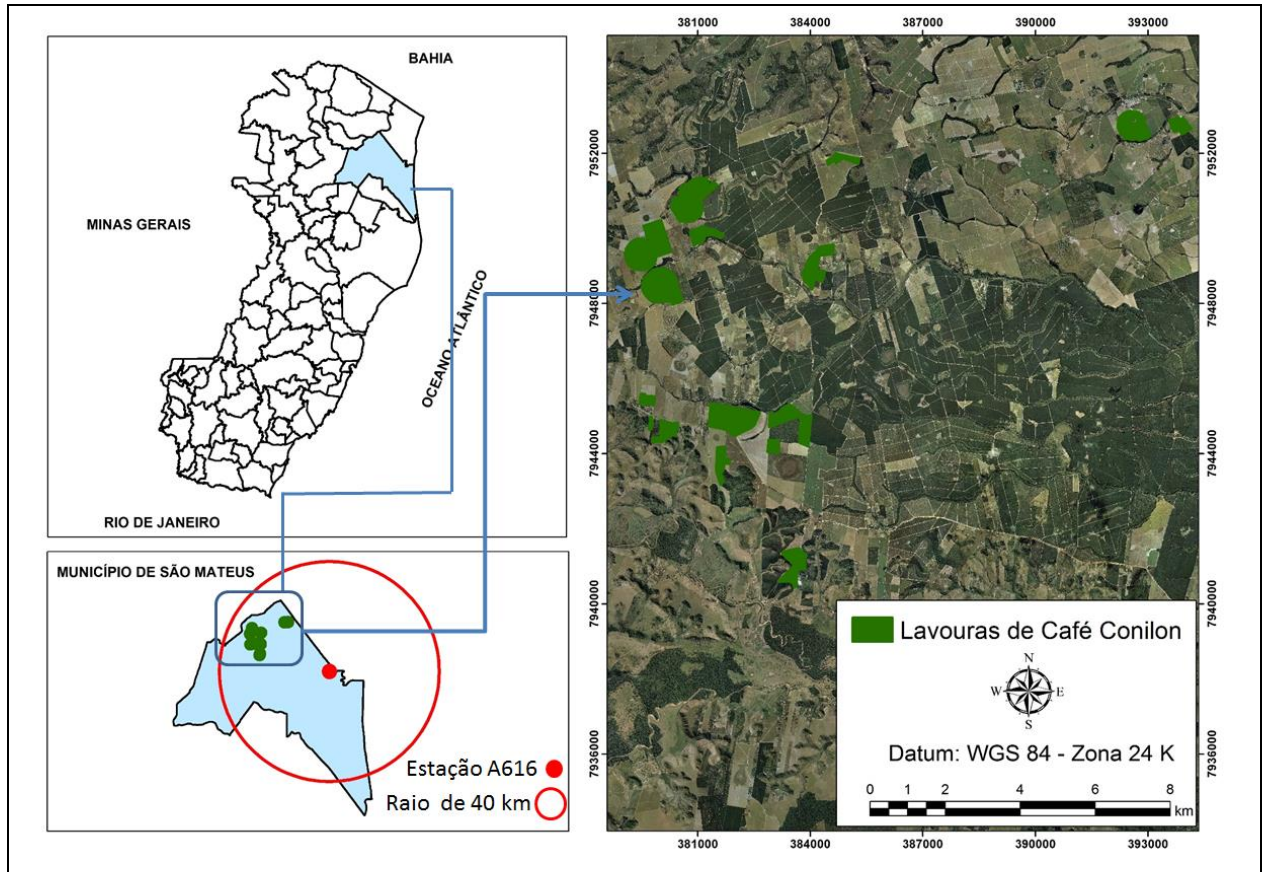


Figura 2. Localização da área entre Estado em relação ao município de São Mateus, ES
Fonte: Elaborado pelo autor.

A área de estudo apresenta topografia predominantemente plana à suavemente ondulada. Possui 97% de sua área com declividade abaixo de 30% e baixadas alagadiças. O clima é seco sub-úmido do tipo Aw (Köppen), considerado o clima megatérmico (INCAPER, 2011).

Etapa 02 – Escolha das imagens e downloads (NDVI e EVI)

Para a realização do trabalho, foi feita a aquisição de imagens orbitais do satélite TERRA/Sensor MODIS, exclusivamente do produto MOD13Q1, de versão do processamento 005 (NASA's, 2015), em arquivos no formato HDF, com resolução temporal de 16 dias, espacial de 250m e resolução radiométrica de 12 bits, que cobrem uma área de 10 x 10 graus de latitude e longitude, respectivamente sendo identificados em uma grade horizontal e vertical por h14v10, respectivamente (Figura 3).

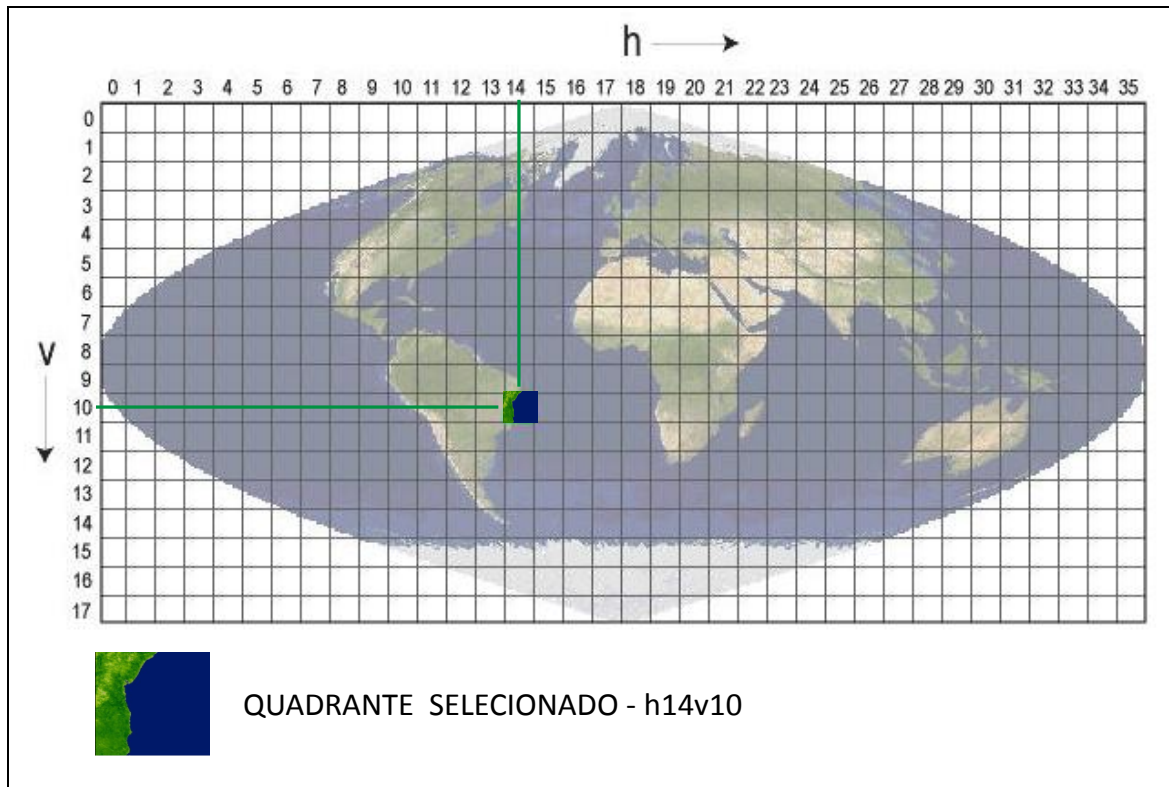


Figura 3. Grade de referenciamento das imagens do sensor MODIS com destaque para a cena utilizada no estudo
 Fonte: LPDAAC (Adaptada pelo autor).

A aquisição das imagens foi relativa ao período compreendido entre os anos de 2007 a 2014, sendo 23 por ano de cada índice (NDVI e EVI), totalizando 46 imagens anuais e 368, ao longo dos 8 anos, sendo 184 NDVI e 184 EVI.

Etapa 03 – Pré-processamento das imagens (NDVI e EVI) no *software* MRT

A finalidade do *software* MRT é converter as imagens que estão no formato HDF para GEOTIFF e também escolher os parâmetros de saída das mesmas como, por exemplo, projeção, *Datum*, *entre outras*.

Foram selecionadas as imagens do NDVI e EVI necessárias para o estudo e, em seguida, todas as imagens foram convertidas em GEOTIFF e processadas na projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), zona 24, *Datum* World Geodetic System (WGS84).

Etapa 04 – Fotointerpretação em tela da cultura estudada em imagens de alta resolução espacial

Para verificação a escolha das lavouras estudada nos períodos de 2007 á 2014, foi realizado o mapeamento do alvo em tela, nas ortofotos do aerolevante do estado do Espírito Santo, referente a julho de 2007. Essas ortofotos foram cedidas pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA), e apresentam resolução espacial de 1,1m, nos intervalos do visível (0,45 – 0,69 μm), na escala de 1:35.000.

Foi utilizado o aplicativo computacional *ArcGIS®* 10.2.2 para a realização da fotointerpretação em tela, na escala cartográfica de 1:2.000, conforme (SANTOS., et al 2014).

Para a validação do período analisado, foi feita uma segunda fotointerpretação em tela, na imagem do satélite *RapidEye* de 2013, com resolução espacial de cinco metros. Foi realizado no aplicativo computacional *ArcGIS®* 10.2.2. Essa imagem foi cedida pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do ES (IDAF). Esse segundo mapeamento teve como objetivo conferir se as lavouras da cultura estudada permaneceram no intervalo de oito anos no mesmo local de estudo. Sendo assim essa metodologia validou os alvos.

De posse da fotointerpretação dos alvos validados, foram criados *shapefiles*.

Etapa 05 – Processamento das imagens NDVI e EVI

As imagens NDVI e EVI convertidas no *software* MRT foram importadas para o *ArcGIS®* 10.2.2. Posteriormente, foram selecionadas as bandas espectrais necessárias para a geração das composições espectrais.

Foi aplicada uma equação nas imagens com propósitos de organizar os valores dos *pixels* em escalas, os valores de cada pixel das bandas do NDVI e EVI foram divididos por 10000, convertendo-os, assim, para valores do tipo real.

De posse do *shapefiles* dos alvos, efetuou-se o recorte individual do NDVI e EVI com o correspondente limite vetorial.

Sobre as imagens de NDVI e EVI recortadas, com seus respectivos alvos selecionados, foi adicionado um ponto central sobre cada alvo, aplicando-se um *buffer* de raio de 250m que novamente foi utilizado como máscara de corte para as áreas em

que foram adquiridos os valores médios dos *pixels* de NDVI e EVI das lavouras de café.

Etapa 06 – Organização do banco de dados meteorológicos

A Estação meteorológica automática utilizada foi a de São Mateus - A616, código OMM: 86786, coordenadas: Latitude 18°40'34''S e Longitude 39°51'50''W, altitude: 29m (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET).

A Estação meteorológica automática de São Mateus - A616 começou a registrar dados em outubro de 2006, que integra os valores observados, minuto a minuto, disponibilizando-os automaticamente a cada hora (temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento).

Os dados foram disponibilizados pelo (INMET, 2015) abrangendo o período de 01/01/2007 a 03/01/2015, correspondendo a 2920 dados meteorológicos. De posse dos dados meteorológicos, organizou-se o banco de dados, neste ocorreram dados nulos nas seguintes estações: outono no ano de 2010 (23/04 a 27/06), verão e outono no ano de 2007 (09/12 a 31/12), 2008 (01/01 a 22/06) nas variáveis meteorológicas direção e velocidade do vento, impossibilitaram a estimativa da Evapotranspiração da Cultura, Excedente hídrico e Déficit Hídrico e na estação de outono de 2010 (29/04 a 27/06) ocorreram dados nulos nas variáveis DH, EXC, ETc, Tméd, Tmáx, Tmín. Esses períodos foram excluídos do estudo.

Para a organização do banco de dados, foram processadas as médias diárias das variáveis meteorológicas necessárias para determinação da evapotranspiração de referência (ET_o), de acordo com a equação de Penman-Monteith, conforme o Boletim 56 da Food and Agriculture Organization (FAO-56) (ALLEN et al., 1998).

Abaixo é apresentada a equação da evapotranspiração de referência e demais equações necessárias para sua estimativa (ALLEN et al., 1998):

Evapotranspiração de referência (ET_o):

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

(eq. 3)

Em que,

ET_o : evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

Rn : saldo de radiação (MJ.m⁻².h⁻¹);

G : fluxo de calor no solo (MJ.m⁻² dia⁻¹);

T : temperatura média diária a 2 metros de altura (°C);

u_2 : velocidade diária do vento a 2 metros (m.s⁻¹);

e_s : pressão de saturação do vapor (kPa);

e_a : pressão real de vapor (kPa);

Δ : inclinação da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹); e

γ : constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

A constante psicrométrica “ γ ” foi calculada empregando-se a Equação 4:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} p$$

(eq. 4)

Em que,

γ : constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); e

p : pressão atmosférica (kPa).

De acordo com Allen et al. (1998), a padronização da temperatura média (T_{med}) para períodos de 24 horas foi definida como a média da temperatura máxima diária (T_{max}) e temperatura mínima diária (T_{min}), conforme Equação 5:

$$T_{med} = \frac{T_{max} - T_{min}}{2}$$

(eq. 5)

A pressão de saturação de vapor média está relacionada com a temperatura do ar, calculada segundo as Equações 6 e 7:

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27 T}{T + 237,3} \right] \quad (\text{eq. 6})$$

Em que,

$e^{\circ}(T)$: pressão de saturação de vapor à temperatura do ar (kPa); e

T: temperatura do ar, máxima ou mínima (°C).

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2} \quad (\text{eq. 7})$$

Em que,

e_s : pressão de saturação de vapor médio (kPa);

$e^{\circ}(T_{\max})$: pressão de saturação de vapor à temperatura máxima diária (kPa); e

$e^{\circ}(T_{\min})$: pressão de saturação de vapor à temperatura mínima diária (kPa).

O valor de “ e_a ” foi derivado de dados de umidade relativa do ar, calculado de acordo com a Equação 8:

$$e_a = \frac{e^{\circ}(T_{\min}) \frac{UR_{\max}}{100} + e^{\circ}(T_{\max}) \frac{UR_{\min}}{100}}{2} \quad (\text{eq. 8})$$

Em que,

e_a : pressão de vapor atual (kPa);

$e^{\circ}(T_{\min})$: pressão de saturação de vapor à temperatura mínima diária (kPa);

$e^{\circ}(T_{\max})$: pressão de saturação de vapor à temperatura máxima diária (kPa);

UR_{\max} : umidade relativa máxima do ar (%); e

UR_{\min} : umidade relativa mínima do ar (%).

A diferença entre “ e_s ” e “ e_a ”, denominado déficit de pressão de vapor (DPV), foi calculada usando as Equações 7 e 8.

O valor de “ Δ ”, inclinação da curva de pressão de vapor de saturação, foi calculado pela Equação 9:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp \left(\frac{17,27 T}{T + 237,3} \right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (\text{eq. 9})$$

Em que,

Δ : inclinação da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), e

T: temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$).

A radiação solar extraterrestre (R_a), para cada dia do ano e para diferentes latitudes foi estimada a partir da constante solar (G_{sc}) da inclinação solar (ω_s) e da época do ano, conforme as Equações 10, 11, 12 e 13, respectivamente:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s)] \quad (\text{eq. 10})$$

Em que,

R_a : radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

G_{sc} : constante solar igual a $0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$;

φ : latitude (rad);

d_r : inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (Equação 7);

δ : dizimação da energia solar (Equação 8) (rad); e

ω_s : ângulo horário do Sol (Equação 9) (rad).

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right) \quad (\text{eq. 11})$$

$$\delta = 0,409 \text{sen} \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right) \quad (\text{eq. 12})$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \quad (\text{eq. 13})$$

Em que,

J : número de dias no ano entre 1 e 365 ou 366.

O número de horas do dia foi calculado utilizando a Equação 14:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (\text{eq. 14})$$

Em que,

N : duração máxima possível da luz do Sol (horas); e

ω_s : ângulo horário do Sol (Equação 13) (rad).

A radiação solar global (R_s) diária foi obtida pela integralização dos valores horários registrados na estação automática.

A radiação solar para céu claro (R_{so}) foi calculada através da Equação 15:

$$R_{so} = (a_s + b_s)R_a \quad (\text{eq. 15})$$

Em que,

R_{so} : radiação solar para céu claro ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

$a_s + b_s$: fração da radiação extraterrestre que atinge a Terra em dias claros, sendo recomendado $a_s = 0,25$ e $b_s = 0,50$; e

R_a : radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), Equação 10.

O saldo de radiação solar de ondas curtas (R_{ns}) foi calculado usando a Equação 16:

$$R_{ns} = (1 - a)R_s \quad (\text{eq. 16})$$

Em que,

R_{ns} : saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

a : albedo ou coeficiente de reflexão da copa, valor recomendado para a cultura padrão é de 0,23, sendo a grama a cultura hipotética de referência, adimensional; e

R_s : radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O saldo de radiação de ondas longas R_{nl} é dado pela Equação 17.

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{\max,K})^4 + (T_{\min,K})^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (\text{eq. 17})$$

Em que,

R_{nl} : saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

σ : constante de Stefan-Boltzmann, igual a $4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$;

$T_{\max,K}$: temperatura máxima absoluta diária, $K = ^\circ\text{C} + 273,16$;

$T_{\min,K}$: temperatura mínima absoluta diária, $K = ^\circ\text{C} + 273,16$;

e_a : pressão de vapor atual (kPa);

R_s : radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); e

R_{so} : radiação solar para céu claro ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O saldo de radiação líquida (R_n) é a diferença entre a radiação de ondas curtas (R_{ns}) e a radiação de ondas longas (R_{nl}) calculado conforme Equação 18:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (\text{eq. 18})$$

Segundo Allen et al. (1998) alguns modelos complexos estão disponíveis para descrever o fluxo de calor no solo (G). Porém, para valores diários, o fluxo de calor no solo é pequeno em comparação com o saldo de radiação líquida (R_n), particularmente quando a superfície é coberta por vegetação, considerando igual à zero ($G = 0$).

O cálculo da Velocidade média do vento (u_2) foi realizado de acordo com a Equação 19:

$$u_2 = u_z \left(\frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)} \right) \quad (\text{eq. 19})$$

Em que,

u_2 : velocidade do vento a 2 m acima da superfície do solo (m s^{-1});

u_z : velocidade do vento na superfície m z acima do solo (m s^{-1}); e

z: altura de medição acima da superfície do solo (m).

Com os resultados da (ET_o), foram determinados a evapotranspiração da cultura (ET_c) para café, conforme a equação de Penman-Monteith (FAO-56) (ALLEN et al., 1998).

Evapotranspiração da cultura (ET_c):

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (\text{eq. 20})$$

Em que,

ET_c : evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

K_c : coeficiente da cultura (adimensional); e

ET_o : evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}).

Segundo o boletim da FAO, Allen et al. (1998) a recomendação do valor médio do K_c varia entre 0,9 a 1,1, sendo assim, foi adotado um valor de $K_c = 0,95$, para plantas em pleno desenvolvimento, em local não sombreado e sem presença de ervas daninhas.

Os valores do Coeficiente da cultura (K_c) estão coerentes com o boletim da FAO (Irrigation and Drainage Paper, 56) sendo uma das principais publicações sobre K_c , onde especifica inúmeras culturas vegetais, o qual apresenta tabelas para as diversas culturas em função de frequências de umedecimento do solo e de valores de ET_o .

Posteriormente, foram realizadas análises de balanço hídrico climatológico (BH), baseando-se na metodologia adaptada da equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Nas análises dos balanços hídricos realizadas para os anos de 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014, considerou-se o valor de CAD 100 mm. Realizadas as análises de balanços hídricos diários para os anos de 2007 a 2014, os valores diários dos componentes dos balanços hídricos foram agrupados em períodos de 16 dias.

As variáveis meteorológicas, Temperatura média ($T_{\text{méd}}$), Temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) e Temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$); Precipitação (P); Umidade relativa do ar média (UR% méd), Umidade relativa do ar máxima (UR% máx) e Umidade relativa do ar mínima (UR% mín); Radiação Solar (RS); Evapotranspiração da cultura (ETc); Excedente (EXC) e Deficiência hídrica (DH), foram reorganizados em Dia Juliano (DJ é uma contagem sucessiva de dias e frações a partir do ano astronômico – 4712 ou 4712 a. C.) sendo que cada dia Juliano representativo na Tabela 3, equivale a dados de 16 dias. Em seguida foram separados em escalas para cada estação dos anos estudados. Dessa forma os dados mantiveram a mesma escala das imagens, que possui resolução temporal de 16 dias.

Tabela 3 - Dias Julianos para cada estação do ano, para os anos de 2007 a 2014

Verão 21 dez – 21 mar	Outono 21 mar – 21 jun	Inverno 21 jun – 23 set	Primavera 23 set – 21 dez
1	81	177	273
17	97	193	289
33	113	209	305
49	129	225	321
65	145	241	337
353 (P/V)	161 (O/I)	257 (I/P)	353 (P/V)

P/V - Primavera/Verão, O/I – Outono/Inverno, I/P – Inverno/Primavera

Fonte: Elaborado pelo autor.

Etapa 07 – Correlação e regressão do NDVI e EVI com variáveis meteorológicas

Nesta etapa, foram analisadas as relações lineares entre o NDVI e EVI com as variáveis meteorológicas coletadas e estimadas, nas quatro estações do ano de 2007 a 2014 (Verão, Outono, Inverno e Primavera) para a cultura do café.

Para avaliar como as variáveis espectrais e meteorológicas se correlacionam, foram utilizadas técnicas estatísticas, como a correlações de *Pearson* entre os valores

de NDVI e EVI das áreas cafeeiras com as meteorológicas, com o intuito de estimar a intensidade da associação entre as variáveis. De posse dos coeficientes de correlação, entre as estações, foram validados os resultados em uma tabela de valores críticos de correlação de *Pearson* para nível de significância de 5% e de 1%, baseado no teste, conforme metodologia descrita por (GOMES, 2000).

Após a análise de correlação, foi realizada, sobre os dados que apresentaram correlação (5% ou a 1% de significância), a análise de regressão visando verificar a relação funcional entre as variáveis.

O fluxograma metodológico contendo as sete etapas necessárias para o desenvolvimento do trabalho é apresentada na Figura 4.

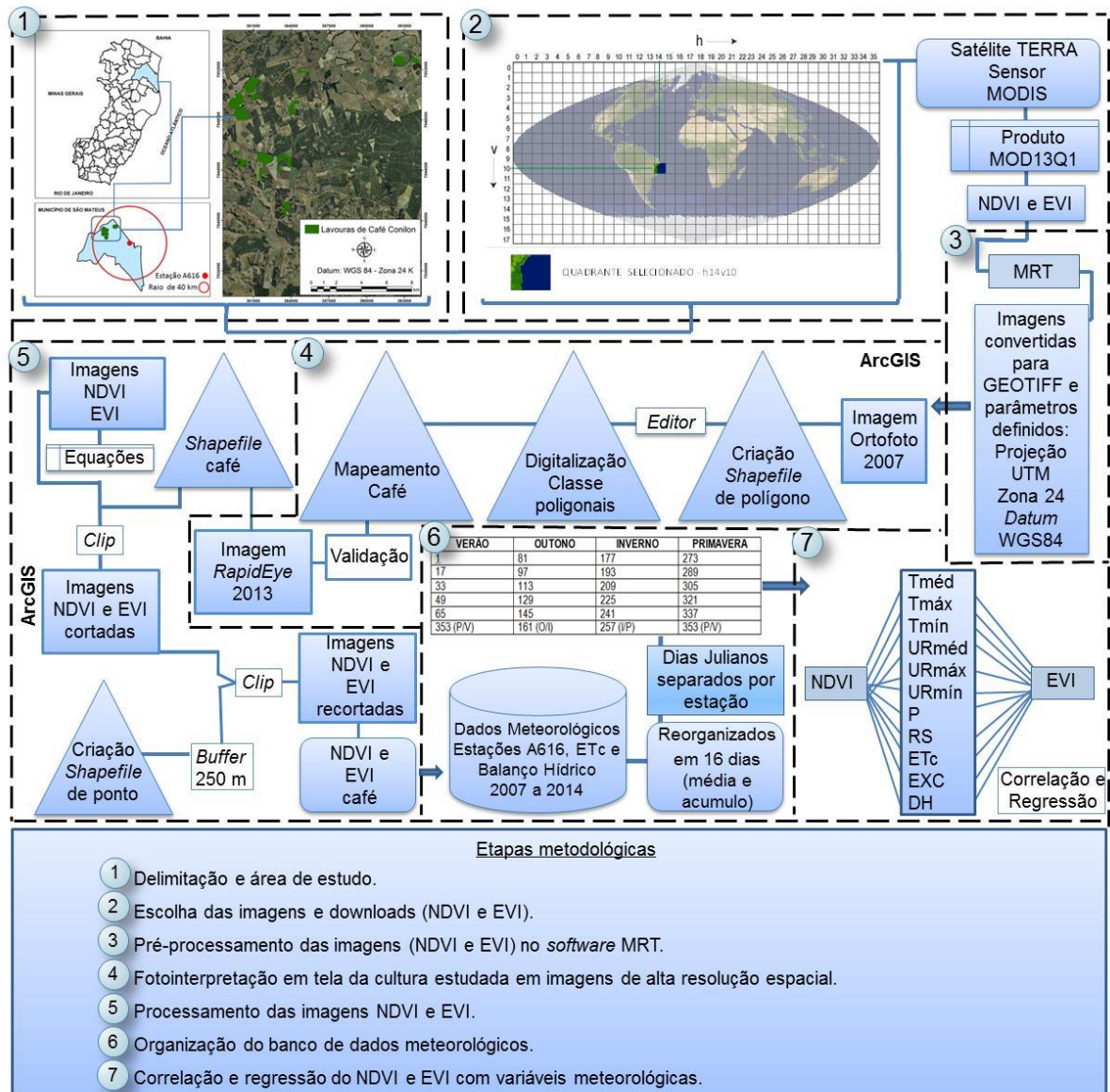


Figura 4. Etapas necessárias para o desenvolvimento do trabalho.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Resultados e discussão

A área total ocupada pelas 20 lavouras selecionadas é de 541,73 ha. A diferença entre o tamanho das lavouras varia 7,9 ha a menor e 73 ha a maior.

No presente estudo foi constatado que no período de 2007 a 2014, as temperaturas médias do ar ($T_{\text{méd}}$) na estação meteorológica automática A616, variaram de 23,3 a 24,3 °C (Tabela 4) e nas estações separadas no período de 2007 a 2014 (Verão, Outono, Inverno e Primavera) 21,7 a 25,9 °C (Tabela 5).

Tabela 4 - Temperatura média anual do ar no período de 2007 a 2014

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
23,6 °C	23,4 °C	24,3 °C	23,7 °C	23,3 °C	23,8 °C	23,8 °C	23,6 °C

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 – Temperatura média do ar, separadas por estações no período de 2007 a 2014

Verão	Outono	Inverno	Primavera
25,9 °C	23,6 °C	21,7 °C	24,5 °C

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com recomendações sugeridas por Matiello (1991), Matiello et al. (2002), Omena (2014), Partelli et al. (2013), Santinato et al. (2008), Santos et al. (2000) e Santos et al. (2015) com adaptações, as faixas de aptidões térmicas consideradas para o café conilon (*Coffea canephora*) situa-se entre 22 – 26 °C apta, restrita entre 21 – 22 °C e inapta < 21 e > 26 °C. Comparando as médias das temperaturas obtidas nos anos 2007 a 2014 (Tabela 4) e nas estações verão, outono e primavera (Tabela 5), nota-se que permaneceram dentro da faixa apta para o cultivo, ficando fora dessa faixa a estação de inverno, que correspondeu a faixa restrita.

A Tabela 6 é apresentada os resultados da precipitação pluviométrica média anual no período de 2007 a 2014.

Tabela 6 - Precipitação pluviométrica média anual no período de 2007 a 2014

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1.047,6	1.502,6	1.097,2	1.027,6	1.401,2	1.045,2	1.198,0	976,0
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm

Fonte: Elaborado pelo autor.

O acumulado nas estações dos anos (períodos acumulados a cada 16 dias decorrentes dos anos e estação, sequencia da Tabela 3) correspondeu a 2.703,2 mm no Verão, 1.713,6 mm no Outono, 1.475,2 mm no Inverno e 3.403,4 mm na Primavera.

Atualmente o monitoramento das necessidades hídricas da cultura do café e o consumo d'água em escala regional tem sido quantificado com eficiência, por meio de técnicas embasadas na estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o) (BASTIAANSEN et al., 2000). De acordo com Partelli et al. 2013, no Norte do Estado há deficiência hídrica (DH), demonstrando-se que o cultivo do café conilon tem ocorrido em regiões onde o déficit hídrico é o principal fator limitante na produção, onde em muitos anos a ocorrência de secas prolongadas e veranicos tem prejudicado a produção dos cafeeiros em condições não irrigadas.

De acordo com Martins et al. (2007) o desenvolvimento técnico-científico e a utilização de práticas agrícolas modernas, como a irrigação, promoveram a incorporação de regiões marginais e inaptas para o cultivo de café.

Tabela 7 – Excedente hídrico (EXC) e déficit hídrico (DH) acumulado nas estações no período de 2007 a 2014

	Verão	Outono	Inverno	Primavera
EXC	306,5 mm	187 mm	78,3 mm	1.139,6 mm
DH	-1.110,2 mm	-720,3 mm	-1.023,3 mm	-659,9 mm

Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse desses dados, foram feitas as correlações visando relacionar variáveis meteorológicas terrestres (P – precipitação pluviométrica, T_{méd} - temperatura média, T_{máx} - temperatura máxima, T_{mín} - temperatura mínima, ET_c, EXC, DH, UR% méd - umidade média, UR% máx - umidade máxima, UR% mín - umidade mínima e RS - radiação solar) e Índices de Vegetação (IV's), NDVI e EVI

oriundo de imagens MOD13 do sensor MODIS/Terra, acumulado para períodos de 16 dias nas estações (Verão, Outono, Inverno e Primavera).

Os resultados abaixo serão apresentados por estações do ano, de forma que facilite as interpretações dos gráficos.

Verão:

No período de 2007 a 2014, o EVI e o NDVI médio apresentaram respectivamente, valores máximos de 62% (2008 - dia Juliano 49) e 78% (2007, 2011- dia Juliano 49, 17) e mínimos, respectivamente de 36% e 59% (2010 - dia Juliano 1), período que ocorreu baixa P. Observa-se ainda que, quando as P acumuladas nos períodos de 16 dias são reduzidas, os valores do EVI e NDVI, decrescem lentamente. Outra variável que explica bem esse fato é a DH, quanto maior ela é, serão menores os valores dos índices de vegetação (Figura 5 A e B).

Observa-se que quando a ETc aumenta sua taxa, o EVI e NDVI decrescem lentamente, isso é observado na (Figura 5 B) em que, nos períodos com menor P, ocorre maior ETc. Analisando a variável temperatura, observa-se que de acordo com seu aumento, os índices de vegetação diminuem (Figura 5 A).

No período avaliado na estação de Verão de 2007 a 2014, no qual o que ocorreu uma menor taxa de P foi o de 2013 no dia Juliano 33 e 65 (0,8 e 5 mm), em seguida 2010 no dia Juliano 1 (1 mm), 2014/2015 no dia Juliano 353 (4,6 mm), 2011 dia Juliano 33 (5,2 mm) e 2007 no dia Juliano 17 (8,8 mm). A DH aumentou nesses mesmos períodos, chegando-se a (- 97,3) no dia Juliano 1 de 2010. É visível que nos períodos que a P diminui, a DH aumenta (Figura 5 B).

Observa-se que no ano de 2009 a 2010, foi o período com menor P em dias Julianos acumulados e o intervalo que a DH chegou a quase (-100 mm), a temperatura teve um pico maior, nesses períodos T_{méd} atingiu (27,3°C), T_{máx} (35,8 °C) e T_{mín} (21,6 °C) Figura 5 B.

O período que ocorreu maior taxa de P foi no Verão de 2010, dia Juliano 49 (187,6 mm), Verão de 2007 no dia Juliano 33 (186,6 mm), Verão de 2008 no dia Juliano 49 (173,4 mm), Verão de 2009 no dia Juliano 1 (173 mm), Verão de 2011 no dia Juliano 65 (170 mm), Verão de 2013 no dia Juliano 17 (146,2 mm). Esses períodos que ocorreram maior P seguida em dias Julianos, fez com que o EXC aumentasse (Figura 5 B), Verão de 2007 dia Juliano 33 e 49 (47,6 e 29,4 mm), Verão de 2009 dia Juliano 1 (78,3 mm), e nos anos 2010, 2011 e 2012

respectivamente, dia Juliano 49 (12,9 mm), dia Juliano 353 (27 mm) e dia Juliano 65 (11,7 mm).

No ano de 2007 e 2008 (Dias Julianos 353, 1, 17, 33, 49, 65) (Figura 5 B) nas variáveis meteorológicas DH, EXC, ETc, foram excluídas (dados nulos).

A maior taxa de ETc foi ao período de 2010, dia Juliano 17 (6,07 mm), esse período foi onde ocorreu pouca P. A menor taxa de ETc foi no período de 2011 no dia Juliano 65 (3,68 mm) Figura 5 B.

Na Figura 5 C são apresentadas a UR% méd, UR% máx, UR% mín e RS no período de verão dos anos de 2007 a 2014.

Observa-se quando a RS aumenta, o EVI e NDVI decrescem. O EVI e NDVI acompanham a UR%, quando esta diminui, os valores dos índices de vegetação diminuem (Figura 5 A e C).

A maior taxa de RS foi no Verão de 2010 no dia Juliano 1 (28,2 MJ.m⁻²) e a menor em 2011 no dia Juliano 65 (16,5 MJ.m⁻²) (Figura 5 C). Observa-se que a UR% méd teve um pico maior no dia Juliano 353 (87,5%) ano 2013/2014, UR% máx dia Juliano 353 e 17 (99%) ano de 2013/2014 e UR% mín no dia Juliano 49 e 33 (30%) ano de 2011 e 2012.

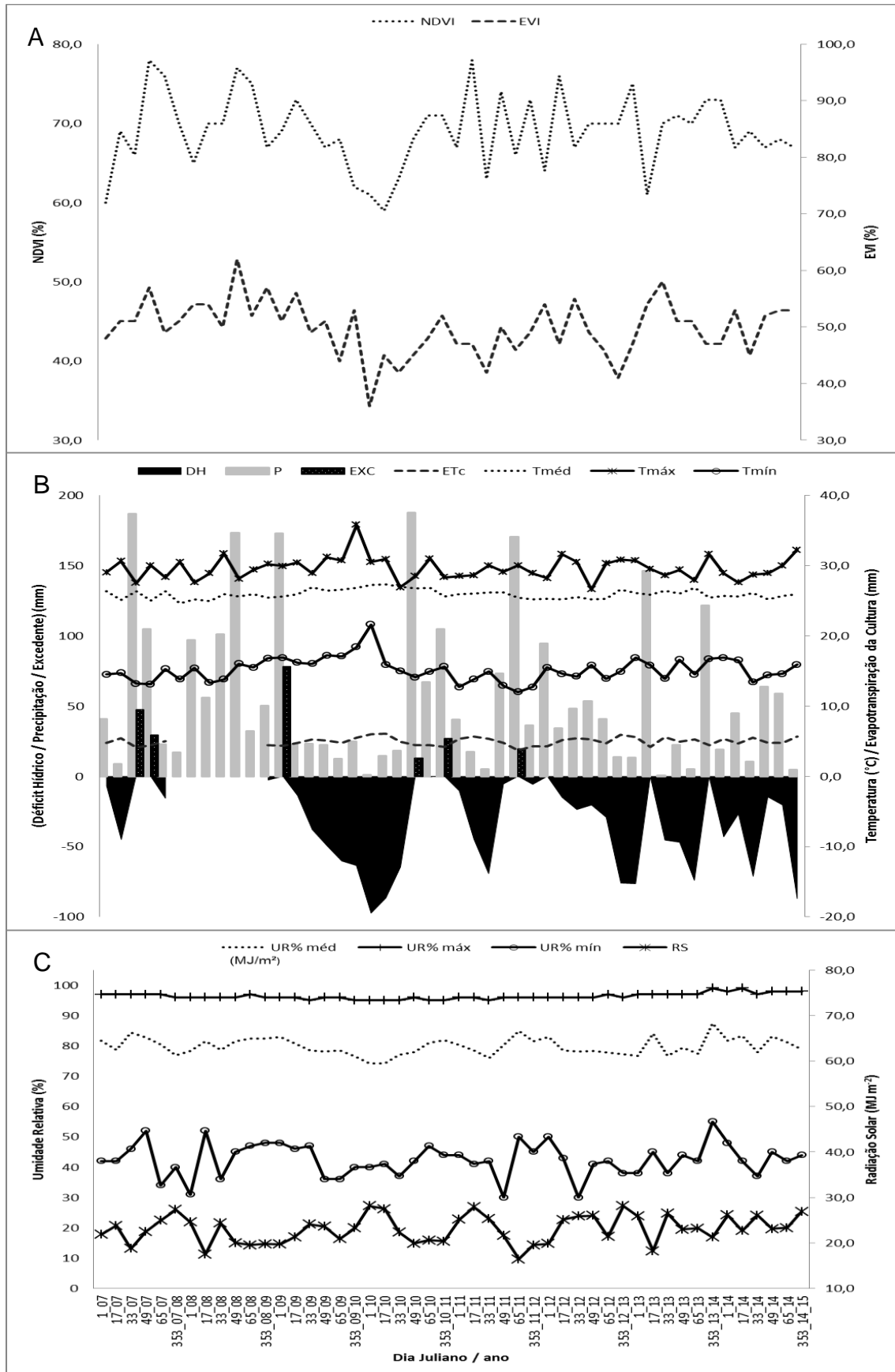


Figura 5. Variação do NDVI e EVI (A); DH, P, EXC, ETc, Tméd, Tmáx, Tmín (B); UR% méd, UR% máx, UR% mín e RS (C) para períodos de 16 dias na estação de Verão dos anos de 2007 a 2014, em São Mateus, ES.

Estação de Outono:

Na Figura 6, observa-se os valores dos índices de vegetação NDVI e EVI (A), variáveis meteorológicas DH, P, EXC, ETc, Tméd, Tmáx, Tmín e UR% méd, UR% máx. UR% mín, RS (C) para estação de Outono para os anos de 2007 a 2014.

Observa-se na Figura 6 B e C que as datas sem as variáveis meteorológicas DH, EXC, ETc, Tméd, Tmáx, Tmín, UR% méd, UR% máx. UR% mín, RS do ano de 2010 (Dias Julianos 113, 129, 145, 161) e no ano de 2007 (Dia Juliano 161) e 2008 (dias Julianos 81, 97, 113, 129, 145, 161), foram excluídas (dados nulos).

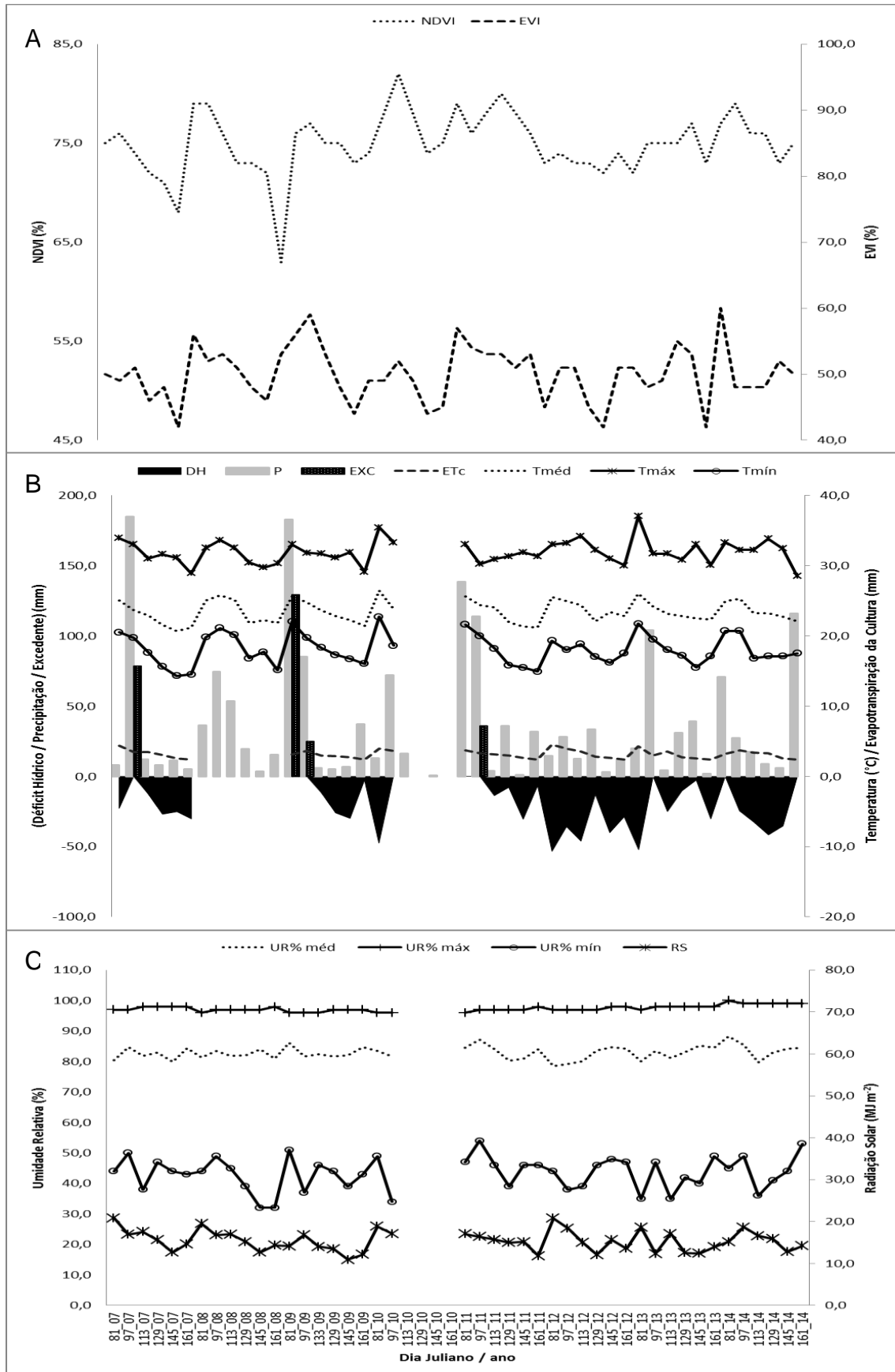


Figura 6. Variação do NDVI e EVI (A); DH, P, EXC, ETC, Tméd, Tmáx, Tmín (B); UR% méd, UR% máx, UR% mín e RS (C) para períodos de 16 dias na estação de Outono dos anos de 2007 a 2014, em São Mateus, ES.

Na estação de Outono de 2007 a 2014, o EVI e o NDVI médio apresentaram valores máximos de 60% (2014 - dia Juliano 81) e 82% (2010- dia Juliano 113) e mínimo de 42% e 63% (2007, 2012, 2013 - dia Juliano 161, 145 e 161 respectivamente) e (2009 – dia Juliano 81), período que ocorreu baixa P. Observa-se ainda que, quando as P acumuladas nos períodos de 16 dias, os valores do EVI e NDVI decrescem lentamente. Outra variável que explica bem esse fato é a DH, quanto maior, menor os valores dos IV's (Figura 6 B).

Quando a ETc aumenta sua taxa, o EVI e NDVI decrescem lentamente, isso é observado na (Figura 6 A e B), períodos com menor P, ocorre maior ETc. Observa-se que de acordo com o aumento da temperatura, os índices de vegetação diminuem.

O período avaliado na estação de Outono de 2007 a 2014, o que ocorreu uma menor taxa de P foi o de 2011, no dia Juliano 145 (1,0 mm), em seguida 2013 no dia Juliano 161 (2,0 mm), 2012 no dia Juliano 145 (3,2 mm), 2011 no dia Juliano 87 (3,8 mm). É visível que nos períodos que a precipitação diminui, a DH aumenta na Figura 6 B.

A temperatura teve um pico maior, no período que a P aumentou nesses períodos T_{méd} atingiu (26,4°C), T_{máx} (37 °C) e T_{mín} (22,7 °C).

O período que ocorreu maior taxa de P foi no Outono de 2007, dia Juliano 97 (184 mm), Outono de 2009, no dia Juliano 81 (182,6 mm). Esses períodos que ocorreram maior precipitação seguida em dias Julianos, fez com que o EXC aumentasse (Figura 6 B), Outono de 2007, dia Juliano 97 (78 mm), Outono de 2009 dia Juliano 81 e 97 (41,1 e 24,9 mm), e no Outono de 2011, dia Juliano 97 (42,6 mm).

A maior taxa de ETc foi ao período de 2012, dia Juliano 81 (4,51 mm), esse período foi onde ocorreu pouca P. A menor taxa de ETc foi no período de 2008 no dia Juliano 161 (2,27 mm) Figura 6 B.

A maior taxa de RS foi no ano de 2007, no dia Juliano 81 (20,8 MJ.m⁻²) e menor em 2009, no dia Juliano 145 (10,9 MJ.m⁻²) Figura 6 C.

A UR% méd teve um pico maior no dia Juliano 81 (88%) ano de 2014, UR% máx dia Juliano 81 (100%) ano de 2014 e UR% mín no dia Juliano 97 (54%) ano de 2011, Figura 6 C.

Estação de Inverno:

Na Figura 7, observa-se os valores dos índices de vegetação NDVI e EVI (A), variáveis meteorológicas DH, P, EXC, ETc, Tméd, Tmáx, Tmín e UR% méd, UR% máx. UR% mín, RS (C) para estação de Inverno para os anos de 2007 a 2014.

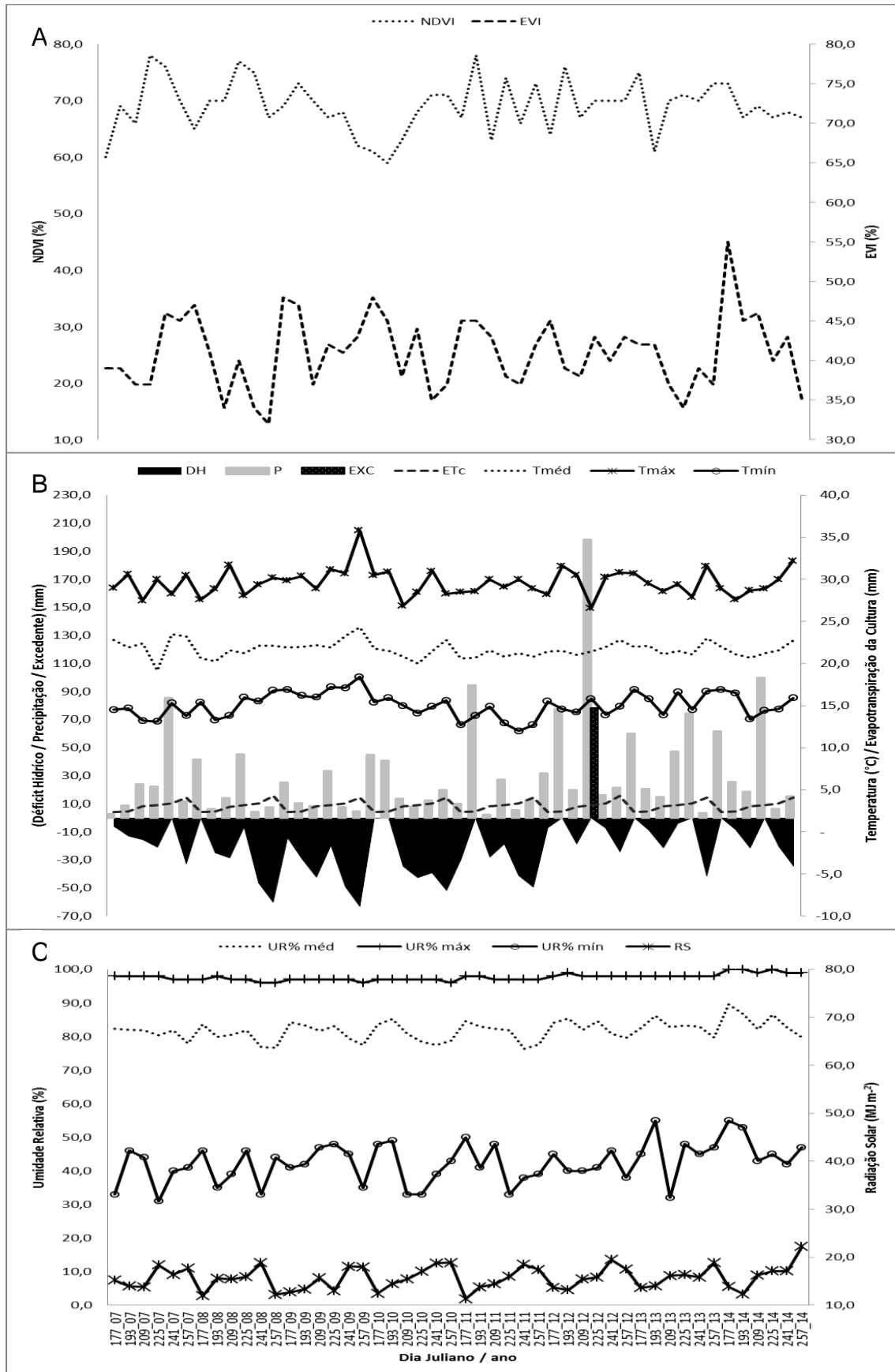


Figura 7. Variação do NDVI e EVI (A); DH, P, EXC, ETC, Tméd, Tmáx, Tmín (B); UR% méd, UR% máx, UR% mín e RS (C) para períodos de 16 dias na estação de Inverno dos anos de 2007 a 2014, em São Mateus, ES.

O EVI e o NDVI médio apresentaram valor máximo de 55% (2014 - dia Juliano 177) e 78% (2011- dia Juliano 193) e mínimo de 32% e 59% (2008 - dia Juliano 257) e (2010 - dia Juliano 193), Figura 7 A.

A ETc quando diminui sua taxa, o EVI e NDVI aumentam lentamente, isso é observado na (Figura 7 B), períodos com menos P, ocorre maior ETc. Observa-se que de acordo com o aumento da temperatura, os IV's caem, Figura A e B.

O período que ocorreu uma menor taxa de P foi o de 2011, no dia Juliano 209 (2,2 mm), em seguida 2007 no dia Juliano 177 (2,8 mm), 2013 no dia Juliano 257 (3,4 mm), 2008 no dia Juliano 241 (4,4 mm). É visível que nos períodos que a P diminui, a DH aumenta, Figura 7 B.

O período que ocorreu maior taxa de P foi no ano de 2012, dia Juliano 225 (198,4 mm), em seguida 2014, no dia Juliano 225 (100 mm), 2007, no dia Juliano 241 (85,6 mm). O mesmo período que o correu a maior taxa de P, ano de 2012, dia Juliano 225, fez com que o EXC aumentasse em (78,3 mm), Figura 7 B.

A maior taxa de ETc foi no período de 2012, dia Juliano 257 (4,29 mm), esse período foi onde ocorreu pouca P. A menor taxa de ETc foi no período de 2012 no dia Juliano 177 (2,36 mm), Figura 7 B.

A maior taxa de RS foi no ano de 2014, no dia Juliano 257 (22,2 MJ.m²) e menor em 2011, no dia Juliano 177 (11,3 MJ.m²), Figura 7 C.

A UR% méd teve um pico maior no dia Juliano 177 (89,5%) ano de 2014, UR% máx dia Juliano 177, 193 e 225 (100%) ano de 2014 e UR% mín no dia Juliano 225 (31%) ano de 2007 (Figura 7 C).

Estação de Primavera:

Na Figura 8, observa-se os valores dos índices de vegetação NDVI e EVI (A), variáveis meteorológicas DH, P, EXC, ETc, T_{méd}, T_{máx}, T_{mín} e UR% méd, UR% máx. UR% mín, RS (C) para estação de Primavera para os anos de 2007 a 2014.

O EVI e o NDVI médio apresentaram valor máximo de 59% (2008 - dia Juliano 321) e 73% (2010, 2011/2012, 2013 e 2013/2014 - dia Juliano 321, 353, 305 e 353) e mínimo de 31% e 42% (2011 - dia Juliano 321) para os EVI e NDVI (Figura 8 A).

Quando a ETc diminui sua taxa o EVI e NDVI aumentam lentamente, isso é observado na (Figura 8 A e B), períodos com menor chuvas, ocorre maior ETc.

O período avaliado na estação de Primavera de 2007 a 2014, o que ocorreu uma menor taxa de P foi 2007, no dia Juliano 305 (1,0 mm), em seguida 2012 no dia Juliano 337 (1,4 mm), 2009 no dia Juliano 337 (4,6 mm), 2012 no dia Juliano 289 (5 mm). É visível que nos períodos que a P diminui, a DH aumenta (Figura 8 B).

O período que ocorreu maior taxa de P foi no ano de 2008, dia Juliano 321 (423 mm), em seguida 2009, no dia Juliano 289 (282,4 mm), 2011, no dia Juliano 321 (224 mm). Nesse mesmo período, fez com que o EXC aumentasse em (373,2 mm, 170,1 mm e 167,1 mm respectivamente), Figura 8 B.

A maior taxa de ETc foi no período de 2007, dia Juliano 305 (6,02 mm), esse período foi onde ocorreu a menor taxa de P. A menor taxa de ETc foi no período de 2008 no dia Juliano 321 (2,96 mm), esse período foi onde ocorreu a maior taxa de P (423 mm) e maior taxa de EXC (373,2 mm), Figura 8 B.

A maior taxa de RS foi no ano de 2013/ 2014, no dia Juliano 353 (28,2 MJ.m⁻²) e menor em 2010, no dia Juliano 273 (12,3 MJ.m⁻²), Figura 8 C.

A UR% méd teve um pico maior no dia Juliano 353 (87,5%) ano de 2013/2014, UR% máx dia Juliano 289 e 305 (100%) ano de 2014 e UR% mín no dia Juliano 305 (32%) ano de 2007, Figura 8 C.

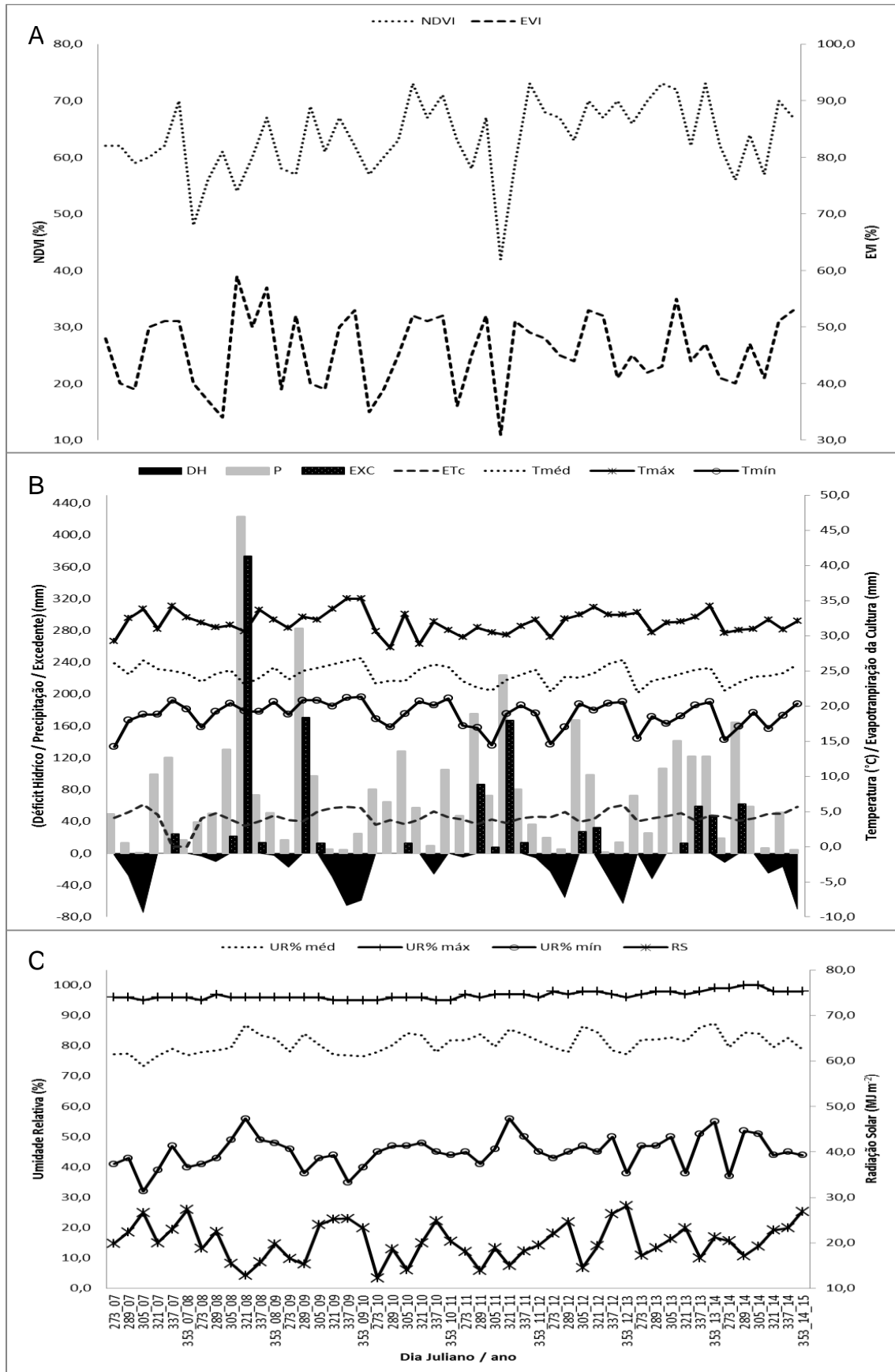


Figura 8. Variação do NDVI e EVI (A); DH, P, EXC, ETc, Tméd, Tmáx, Tmín (B); UR% méd, UR% máx, UR% mín e RS (C) para períodos de 16 dias na estação de Primavera dos anos de 2007 a 2014, em São Mateus, ES.

Nas Tabelas 8 e 9, encontram-se os respectivos resultados das correlações de *Pearson* (p) e regressão (r^2) entre os valores de NDVI e EVI médio das áreas cafeeiras e as variáveis meteorológicas, T_{méd}, T_{máx}, T_{mín}, P, ET_c, DH, EXC, UR% méd, UR% máx, UR% mín e RS para o período de 2007 a 2014.

Tabela 8 - Coeficientes de correlação de *Pearson* (p) e regressão (r^2) entre NDVI e as variáveis climáticas no período de 2007 a 2014 para respectivas quatro estações

ESTAÇÕES		NDVI – Tméd	NDVI - Tmáx	NDVI - Tmín	NDVI - P	NDVI - ETc	NDVI - DH	NDVI - EXC	NDVI - URméd	NDVI - URmáx	NDVI - URmín	NDVI - RS
VERÃO	p	- 0,34*	- 0,36*	- 0,26ns	0,01ns	- 0,06ns	0,24ns	0,06ns	0,20ns	0,22ns	0,12ns	0,01ns
	r^2	0,11	0,13	---	---	---	---	---	---	---	---	---
OUTONO	p	0,16ns	0,13ns	0,14ns	- 0,00ns	0,13ns	0,25ns	- 0,46**	0,05ns	0,02ns	0,00ns	0,22ns
	r^2	---	---	---	---	---	---	0,21	---	---	---	---
INVERNO	p	- 0,22ns	- 0,14ns	0,26ns	0,14ns	- 0,65**	0,48**	0,03ns	0,65**	0,47**	0,23ns	0,43**
	r^2	---	---	---	---	0,42	0,23	---	0,42	0,23	---	0,18
PRIMAVERA	p	0,26ns	0,16ns	0,16ns	- 0,35*	0,34*	- 0,14ns	- 0,43**	0,00ns	0,14ns	0,12ns	0,46**
	r^2	---	---	---	0,12	0,12	---	0,19	---	---	---	0,21

(n= 48, n=39 na estação de outono. Valores significativos a 5% (*) e a 1% (**) de probabilidade pelo teste t, ns – não significativo).

Tabela 9 - Coeficientes de correlação de *Pearson* (p) e regressão (r^2) entre EVI e as variáveis climáticas no período de 2007 a 2014 para respectivas quatro estações

ESTAÇÕES		EVI – Tméd	EVI - Tmáx	EVI - Tmín	EVI - P	EVI - ETc	EVI - DH	EVI - EXC	EVI - URméd	EVI - URmáx	EVI - URmín	EVI - RS
VERÃO	p	- 0,47**	- 0,16ns	- 0,15ns	0,28*	- 0,33*	0,40**	0,06ns	0,40**	0,25ns	0,18ns	- 0,32*
	r^2	0,22	---	---	0,08	0,11	0,16	---	0,16	---	---	0,10
OUTONO	p	0,37*	0,28ns	0,40**	0,31ns	0,18ns	0,44**	0,14ns	0,26ns	- 0,15ns	0,03ns	0,21ns
	r^2	0,14	---	0,16	0,09	---	0,19	---	---	---	---	---
INVERNO	p	- 0,01ns	- 0,14ns	- 0,10ns	0,24ns	- 0,44**	0,40**	0,06ns	0,54**	0,24ns	0,34*	- 0,43**
	r^2	---	---	---	---	0,20	0,16	---	0,29	---	0,11	0,19
PRIMAVERA	p	0,22ns	0,24ns	0,21ns	0,15ns	0,08ns	0,01ns	0,17ns	0,17ns	- 0,04ns	- 0,02ns	0,17ns
	r^2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

(n= 48, n=39 na estação de outono. Valores significativos a 5% (*) e a 1% (**) de probabilidade pelo teste t, ns – não significativo).

Nas Tabelas 8 e 9 observa-se a correlação significativa para dados médios de cada estação no período de 8 anos, onde ocorreram valores significativos de correlação superiores ao nível mínimo de significância de $\pm 0,32$ (N= 39), $\pm 0,29$ (N=48), para $\alpha = 5\%$ e superior a $\pm 0,40$ (N= 39), $\pm 0,37$ (N=48), para $\alpha = 1\%$.

De maneira geral observou-se correlação negativa e positiva entre as variáveis, demonstrando que para médias anuais existe um padrão de relação da planta em termo espectral associado com o NDVI - Tméd (- 0,34), NDVI - Tmáx (- 0,36), (Tabela 8) e EVI - Tméd (- 0,47), EVI - P (0,28), EVI - ETc (- 0,33), EVI - DH (0,40), EVI - UR% méd (0,40), EVI - RS (- 0,32), Tabela 9 na estação de Verão.

Na estação de Verão os dias são mais longos que as noites, ou seja, conseqüentemente terá maior quantidade de radiação solar nesse período que favorece o aumento das temperaturas, P, UR% e da ETc. Nesta estação ocorreu a maior taxa de DH, mostrando que a relação com índice de vegetação (EVI). Para as variáveis EXC, UR% máx e UR% mín a inexistência dessa relação significativa.

Para a estação de Outono, observou-se correlação negativa e positiva entre as variáveis, demonstrando que para médias anuais existe um padrão de relação espectral da planta associado com o NDVI - EXC (- 0,46) Tabela 8 e EVI - Tméd (0,37), EVI - Tmín (0,40) e EVI - DH (0,44) (Tabela 9). Para as demais variáveis, não ocorrem significância nas relações.

Na estação de Outono vale ressaltar, que essa está em transição entre o Verão e Inverno, iniciando o período de redução das chuvas, das temperaturas e da UR%. Ao contrário da estação de Verão, na estação de Outono as noites são mais longas que os dias. A ocorrência na redução de chuvas tem impactos diretos na vegetação, principalmente na agricultura e nos recursos hídricos (rios, represas, lagoas). Em relação ao vegetal, pode ocorrer às quedas das folhas, fenômeno chamado de caducifolia em algumas espécies de plantas. Como os dias ficam mais curtos e as chuvas mais escassas, essas espécies de plantas têm menor tempo para fazer fotossíntese e para poupar energia derrubam suas folhas, ou seja, é um processo de adaptação climática para manter sua sobrevivência.

Na estação de Inverno, observou correlação negativa e positiva entre as variáveis, demonstrando que para médias anuais existe um padrão de relação espectral da planta associado com o NDVI - ETc (- 0,65), NDVI - DH (0,48), NDVI - UR% méd (0,65), NDVI - UR% máx (0,47) e NDVI - RS (0,43), (Tabela 8) e EVI - ETc (- 0,44), EVI - DH (0,40), EVI - UR% méd (0,54), EVI - UR% mín (0,34), EVI -

RS (- 0,43), (Tabela 9). Para as demais variáveis a inexistência dessa relação significativa.

A estação de Inverno corresponde a mais seca e fria das quatro estações, pois foi a que mais ocorreu baixa taxa de índice P e as mais baixas temperaturas, respectivamente (Figura 7 B). Como foi descrito para estação de Outono, ressalta-se também para a estação de Inverno que a redução de chuvas tem impactos diretos na vegetação, principalmente na agricultura e nos recursos hídricos.

Na estação de Primavera, observou correlação negativa e positiva entre as variáveis, demonstrando que para médias anuais existe um padrão de relação espectral da planta associado com o NDVI - P (- 0,35), NDVI - ETc (0,34), NDVI - EXC (- 0,43) e NDVI - RS (0,46) Tabela 8. Para índice EVI, não houve correlação significativas em nenhuma variável (Tabela 9).

Observando que a Primavera é um período de transição entre o Inverno e o Verão, nota-se que é marcada pelo final da estação seca e início da estação das chuvas, as quais são favorecidas pelo aumento da temperatura e UR% (Figura 8 B e C). Esta estação é mais favorável para os vegetais, principalmente para os setores agrícola e hidrológico, devido as taxas de P corresponder aos padrões de normalidade, favorecem o equilíbrio do armazenamento de água no solo – EXC, (Figura 8 B).

Uma possível explicação do NDVI nas quatro estações não corresponder à correlação, pode ser pela dinâmica sazonal, exibida pelas formações das lavouras de café em análise que converge para um padrão anual comum em todas as estações do ano. Entretanto, diferenças se estabelecem para os índices de vegetação como entre as fitofisionomias. O NDVI apresentou valores superiores aos exibidos pelo EVI, e com menor variabilidade, revelando-se menos sensível às variações estruturais do dossel. Já o EVI exibiu um perfil temporal mais dinâmico e capaz de realçar as diferenças fenológicas inerentes a cada formação da lavoura. Ou seja, apesar dos índices de vegetação EVI e NDVI, seguir uma sequência, o EVI é superior na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI em áreas de maior densidade de biomassa. Sendo que o EVI tem a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da influência atmosférica de fundo do dossel sobre o monitoramento da vegetação (HUETE et al., 2002).

Apesar do EVI possuir superioridade, ainda sim, de acordo com Liu et al. (1994) a variação anual do NDVI pode ser um bom indicador do estresse da vegetação causado pelas alterações climáticas regionais.

Um das possíveis explicações dos resultados das correlações serem significativas, seja positiva ou negativa, pode ser explicado pela fisiologia.

De acordo com Partelli et al. (2009) e Partelli et al. (2010) materiais (genótipos de *Coffea canephora* e *Coffea arabica*) apresentam sensibilidade a baixas temperaturas. Segundo Ferreira et al. (2013) as condições climáticas (temperatura, precipitação e UR%) influenciam na taxa de crescimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos da espécie *Coffea arabica*. Em outro estudo desenvolvido por (PARTELLI et al., 2013), avaliando genótipos de *Coffea canephora*, mostra que as taxas de crescimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos diferiu entre os genótipos quando foram submetidos a variação sazonal durante o ano inteiro, com altas correlações para a temperatura do ar. Sob as condições experimentais naturais os resultados demonstraram que a taxa de crescimento dos ramos diminuíram quando as temperaturas mínimas de ar estavam abaixo de 17,2°C para a maioria dos genótipos.

Além das temperaturas desfavoráveis, a seca é uma das principais preocupações em termo de produção do cafeeiro (DAMATTA e RAMALHO., 2006).

O índice de vegetação pode ser relacionado a uma redução do vigor fotossintético em plantas quando submetidas à deficiência de água (SIMS e GAMON, 2002). Ou seja, os resultados de EVI e NDVI podem ser consequência do índice de área foliar menor das lavouras de café na estação seca, devido à queda nos processos fisiológicos nas folhas. Em relação a fisiologia da planta do café conilon, (DAMATTA et al., 2002; PINHEIRO et al., 2005) as folhas do cafeeiro mantêm um elevado teor relativo de água, mesmo a potenciais hídricos consideravelmente negativos. De acordo com os autores sintomas visíveis de murcha na folha são raros, a menos que a umidade do solo esteja extremamente baixa.

Esses fatos estão ligados a evapotranspiração da cultura, de acordo com Bastiaanssen et al. (2000) a evapotranspiração (ET) é uma forma onde ocorre a saída de água dos cultivos, sendo o parâmetro mais importante no monitoramento das necessidades hídricas das culturas e o consumo d'água em escala regional.

Outra variável muito importante para processos físico-químico e biológicos é a radiação solar, que constitui, na meteorologia uma variável muito importante nos estudos de necessidade hídrica das culturas, crescimento/desenvolvimento e produção no ciclo do vegetal (BORGES et al., 2010).

Conclusão

Os índices de vegetação do sensor MODIS demonstram ser uma ferramenta promissora para o monitoramento do cafeeiro conilon.

Levando-se em consideração as condições deste estudo pode-se concluir que os valores de NDVI e EVI obteve correlação positiva e negativa com a maioria das variáveis meteorológicas, o que exemplifica um estado crescente e decrescente de vigor.

A variação dos valores do NDVI e EVI acompanha a variação do vigor vegetativo dos cafeeiros, que por sua vez é influenciado pelas variáveis meteorológicas.

O método de correlacionar os índices NDVI e EVI com as variáveis meteorológicas se mostrou como um bom método para estudos da vegetação do cafeeiro, apresentando assim, um bom indicador para monitoramento da cultura.

Referências Bibliográficas

ALLEN, R.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO** (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.

ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JUNIOR, O. A. **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. São José dos Campos - SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE, 2003. 86 p. (RPQ / 752).

BASTIAANSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: Examples from research and possible applications. ***Agricultural Water Management***, Auckland, v. 46, n. 2, p. 137-155, 2000.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, v. 14, n. 2, p. 74-80, 2010.

BRADLEY, A.; GERARD, F. Relationships between phenology, radiation and precipitation in the Amazon region. ***Global Change Biology***, v. 17, n. 6, p. 2245–2260, 2011.

DAMATTA, F. M.; RENA, A. B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno Sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002, p. 93-135.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. ***Brazilian Journal of Plant Physiology***, Londrina, v. 18, n. 01, p. 55-81, 2006.

ESTEL, S.; KUEMMERLE, T.; ALCÁNTARA, C.; LEVERS, C.; PRISHCHEPOV, A.; HOSTERT, P. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series. ***Remote Sensing of Environment***, v. 163, p. 1-14, 2015.

FERREIRA, E. P. B.; PARTELLI, F. L.; DIDONET, A. D.; MARRA, G. E. R.; BRAUN, H. Crescimento vegetativo de *Coffea arabica* L. influenciado por irrigação e fatores climáticos no Cerrado Goiano. ***Semina: Ciências Agrárias***, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3235-3244, 2013.

GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R. dos.; ROBERTS, D. A.; BREUNIG, F. M.; TOOMEY, M.; MOURA, Y. M. de. On intra-annual EVI variability in the dry season of tropical forest: a case study with MODIS and hyperspectral data. ***Remote Sensing of Environment***, v. 115, p. 2350-2359, 2011.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba – SP: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 477p.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. ***Remote Sensing of Environment***, v. 59, p. 440-451, 1997.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. 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.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural – PROATER 2011 - 2013**. São Mateus – ES.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações Meteorológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 55, p. 1116-1123, 2013.

LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER (LPDAAC). **MODIS**. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/modis_overview>. Acesso em: 22 mar. 2015.

LIU, W. T. H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C. Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. *International Journal of Climatology*, London, v. 14, p. 343-354, 1994.

LIU, W. T.; NEGRÓN JUÁREZ, R. I. ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, v. 22, n. 17, p. 3483-3501, 2001.

MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. dos. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Bioscience Journal*. Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, 2007.

MATIELLO, J. B. **O Café: do cultivo ao consumo**. São Paulo, Globo, 1991. 320 p.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; Almeida, S.R.; Fernandes, D.R. **Cultura de Café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE. 2002, 387p.

MENDES, D. F.; FERRARI, J. L.; PELUZIO, J. B. E.; DARDENGO, M. C. J. D.; PELUZIO, T. M. O.; SILVA, S. F. Caracterização espectro-temporal de uma lavoura de café conilon em imagens landsat. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 1, n. 01; p. 108-121, 2014.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 3, p. 223-231, 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa, MG: UFV, 4ª ed. Atualizada e ampliada. 2011. 422p.

NASA's EARTH OBSERVING SYSTEM DATA AND INFORMATION SYSTEM -
NASA's EORDIS. **MODIS**. Disponível em:

<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial_map=satellite&spatial_type=rectangle>. Acesso em: 25 jan. 2015.

OMENA, M. S. **Conjunto de ferramentas computacionais para análises agroclimáticas**. Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, RJ. 106 p, 2014.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; VIANA, A. P.; BATISTA-SANTOS, P.; RODRIGUES, A. P. D.; LEITÃO, A. E.; RAMALHO, J. C. Low temperature impact on photosynthetic parameters of coffee genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1404-1415, 2009.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; RODRIGUES, A. P. D.; PAIS, I. P.; CAMPOSTRINI, E.; CHAVES, M. M. C. C.; RAMALHO, J. C. Cold induced changes on sugar contents and respiratory enzyme activities in coffee genotypes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 781-786, 2010.

PARTELLI, F. L.; MARRÉ, W. B.; FALQUETO, A. R.; VIEIRA, H. D.; CAVATTI, P. C. Seasonal Vegetative Growth in Genotypes of *Coffea canephora*, as Related to Climatic Factors. **Journal of Agricultural Science**; v. 5, n. 8, p. 108-116, 2013.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones at *Coffea canephora*. **Annals of Botany**. v. 96, n. 1, p. 101-108, 2005.

RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M. Aspectos fisiológicos do Café Conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007, p. 95-119.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3. 1973, Washington. **Proceedings**. Washington: NASA, 1973. p. 309-317.

SANTINATO, R., FERNANDES, A. L. T., FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 483 p.

SANTOS, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N.; PEZZOPANE, J. E. M. Zoneamento Agroclimático para a Cultura do Café Conilon (*Coffea canephora*) e Arabica (*Coffea arabica*) na Bacia do Itapemirim, ES. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 8, p. 19-37, 2000.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; EUGENIO, F. C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; MOREIRA, M. A.; SANTOS, G. M. A. D. A. **ArcGIS 10.2.2 Passo a passo: Fotointerpretação e Edição de dados espaciais**. Vol. 2. Alegre. CAUFES. 2014. 84p.

SANTOS, A. R.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SEDIYAMA, G. C.; PELUZIO, J. B. E.; PEZZOPANE, J. E. M.; BRAGANCA, R.; SILVA, A. G.; LORENZON, A. S.; LUPPI, A. S. L.; FIGUEIREDO, A. C.; SANTOS, A. B.; FELETTI, C. F.; DAMBROZ, C. S.; LIMA, C. A.; PIROVANI, D. B.; FREITAS, D. F.; REIS, E. F.; SOUSA, E. F.; BRANCO, E. R. F.; CASTRO, F. S.; PARTELLI, F. L.; MOTA, F. M.; OLIVEIRA, F. S.; NEVES, F. P.; EUGENIO, F. C.; DOMINGUES, G. F.; GARCIA, G. O.; MOREIRA, G. L.; SANTOS, G.

M. A. D. A.; PANETO, G. G.; MARCATTI, G. E.; FERRARI, J. L.; AMARAL, J. A. T.; RAMALHO, J. C.; AMARAL, J. F. T.; GLERIANI, J. M.; LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, K. D.; GASPARINI, K. A. C.; SILVA, L. G.; MARTINS, L. D.; SANTOS, L. B. P.; TEIXEIRA, L. J. Q.; TOMAZ, M. A.; PEREIRA, M. L.; ORLANDI, M. J. P.; MOURA, M. M.; HOTT, M. O.; OMENA, M. S.; CASTRO, N. L. M.; FIEDLER, N. C.; MOTA, P. H. S.; DOHLER, R. E.; DALFI, R. L.; SILVA, R. G.; MENEZES, S. J. M. C.; ALMEIDA, S. L. H.; SARAIVA, S. H.; CORREIA, T. P.; PELUZIO, T. M. O.; TEIXEIRA, T. R.; TULER, T. O.; QUINTO, V. M.; SOARES, V. P.; SILVA, V. H.; SCHETTINO, V. R.; JESUS JUNIOR, W. C. **Zoneamento Agroclimático no ArcGIS 10.3.1 Passo a Passo**. v. 1. 1. ed. Alegre, ES: CAUFES, 2015. 58p.

SCHULTZ, P. A.; HALPERT, M. S. Global analysis of the relationships among a vegetation index, precipitation and land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, London, v. 16, n. 15, p. 2755-2778, 1995.

SETIAWAN, Y.; YOSHINO, K.; PRASETYO, L. B. Characterizing the dynamics change of vegetation cover on tropical forestlands using 250m multi-temporal MODIS EVI. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 26, p. 132-144, 2014.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 81, n. 2/3, p. 337-354, 2002.

VAN LEEUWEN, W.; HARTFIELD, K.; MIRANDA, M.; MEZA, F. Trends and ENSO/AAO Driven Variability in NDVI Derived Productivity and Phenology alongside the Andes Mountains. *Remote Sensing*, v. 5, n. 3, p. 1177-1203, 2013.

WAN, Z.; WANG, P.; LI, X. Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 1, p. 61-72, 2004.

WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 11, p. 2345 - 2364, 2003.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: an assessment for the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 1096-1116, 2008.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L. A comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI data for crop mapping: a case study for southwest Kansas. *International Journal of Remote Sensing*, v. 31, n. 3, p. 805-830, 2010.

ZHANG, J.; ZHANG, L.; XU, C.; LIU, W.; QI, Y.; & WO, X. Vegetation variation of mid-subtropical forest based on MODIS NDVI data - A case study of Jinggangshan City, Jiangxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, v. 34, p. 7-12, 2014.

4. CONCLUSÕES GERAIS

A utilização das variáveis meteorológicas com índice de vegetação proporcionou resultados satisfatórios na cultura estudada (café) com níveis diferenciados em cada estação do ano. Isso mostra que as variáveis meteorológicas afetam, de forma positiva ou negativa no vegetal.

Os resultados obtidos neste estudo contribuíram para a caracterização de lavouras de café conilon com integração entre técnicas de sensoriamento remoto com dados meteorológicos. Sendo assim, pode-se analisar o (crescimento/desenvolvimento) das lavouras de café em quatro estações do ano, gerando, assim, importantes informações para futuros estudos a serem desenvolvidos na região, especialmente aqueles que empreguem as técnicas de sensoriamento remoto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO** (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.

ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JUNIOR, O. A. **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. São José dos Campos - SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2003. 86 p. (RPQ / 752).

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

BASTIAANSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: Examples from research and possible applications. **Agricultural Water Management**, Auckland, v. 46, n. 2, p. 137-155, 2000.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 74-80, 2010.

BRADLEY, A.; GERARD, F. Relationships between phenology, radiation and precipitation in the Amazon region. **Global Change Biology**, v. 17, n. 6, p. 2245-2260, 2011.

CASACA, J. M.; MATOS, J. L. de.; DIAS, J. M. B. **Topografia Geral**. 4 ed., atual e aumentada. Rio de Janeiro: LTC, 2007, 208p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim Informativo: Acompanhamento da Safra Brasileira Café**. v.1, Safra 2014, n.2 - primeiro levantamento, Brasília, janeiro/2014, 2014. 26p. CONAB. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/140117092946_boletim_cafe_-_original_normalizado.pdf>. Acesso em: 15 de junho 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim Informativo: Acompanhamento da Safra Brasileira Café**. v.2, Safra 2015, n.4 – quarto levantamento, Brasília, dezembro/2015, 2015. 60p. CONAB. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_17_09_02_47_boletim_cafe_e_dezembro_2015_2.pdf>. Acesso em: 20 de dez. 2015.

DAMATTA, F. M.; RENA, A. B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno Sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002, p. 93-135.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 01, p. 55-81, 2006.

DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER - DAAC. **MODIS**. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/>>. Acesso em: 05 de maio 2015.

DUBBERSTEIN, D.; MOTA, F. M.; FILHO, J. C.; SOUZA, M. A. de.; PARTELLI, F. L. Pesquisas em *Coffea canephora* no Brasil e no Mundo. In: PARTELLI, F. L.; VITÓRIA, E. L. **CAFÉ CONILON: Tendências de Mercado e Mecanização**. 1 ed. São Mateus, UFES, 2014. 153p.

ECKERT, S.; HÜSLER, F.; LINIGER, H.; HODEL, E. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. *Journal of Arid Environments*, v. 113, 16-28, 2015.

ESTEL, S.; KUEMMERLE, T.; ALCÁNTARA, C.; LEVERS, C.; PRISHCHEPOV, A.; HOSTERT, P. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, v. 163, p. 1-14, 2015.

FERRARI, J. L. **Avaliação de geotecnologias para subsidiar o mapeamento do uso e cobertura da terra no Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre**. 2012. 210 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2012.

FERREIRA, E. P. B.; PARTELLI, F. L.; DIDONET, A. D.; MARRA, G. E. R.; BRAUN, H. Crescimento vegetativo de *Coffea arabica* L. influenciado por irrigação e fatores climáticos no Cerrado Goiano. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3235-3244, 2013.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011, 128p.

GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R. dos.; ROBERTS, D. A.; BREUNIG, F. M.; TOOMEY, M.; MOURA, Y. M. de. On intra-annual EVI variability in the dry season of tropical forest: a case study with MODIS and hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, p. 2350-2359, 2011.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba – SP: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 477p.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 59, p. 440-451, 1997.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; VAN LEEUWEN, W. **MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document**. Versão 3, p. 1-142, 1999.

HUETE, A.; 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*, n. 83, p. 195-213, 2002.

HUETE, A. MODIS Vegetation Index Product Series Collection 5. Change Summary, p. 1–17, 2006. Online. Acesado em: jan/2015 http://landweb.nascom.nasa.gov/QA_WWW/forPage/MOD13_VI_C5_Changes_Document_06_28_06.pdf.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural – PROATER 2011 - 2013**. São Mateus – ES.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações Meteorológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

JIN, S.; SADER, S. A. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. *Remote Sensing of Environment*, v. 99, n. 4, p. 462-470, 2005.

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, p. 3-15, 2002.

JONG, R.; BRUIN, S.; WIT, A.; SCHAEPMAN, M. E.; DENT, D. L. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 2, p. 692-702, 2011.

KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul Time series of vegetation index for different vegetation types in Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 55, p. 1116-1123, 2013.

LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER (LPDAAC). **MODIS**. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/modis_overview>. Acesso em: 22 mar. 2015.

LIU, W. T. H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C. Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. *International Journal of Climatology*, London, v. 14, p. 343-354, 1994.

LIU, W. T.; NEGRÓN JUÁREZ, R. I. ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, v. 22, n. 17, p. 3483-3501, 2001.

MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. dos. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Bioscience Journal*. Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, 2007.

MATIELLO, J. B. **O Café: do cultivo ao consumo**. São Paulo, Globo, 1991. 320 p.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; Almeida, S.R.; Fernandes, D.R. **Cultura de Café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE. 2002, 387p.

MENDES, D. F.; FERRARI, J. L.; PELUZIO, J. B. E.; DARDENGO, M. C. J. D.; PELUZIO, T. M. O.; SILVA, S. F. Caracterização espectro-temporal de uma lavoura de café conilon em imagens landsat. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 1, n. 01; p. 108-121, 2014.

MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER – MODIS. Especificações. Disponível em: < <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php> > Acesso 10 de Julho de 2015.

MORA, F.; IVERSON, L. R. Dynamic stratification of the landscape of Mexico: analysis of vegetation patterns observed with multitemporal remotely sensed images. **Geocarto International**, v. 12, n. 2, p. 73-87, 1997.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 223-231, 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa, MG: UFV, 4ª ed. Atualizada e ampliada. 2011. 422p.

NASA's EARTH OBSERVING SYSTEM DATA AND INFORMATION SYSTEM - NASA's EORDIS. MODIS. Disponível em: <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial_map=satellite&spatial_type=rectangle>. Acesso em: 25 jan. 2015.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. revisada. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2012. 387p.

OMENA, M. S. **Conjunto de ferramentas computacionais para análises agroclimáticas**. Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, RJ. 106 p, 2014.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ (OIC). **Estatísticas do Comércio**. Disponível em: <<http://www.ico.org/>>. Acesso em: 20 mai. 2014.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; VIANA, A. P.; BATISTA-SANTOS, P.; RODRIGUES, A. P. D.; LEITÃO, A. E.; RAMALHO, J. C. Low temperature impact on photosynthetic parameters of coffee genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1404-1415, 2009.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; RODRIGUES, A. P. D.; PAIS, I. P.; CAMPOSTRINI, E.; CHAVES, M. M. C. C.; RAMALHO, J. C. Cold induced changes on sugar contents and respiratory enzyme activities in coffee genotypes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 781-786, 2010.

PARTELLI, F. L.; MARRÉ, W. B.; FALQUETO, A. R.; VIEIRA, H. D.; CAVATTI, P. C. Seasonal Vegetative Growth in Genotypes of *Coffea canephora*, as Related to Climatic Factors. **Journal of Agricultural Science**; v. 5, n. 8, p. 108-116, 2013.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones at *Coffea canephora*. **Annals of Botany**. v. 96, n. 1, p. 101-108, 2005.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. (Org.). Ed. **Sensoriamento remoto: Reflectância de alvos naturais**. Ed. UNB, Brasília, DF. 2001.

RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M. Aspectos fisiológicos do Café Conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007, p. 95-119.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, 2005. p. 81-90.

ROSEMBACK, R.; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; 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. 62, n. 2, p. 401-416, 2010.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3. 1973, Washington. **Proceedings**. Washington: NASA, 1973. p. 309-317.

SANTINATO, R., FERNANDES, A. L. T., FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 483 p.

SANTOS, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N.; PEZZOPANE, J. E. M. Zoneamento Agroclimático para a Cultura do Café Conilon (*Coffea canephora*) e Arabica (*Coffea arabica*) na Bacia do Itapemirim, ES. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 8, p. 19-37, 2000.

SANTOS, A. R.; SIMÃO, J. B. P.; FERRARI, J. L.; MOTA, F. M. Introdução. In: SANTOS, A. R. dos. et al. (Org.). **Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais**. Alegre, ES: CAUFES, p. 22-23, 2012.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; EUGENIO, F. C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; MOREIRA, M. A.; SANTOS, G. M. A. D. A. **ArcGIS 10.2.2 Passo a passo: Fotointerpretação e Edição de dados espaciais**. Vol. 2. Alegre. CAUFES. 2014. 84p.

SANTOS, A. R.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SEDIYAMA, G. C.; PELUZIO, J. B. E.; PEZZOPANE, J. E. M.; BRAGANÇA, R.; SILVA, A. G.; LORENZON, A. S.; LUPPI, A. S. L.; FIGUEIREDO, A. C.; SANTOS, A. B.; FELETTI, C. F.; DAMBROZ, C. S.; LIMA, C. A.; PIROVANI, D. B.; FREITAS, D. F.; REIS, E. F.; SOUSA, E. F.; BRANCO, E. R. F.; CASTRO, F. S.; PARTELLI, F. L.; MOTA, F. M.; OLIVEIRA, F. S.; NEVES, F. P.; EUGENIO, F. C.; DOMINGUES, G. F.; GARCIA, G. O.; MOREIRA, G. L.; SANTOS, G. M. A. D. A.; PANETO, G. G.; MARCATTI, G. E.; FERRARI, J. L.; AMARAL, J. A. T.; RAMALHO, J. C.; AMARAL, J. F. T.; GLERIANI, J. M.; LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, K. D.; GASPARINI, K. A. C.; SILVA, L. G.; MARTINS, L. D.; SANTOS, L. B. P.; TEIXEIRA, L. J. Q.; TOMAZ, M. A.; PEREIRA, M. L.; ORLANDI, M. J. P.; MOURA, M. M.; HOTT, M. O.; OMENA, M. S.; CASTRO, N. L. M.; FIEDLER, N. C.; MOTA, P. H. S.; DOHLER, R. E.; DALFI, R. L.; SILVA, R. G.; MENEZES, S. J. M. C.; ALMEIDA, S. L. H.; SARAIVA, S. H.; CORREIA, T. P.; PELUZIO, T. M. O.; TEIXEIRA, T. R.; TULER, T. O.; QUINTO, V. M.; SOARES, V. P.; SILVA, V. H.; SCHETTINO, V. R.; JESUS JUNIOR, W. C. **Zoneamento Agroclimático no ArcGIS 10.3.1 Passo a Passo**. v. 1. 1. ed. Alegre, ES: CAUFES, 2015. 58p.

SCHULTZ, P. A.; HALPERT, M. S. Global analysis of the relationships among a vegetation index, precipitation and land surface temperature. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 16, n. 15, p. 2755-2778, 1995.

SETIAWAN, Y.; YOSHINO, K.; PRASETYO, L. B. Characterizing the dynamics change of vegetation cover on tropical forestlands using 250m multi-temporal MODIS EVI. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 26, p. 132-144, 2014.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 81, n. 2/3, p. 337-354, 2002.

SOARES, J. V.; BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Histórico e descrição. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). In: **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 423 p.

STONE, T. A.; SCHLESINGER, P.; HOUGHTON, R. A.; WOODWELL, G. M. A map of the vegetation of South America based on satellite imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 60, n. 5, p. 541-551, 1994.

VAN LEEUWEN, W.; HARTFIELD, K.; MIRANDA, M.; MEZA, F. Trends and ENSO/AAO Driven Variability in NDVI Derived Productivity and Phenology alongside the Andes Mountains. *Remote Sensing*, v. 5, n. 3, p. 1177-1203, 2013.

WALTHALL, C. L.; NORMAN, J. M.; WELLES, J. M.; CAMPBELL, G.; BLAD, B. L. Simple equation to approximate the bi-directional reflectance from vegetative canopies and bare soil surfaces. *Applied Optics*, v. 24, n. 3, p. 383-387, 1985.

WAN, Z.; WANG, P.; LI, X. Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 1, p. 61-72, 2004.

WANG, D.; MORTON, D.; MASEK, J.; WU, A.; NAGOL, J.; XIONG, X.; LEVY, R.; VERMOTE, E.; WOLFE, R. Impact of sensor degradation on the MODIS NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, v. 119, p. 55-61, 2012.

WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 11, p. 2345 - 2364, 2003.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: an assessment for the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 1096-1116, 2008.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L. A comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI data for crop mapping: a case study for southwest Kansas. *International Journal of Remote Sensing*, v. 31, n. 3, p. 805-830, 2010.

YANG, F.; MATSUSHITA, B.; FUKUSHIMA, T.; YANG, W. Temporal mixture analysis for estimating impervious surface area from multi-temporal MODIS NDVI data in Japan. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, v. 72, p. 90-98, 2012.

ZHANG, J.; ZHANG, L.; XU, C.; LIU, W.; QI, Y.; WO, X. Vegetation variation of mid-subtropical forest based on MODIS NDVI data—A case study of Jinggangshan City, Jiangxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, v. 34, p. 7-12, 2014.