



WESLEY BATISTA DOS SANTOS

**ANÁLISE ESPECTRO-TEMPORAL DE
PRODUTOS DO SENSOR MODIS COMO
DIAGNÓSTICO PARA A CAFEICULTURA DE
PRECISÃO**

LAVRAS - MG

2015

WESLEY BATISTA DOS SANTOS

**ANÁLISE ESPECTRO-TEMPORAL DE PRODUTOS DO SENSOR
MODIS COMO DIAGNÓSTICO PARA A CAFEICULTURA DE
PRECISÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Marcelo de Carvalho Alves

Coorientadora:

Gláucia Miranda Ramirez

LAVRAS - MG

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Santos, Wesley Batista dos.

Análise espectro temporal de produtos do sensor MODIS como
diagnóstico para a cafeicultura de precisão / Wesley Batista dos
Santos. – Lavras : UFLA, 2015.

71 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador(a): Marcelo de Carvalho Alves.

Bibliografia.

1. cafeicultura de precisão. 2. analise espectro-temporal. 3.
MODIS. 4. sensoriamento remoto. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

WESLEY BATISTA DOS SANTOS

**ANÁLISE ESPECTRO-TEMPORAL DE PRODUTOS DO SENSOR
MODIS COMO DIAGNÓSTICO PARA A CAFEICULTURA DE
PRECISÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 07 de agosto de 2015.

Dr. José Sérgio de Araújo (IFSUL DE MINAS/Muzambinho)

Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho (UFLA)

Dr^a. Mirléia Aparecida de Carvalho (UFLA)

Dr. Marcelo de Carvalho Alves

Orientador

LAVRAS - MG

2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida e pelas bênçãos em minha vida. Agradeço aos meus pais Paulo Romildo dos Santos e Ivanha do Rosário Bernardes Santos, pela educação transmitida, pelo amor, carinho e dedicação que sempre tiveram. Agradeço a minha namorada Laís de Souza Lima por sempre ter me motivado e acreditado nos meus ideais, sempre ao meu lado em todos os momentos. Agradeço ainda o meu irmão Iago Bernardes Santos pelo apoio.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq), juntamente com a Universidade Federal de Lavras (UFLA) por meio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelo aprendizado e pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional.

Agradeço ao Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Alves por ter me orientado, guiado e se tornado um amigo ao longo deste período.

Agradeço a Prof^ª. Dr^ª. Gláucia Miranda Ramires, pelos ensinamentos transmitidos e pela sua orientação.

Agradeço a equipe da Fazenda Pinheiros em nome do Renato (proprietário) e Lídia (secretária), pela disponibilização das informações da área de estudo.

Enfim agradeço a todos que de forma direta ou indireta, fizeram parte da realização deste trabalho.

RESUMO

A cafeicultura é uma atividade agrícola e econômica de grande importância no mercado brasileiro. Apesar da importância social e econômica para o País, a cafeicultura carece de informações complementares do seu sistema de produção. O sensoriamento remoto, através de imagens e produtos de satélites disponibilizadas gratuitamente, como é o caso do sensor MODIS, pode constituir um instrumento fundamental para o mapeamento e monitoramento da cultura do café. Desta forma, objetivou-se neste trabalho, analisar a aplicação de produtos do sensor MODIS como dados diagnósticos para a cafeicultura de precisão. A área de estudo está localizada no município de Campos Gerais/MG, com uma área de 461,28 ha de lavoura cafeeira, dividido em talhões experimentais. Foram utilizadas duas séries temporais adquiridas do INPE: (a) série temporal EVI2 do sensor MODIS; (b) série de precipitação pluvial (mm/mês), do sensor TRMM. Outra série utilizada, adquirida do NTSG, foi a de Evapotranspiração (mm/mês) do produto MOD16A2/A3 do sensor MODIS e também foi coletado “in situ” dados da propriedade em estudo, como: área, cultivar, produtividade, entre outros. Os dados coletados, foram selecionados e organizados em um banco de dados. Após a criação do banco, foram geradas as curvas espectrais e realizada a correlação e regressão para as variáveis (dados). Os resultados mostraram que o EVI é influenciado pelo índice de umidade e evapotranspiração, e por sua vez o EVI influencia na produtividade da lavoura. Portanto, para diagnósticos na cafeicultura de precisão, é necessário a utilização de produtos com melhores resoluções espaciais em relação aos produtos do sensor MODIS.

Palavras-chave: cafeicultura de precisão, análise espectro-temporal, MODIS.

ABSTRACT

The coffee is an agricultural and economic activity of great importance for the Brazilian market. Despite the social and economic importance to the country, the coffee needs additional information from your production system. The remote sensing through satellite images and products available free, like MODIS sensor, can be a key tool for mapping and monitoring for the coffee. Therefore, the objective of this work was to analyze the application of MODIS sensor products as diagnostic data for precision coffee. The study area is located in the city of Campos Gerais/MG, Brazil with area of 461.28 hectares of coffee plantations, divided into experimental plots. Two times series were used and acquired from INPE, (a) time series EVI2 MODIS sensor; (b) number of rainfall (mm/month), the TRMM sensor. Another series used, acquired from NTSG, was to evapotranspiration (mm/month) of MOD16A2/A3 MODIS product and was also collected "in situ" property data in the study, such as, area, growing, productivity, among others. The collected data were selected and organized into a database. After creating the database, the spectral curves and performed correlation and regression for the variables (data) were generated. The results showed that EVI is influenced by moisture content and evapotranspiration, and then the EVI influence on crop yields. Therefore, for diagnostic accuracy in coffee growing, the use of products with better spatial resolutions for the products of the MODIS sensor is required.

Keywords: Precision coffee, analyze spectro-temporal, MODIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Comportamento Espectral da Vegetação.....	31
Figura 2	Localização e caracterização da área de estudo na Fazenda Pinheiros, onde foi possível observar os talhões experimentais.....	37
Figura 3	Distribuição dos talhões e das cultivares de Café presentes na área de estudo.....	39
Figura 4	Fluxograma atividades desenvolvidas no estudo.....	41
Figura 5	Coleta dos dados no séries view/INPE.....	43
Figura 6	Série Temporal EVI suavizado da área de estudo no período de abril de 2009 a maio de 2013.....	46
Figura 7	Distribuição Temporal e Regressão Linear da Precipitação (mm) do sensor TRMM e das estações meteorológicas de Lavras - MG e de Machado – MG, na área de estudo entre os anos de 2009 a 2013.....	47
Figura 8	Relação Linear entre valores observados de EVI médio mensal e Precipitação média mensal para o período de 2009 a 2013.....	49
Figura 9	Produtividade das cultivares de café presentes nos talhões da área de Estudo, para os anos safras de 2009 a 2013.....	51
Figura 10	Relação Linear entre valores observados de EVI médio mensal dos meses de agosto, setembro, outubro de 2011, dezembro de 2012; e produtividade de 2011/2012 e 2012/2013 para cada cultivar de café, em cada talhão presente na área de estudo.....	53
Figura 11	Distribuição espacial do EVI médio dos meses de agosto, setembro e outubro de 2012 e dezembro de 2013.....	53
Figura 12	Distribuição temporal do índice de umidade mensal (%), para cada cultivar de café presente em cada talhão na área de estudo, entre os anos de 2009 a 2013.....	54
Figura 13	Distribuição temporal da evapotranspiração mensal (mm), para cada cultivar de café presente em cada talhão na área de estudo, entre os anos de 2009 a 2013.....	55
Figura 14	Distribuição do índice de umidade acumulado anualmente, Para cada talhão presente na área de estudo no período de 2009 a 2013.....	56
Figura 15	Distribuição da evapotranspiração acumulada anualmente, para cada talhão presente na área de estudo no período de 2009 a 2013.....	57
Figura 16	Relação linear entre valores observados de Índice de umidade médio mensal e EVI médio mensal (topo), e relação linear entre valores observados de Evapotranspiração média mensal e EVI médio mensal (inferior) para cada talhão presente na área de estudo no período de 2009 a 2013.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Distribuição Histórica da Produção Cafeeira do Brasil.....	15
Tabela 2	Ciclo fenológico do cafeeiro arábica, segundo as condições climáticas do Brasil.....	17
Tabela 3	Produtos da Superfície Terrestre Gerados pelo Sensor MODIS.....	27
Tabela 4	Características do produto MOD13Q1.....	28
Tabela 5	Características dos talhões de estudo.....	38
Tabela 6	Características dos produtos utilizados no estudo.....	40
Tabela 7	Produtividade (sacas/ha ⁻¹) dos talhões experimentais.....	50

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Equação de Penman-Monteith-FAO adaptada para uso com dados de sensoriamento remoto.....	29
Equação 2	Equação para o cálculo do EVI.....	34
Equação 3	Equação para o cálculo do Índice de Umidade.....	44
Equação 4	Equação para geração dos índices anuais.....	44
Equação 5	Equação para determinação das variáveis em escala mensal.....	45

LISTA DE SIGLAS

ABIC	Associação Brasileira da Indústria do Café
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EOS	Earth Observing System
ET	Evapotranspiração
ET _c	Evapotranspiração da Cultura
ET _o	Evapotranspiração inicial
EVI	Enhanced Vegetation Index
GPCP	Global Precipitation Climatological Center
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IAF	Índice de Área foliar
IBC	Instituto Brasileiro do Café
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IU	Índice de Umidade
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
kc	Coeficiente de cultura
Landsat TM	Landsat Thematic Mapper
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MODIS	MODerate-Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NTSG	Numerical Terradynamic Simulation Group
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1	A cultura do Café.....	14
2.1.1	Origem, história e panorama do café no Brasil.....	14
2.1.2	A cafeicultura no sul do estado de Minas Gerais.....	16
2.1.3	Características fenológicas do cafeeiro.....	16
2.1.4	Algumas cultivares presentes no sul de Minas Gerais.....	18
2.1.4.1	Catuai Vermelho e Catuai Amarelo.....	18
2.1.4.2	Acaiá Cerrado.....	19
2.1.4.3	Catucá Amarelo.....	20
2.1.4.4	Rubi.....	20
2.1.4.5	Topázio.....	21
2.1.5	Irrigação na Cafeicultura.....	21
2.1.6	Cafeicultura de Precisão.....	22
2.2	Utilização do Sensoriamento Remoto na cultura do café.....	23
2.3	O sensor MODIS e seus produtos.....	25
2.3.1	O produto MOD13 e MOD13Q1.....	26
2.3.2	O produto MOD16A3/A3.....	28
2.4	O sensor TRMM.....	29
2.5	Comportamento ou Assinatura espectral da vegetação.....	30
2.6	Índices de vegetação.....	32
2.6.1	Enhanced Vegetation Index (EVI).....	33
2.7	Precipitação pluviométrica.....	35
2.8	Evapotranspiração.....	36
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1	Caracterização da área de estudo.....	37
3.1.1	Manejo e tratos culturais.....	38
3.2	Obtenção dos dados “in situ”.....	40
3.3	Obtenção de dados orbitais.....	40
3.3.1	Índice de Umidade.....	44
3.3.2	Estatística Descritiva.....	44
3.3.2.1	Geração índices anuais.....	44
3.3.2.2	Determinação das variáveis em escala mensal.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5	CONCLUSÃO.....	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade agrícola e econômica de grande importância no mercado brasileiro. Ao longo da história, a cafeicultura teve grande influência no desenvolvimento e industrialização do País. O café proporcionou a sustentação política e administrativa do Regime Republicano no início do século XX, além de ter sido o fornecedor de recursos para a instalação do parque industrial nacional.

No contexto atual, o café deixou de ser o principal produto de exportação brasileiro, contudo ainda é um importante produto do setor do agronegócio. O Estado que mais se destaca na produção nacional é o de Minas Gerais, onde se predomina a espécie Arábica, sendo a principal região produtora do estado a região sul.

Apesar da importância social e econômica para o País, a cafeicultura carece de informações complementares do seu sistema de produção como: crescimento, desenvolvimento e manejo da cultura, principalmente em relação a sua extensão, distribuição e o ambiente em que é cultivado, sobretudo no âmbito da espacialização dessas informações. Esta falta de informação limita o planejamento da cultura, principalmente o econômico.

O sensoriamento remoto, por meio de imagens de satélites disponibilizadas gratuitamente, como é o caso do sensor MODIS, constitui uma ferramenta eficaz na caracterização de ambientes, principalmente no que se refere a solos e uso da terra. O uso dessas imagens, pode constituir um instrumento fundamental para o mapeamento e monitoramento da cultura do café.

O MODIS é um sensor a bordo das plataformas TERRA e AQUA. Este sensor recobre todo globo terrestre quase que diariamente, possui 36 bandas espectrais, cobrindo uma faixa de 2.330 km de largura. Tanto as características do sensor MODIS, quanto à disponibilização gratuita de suas imagens na forma

de produtos apresentam aspectos inovadores na área de sensoriamento remoto, com potencial de aplicação no manejo da cafeicultura de precisão.

Dessa forma, alguns trabalhos têm sido realizados com a finalidade de avaliar a aplicação dos produtos do sensor MODIS na cafeicultura. Mas, existe ainda carência de informações referentes à utilização do MODIS, para a cafeicultura de precisão.

Partindo da hipótese que Diagnósticos para a cafeicultura de precisão podem ser realizados por meio da análise espectro-temporal dos produtos dos sensores, objetivou-se neste trabalho, analisar a aplicação de produtos do sensor MODIS como dados diagnósticos para a cafeicultura de precisão.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A cultura do Café

2.1.1 Origem, história e panorama do café no Brasil

O cafeeiro (*Coffea sp*) é uma planta pertencente à família das rubiáceas, e nativa da África. Introduzido no Brasil a partir das Guianas, por Francisco de Mello Palheta em 1727, cultivado inicialmente em Belém do Pará, em pouco tempo o café passou a ser produto de exportação (BISPO, 2013; MELLO, 2001).

Em sua trajetória pelo Brasil, o café foi cultivado nos estados do Maranhão, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Minas Gerais. Num espaço de tempo relativamente curto, o café passou de uma posição relativamente secundária para a de produto-base da economia brasileira. Desenvolveu-se com total independência, ou seja, apenas com recursos nacionais, sendo, afinal, a primeira cultura brasileira que visou à produção de riquezas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ, 2013).

Segundo o MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2013), o Brasil é o maior produtor (35,46%) e exportador (25,4%) mundial de café. Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo são os maiores estados produtores, responsáveis juntos por 87,2% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013).

As espécies de café mais cultivadas no Brasil são: *Coffea arabica*, café-arábica (como é comumente chamada), e *Coffea canephora*, conhecida como Robusta ou Conillon (ALZUGARAY; ALZUGARAY, 1984) que é cultivado em regiões mais quentes.

As áreas cafeeiras estão concentradas no centro-sul do país, onde se destacam quatro estados produtores: Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e

Paraná. A região Nordeste também tem plantações na Bahia, e da região Norte pode-se destacar Rondônia. A produção de café arábica se concentra em São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Bahia e parte do Espírito Santo, enquanto o café conillon é plantado principalmente no Espírito Santo e Rondônia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ, 2013) (Tabela 1).

Tabela 1 Distribuição Histórica da Produção Cafeeira do Brasil

Período	Distribuição
1859	Rio de Janeiro.....78,40% São Paulo.....12,13% Minas Gerais.....7,18% Espírito Santo.....1,39% Bahia.....0,26%
1961 a 1975	Paraná assume a liderança da produção nacional em função da colonização agrícola, com 46,0%.
A partir de 1975	Direcionamento do plantio para o Estado de Minas Gerais por meio do Plano de Renovação e Revigoração de Cafezais (PRRC).
De 1980 até hoje	Minas Gerais assume liderança nacional.

Fonte: Mendes e Guimarães (1997)

Segundo Bispo (2013), o consumo de café aumentou, no período compreendido entre novembro/2010 e outubro/2011, a ABIC registrou consumo de 19,72 milhões de sacas, o que representa um acréscimo de 3,11% em relação ao período anterior correspondente (novembro/09 a outubro/10), que havia sido de 19,13 milhões de sacas. Isso vai ao encontro da pesquisa realizada pelo IBGE, de que o café é o alimento mais consumido diariamente por 78% da

população brasileira acima de 10 anos (totalizando 255 ml/dia ou 93 litros/habitante/ano).

2.1.2 A cafeicultura no sul do Estado de Minas Gerais

Segundo Romero e Romero (1997), as primeiras lavouras de café no sul de Minas foram estabelecidas em Aiuruoca, Jacuí e Baependi, no vale do Sapucaí, em fins do século XVIII, por intermédio dos tropeiros. A partir do final do século XIX, a cafeicultura se expandiu por praticamente toda a região sul do estado, chegando a constituir um verdadeiro complexo agroindustrial na década de 1970 (FILETTO; ALENCAR, 2001).

A região do Sul de Minas Gerais apresenta condições que favorecem a cultura, tais como: fácil acesso aos grandes centros consumidores, infraestrutura adequada e condições climáticas excelentes para o cultivo do café, além de importantes cooperativas e instituições de pesquisa e ensino que garantem uma cafeicultura de referência (PÁDUA, 1998; SILVA, 1998).

Trabalhos realizados entre novembro e dezembro de 2011 pela CONAB, relativos à área cafeeira, mostra que o estado de Minas Gerais concentra a maior área com aproximadamente 1.210 mil ha, predominando a espécie arábica com 97,7% e uma produção aproximada de 520.000 toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013). A área total estadual representa 51,4% da área cultivada com café no País. Deste total produzido em Minas Gerais, somente as regiões sul e centro-oeste do estado são responsáveis por 51,5% da área cultivada, o que vem a ressaltar a importância econômica da atividade na região (BISPO, 2013).

2.1.3 Características fenológicas do Cafeeiro

O cafeeiro é uma planta perene de porte arbustivo, caule retilíneo de casca cinzenta e rugosa, e tem como produto econômico suas sementes. Depois de

processadas, as sementes são consumidas na forma de infusão. Dotada de aroma e sabor característicos, a bebida é nutritiva e estimulante (FAHL, 1995).

Segundo Alzugaray e Alzugaray (1984), as suas folhas possuem coloração verde escuro, e são curtopecioladas e curto estipuladas, ovado-lanceoladas, agudas, glabras e ondulada nas margens e produzem inflorescências em panículas racemosas com flores viçosas, bracteadas brancas. Os frutos são do tipo baga, contendo as sementes, que são duras, globosas, brilhantes e pretas.

De acordo com Camargo e Camargo (2001), o cafeeiro arábica leva dois anos para completar o ciclo fenológico, sendo que a maturação plena ocorre quando pelo menos 50% dos grãos estão no estágio cereja, fato observado na região sudeste entre os meses de abril a junho (Tabela 2).

Tabela 2 Ciclo fenológico do cafeeiro arábica, segundo as condições climáticas do Brasil

1º Ano Fenológico											
Período vegetativo											
Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Vegetação e formação das gemas florais						Indução e maturação das gemas florais					
									Repouso		
2º Ano Fenológico											
Período reprodutivo											
Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Florada, chumbinho e expansão dos frutos				Granação dos frutos			Maturação dos frutos			Repouso, senescência dos ramos 3º e 4º	
Período reprodutivo (novo período vegetativo)										Autopoda	

Fonte: Adaptado Meireles et al. (2009)

Segundo Mendonça et al. (2011), a bienalidade é uma constante na cultura do cafeeiro, podendo ser considerada como sendo o fenômeno da alternância de grandes e pequenas produções ao longo do tempo. Esse fenômeno é mais acentuado no café arábica, mas também ocorre no café conillon, normalmente com menor intensidade devido às práticas de poda e alternância de ramos plagiotrópicos produtivos.

Para Rena e Maestri (1985), essa alternância bienal de produção é própria da natureza fisiológica do cafeeiro, que necessita vegetar em um ano para produzir bem no ano seguinte.

A bienalidade se dá, devido às peculiaridades das funções vegetativas e reprodutivas existentes em anos de grande produção, pois o crescimento dos frutos absorve maior parte do fotoassimilado, produzido pela planta durante a fotossíntese, diminuindo o desenvolvimento vegetativo. No ano seguinte, entretanto, o fruto se desenvolve nas partes novas dos ramos, sendo o crescimento desses novos ramos dependente da quantidade de frutos desenvolvidos nos ramos do ano anterior (CAMARGO; FAHL, 2001).

Esta bienalidade está ligada à relação fonte-dreno existente entre frutos e folhas, enquanto as folhas são fontes de fotossintetizados, os tecidos em crescimento atuam como drenos dos mesmos. Como ambas as fases reprodutiva do ano corrente e vegetativa para o ano seguinte ocorrem de maneira simultânea, a planta tende a balancear a repartição de fotossintetizados (BARROS, 1997).

2.1.4 Algumas Cultivares presentes no Sul de Minas Gerais

2.1.4.1 Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo

As cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo, foram as primeiras cultivares selecionadas após o emprego de hibridação artificial no melhoramento genético do cafeeiro. São oriundas da hibridação Caturra Amarelo x Mundo Novo, que teve como principal objetivo o estudo da herança do porte baixo em

algumas cultivares, entre elas a Caturra, com vistas à transferência dessa característica para o cultivar Mundo Novo (MATIELLO; ALMEIDA 1997; OLIVEIRA, 1998).

Aos descendentes desses cafeeiros (hibridação) a partir da geração F4 e gerações subsequentes, caracterizados por serem vigorosos e muito produtivos, deu-se a denominação de Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo, conforme o alelo fixado para cor de fruto (CtCt xxcx: Catuaí Amarelo; CtCt XcXc: Catuaí Vermelho) (OLIVEIRA, 1998).

As plantas são bastante rústicas e produtivas, geralmente cultivadas a livre crescimento. A principal característica é possuir internódios curtos, o que lhes confere o porte baixo, além de abundante ramificação secundária e com boa facilidade de manejo (SOUZA et al., 2004).

As ramificações secundária e terciária são abundantes, com formação de saia bem definida, permitindo melhor retirada de ramos ladrões e melhor operação de corte acima da saia. As folhas novas são verdes mais claras e as adultas mais escuras e brilhantes (SOUZA et al., 2004).

A maturação coincide com a época chuvosa, sendo mais tardia e mais desuniforme. Apresentando ainda essas cultivares maior susceptibilidade à ferrugem, e maior depauperação da planta após alta produção e quando sofre efeito de estresse hídrico ou de deficiência nutricional (OLIVEIRA, 1998).

2.1.4.2 Acaíá Cerrado

O cultivar Acaíá Cerrado foi criada a partir de uma seleção no café Mundo Novo, a partir de plantas que apresentaram sementes de maior tamanho e boa capacidade produtiva. Apresenta-se com boa produção de café beneficiado e boa rusticidade (MELO; BARTHOLO; MENDES, 1998).

É de porte alto e arquitetura cônica, com largura de copa mais afilada do que a maioria das outras cultivares de Acaíá, sendo, por isso, adequada ao

sistema de cultivo e colheita mecanizada (OLIVEIRA; PEREIRA, 2008). O Acaiá Cerrado, têm despertado o interesse dos cafeicultores para o plantio adensado, em razão do seu reduzido diâmetro de copa e arquitetura adequada.

2.1.4.3 Catucaí Amarelo

O grupo Catucaí teve seu desenvolvimento iniciado com o aproveitamento de um cruzamento natural entre 'Icatu' e 'Catuaí', ocorrido nos experimentos do extinto IBC. Progênes dessas seleções foram plantadas e selecionadas, usando-se o método genealógico de melhoramento, as gerações posteriores foram selecionadas, visando sempre selecionar plantas bastante produtivas, com elevado vigor vegetativo e resistentes à ferrugem-do-cafeeiro (MATIELLO; ALMEIDA, 1997).

Com destaque para a arquitetura da planta mais cônica, broto roxo, porte baixo e frutos graúdos. Com frutos amarelos, essa nova cultivar apresenta ramos com rosetas mais cheias de frutos. Além da resistência moderada à ferrugem, são priorizadas a produtividade e o vigor. Possuindo ainda essa cultivar, porte baixo das plantas, menor perda de folhas devido a ferrugem, maturação diferenciada e melhor qualidade dos frutos/grãos e bebida (MATIELLO; ALMEIDA, 1997).

2.1.4.4 Rubi

Com o objetivo de selecionar formas mais produtivas, mais vigorosas, mais precoces e uniformes quanto a maturação de frutos em relação a cultivar Catuaí, é que se procedeu à obtenção das cultivares Rubi. Obtida pelo retrocruzamentos de Catuaí Vermelho para o Mundo Novo, e a cultivar Topázio Amarelo, pelo retrocruzamento de Catuaí Amarelo para Mundo Novo, a cultivar Rubi apresenta porte baixo, excelente produtividade, alto vigor vegetativo, mais precocidade e uniformidade na maturação (MELO; BARTHOLO; MENDES, 1998).

Segundo Oliveira e Pereira (2008), as características vegetativas do cultivar Rubi, são semelhantes à Catuaí, inclusive o porte, que é baixo; os frutos são de coloração vermelha, com maturação ligeiramente mais precoce e uniforme que a Catuaí. Apresenta elevada capacidade produtiva e alto vigor vegetativo, sem depauperamento precoce ou seca de ramos produtivos. Adaptando-se bem às principais regiões cafeeiras do Estado de Minas Gerais.

2.1.4.5 Topázio

Resultados do cruzamento artificial entre Mundo Novo e Catuaí Amarelo, também com o objetivo de produzir uma cultivar mais uniforme em relação a Cultivar Catuaí (MATIELLO; ALMEIDA, 1997; MELO, 1998). O número de ramificações secundárias é abundante, angulação dos ramos produtivos pouco mais aberta que a Catuaí, o que permite maior aeração e insolação no interior da planta.

As características vegetativas são também semelhantes à Catuaí, incluindo o porte baixo. Apresenta excelente capacidade produtiva e elevadíssimo vigor vegetativo, não exibindo depauperamento precoce depois de elevadas produções. Os frutos são amarelos e a maturação é intermediária entre Catuaí e Mundo Novo, em época e uniformidade (OLIVEIRA; PEREIRA, 2008).

2.1.5 Irrigação na Cafeicultura

Segundo Silva et al. (2003), o uso da irrigação na cafeicultura, tem proporcionado incrementos consideráveis na produtividade, o que tem justificado a adoção dessa técnica por parte dos produtores. A utilização da irrigação proporciona menores riscos e maior eficiência na utilização e aplicação de insumos, além de maior produtividade e melhor qualidade do café (MANTOVANI, 2000).

Vários trabalhos já constataram um aumento significativo da produtividade em cafeeiros irrigados. Contin et al. (2005) relatam acréscimos na produtividade de 97% na irrigação por pivô-central e 43% na irrigação com aspersão fixa tipo malha. Vicente et al. (2003) afirmam, que o uso da técnica de irrigação, por gotejamento superficial ou subsuperficial, em cafeeiros acarreta produção significativamente superior aos cafeeiros não irrigados.

Segundo Matiello (1991), o cafeeiro precisa de umidade facilmente disponível no solo, no período de vegetação e frutificação que corresponde aos meses entre outubro e maio. Já na fase de colheita e repouso, que corresponde aos meses entre junho e setembro, a necessidade de umidade é pequena.

Portanto, para Alves (1999), a utilização da irrigação em áreas tradicionais de cafeicultura é justificada tanto na região Sul de Minas, como em outras também consideradas com um bom índice de chuvas para o cafeeiro, pelo fato destas sofrerem na maioria das vezes o efeito de veranicos nos meses correspondentes a vegetação e frutificação, que são períodos críticos de demanda de água pelo cafeeiro.

2.1.6 Cafeicultura de Precisão

A cafeicultura de precisão é um conjunto de técnicas que visa maximizar e otimizar, a utilização de insumos na condução e manejo da lavoura em função da variabilidade espacial e temporal de fatores associados ao sistema água-solo-planta, buscando maiores produtividades, melhor qualidade e menores custos (ALVES et al., 2006).

A agricultura de precisão aplicada na cafeicultura, é uma tecnologia a ser instalada em longo prazo, mas com grande potencial de instalação, pela eficiência, sustentabilidade ecológica e econômica. Várias pesquisas foram desenvolvidas com a finalidade de caracterizar a variabilidade, dos atributos físicos e químicos do solo, e das folhas e frutos da planta na cultura do cafeeiro,

sendo utilizados diferentes metodologias, em diferentes áreas e cultivares (FERRAZ, 2010).

Desta forma, existe um campo muito grande para se aplicar e pesquisar a agricultura de precisão na cafeicultura, não só pela sua importância no Brasil, mas também pelo alto grau tecnológico e o valor econômico das lavouras (BALASTREIRE et al., 2001).

Neste sentido vários trabalhos vêm sendo realizados com o intuito de obter informações da lavoura na cafeicultura de precisão. Ferraz (2012), estudou a utilização de malhas amostrais para o mapeamento de atributos do solo e da planta.

Portanto, o que diferenciou o presente estudo dos demais realizados, foi a utilização de polígonos (talhões) para obtenção de informações na lavoura, ao contrário da utilização de malhas amostrais.

2.2 Utilização do Sensoriamento Remoto na Cultura do Café

O sensoriamento remoto pode ser definido como a arte e a ciência de se obter informações acerca de objetos presentes na superfície terrestre sem contato físico com os mesmos (JENSEN, 2005).

O uso de imagens de satélite é um método com grande potencial para obter informações sobre a produção do café, devido a seu caráter multiespectral, sua repetição no tempo e no espaço (LEONARDI, 1990).

No entanto, o café é uma cultura perene, com características complexas. Quando observada por sistemas de sensores de satélites, a cultura do café é muito heterogênea, uma vez que apresenta variações em todos os parâmetros influenciando a refletância do alvo (LEONARDI; EPIPHANIO; FORMAGGIO, 1991).

Para Vieira et al. (2006), a resposta espectral do dossel de uma dada cultura pode ser influenciada por vários fatores, tais como: umidade, vigor

vegetativo, arquitetura e tamanho da copa, solo tipo e teor de matéria orgânica, topografia, densidade de plantio, espaçamento, cultivar, idade, consórcio de culturas, entre outros.

Uma das dificuldades de se obter a resposta espectral do café reside na mistura espectral com outros alvos. O solo deve ser levado em consideração na análise espectral, pois dependendo de como foi feito o manejo, o espaçamento entre os pés de café pode ou não expor o solo, o que influencia uma maior mistura espectral dos pixels (BISPO, 2013; MOREIRA; ADAMI; RUDORFF, 2004; TRABAQUINI et al., 2009).

Outra dificuldade na identificação de áreas de café está no fato que essa cultura geralmente cresce em regiões montanhosas e isto causa sombras e distorções na resposta espectral, que tornam difícil a classificação e a interpretação de alvos sombreados na imagem, pois a resposta espectral é reduzida ou totalmente perdida (SANTOS et al., 2012).

Neste sentido, vários trabalhos por meio de técnicas do sensoriamento remoto foram realizados, visando à identificação e monitoramento da cultura do café. Tardin, Assunção e Soares (1992) realizou o mapeamento da cultura de café, utilizando imagens do sensor TM do Landsat, aplicando a técnica do algoritmo Máxima Verossimilhança, em uma área de testes em Alfenas, no Sul de Minas Gerais.

Epiphanyo, Leonardi e Formaggio (1994), utilizaram imagens do Landsat TM para avaliar as relações entre parâmetros culturais e a resposta espectral de cafezais, nos municípios de Alfenas e Campo do Meio.

Moreira, Adami e Rudorff (2004), avaliando o potencial das imagens da série Landsat (TM e ETM+), analisaram as respostas espectral e temporal das lavouras de café em produção e formação na região centro-sul do Estado de Minas Gerais. Este estudo constatou que a banda do infravermelho próximo, foi

a ideal para distinguir as lavouras de café em formação e em produção, dos alvos pastagem e mata.

Sarmiento (2014), realizou o mapeamento e a caracterização de áreas cafeeiras no sul de Minas Gerais, utilizando imagens de alta resolução espacial do sensor Quickbird.

Em seus estudos Bernardes et al. (2012), avaliaram o potencial dos índices de vegetação (NDVI E EVI) gerados a partir do produto MOD 13, para detectar a produção bienal do café (2002-2009), na região sul de Minas Gerais.

Bispo (2013) afirma que, o uso do sensoriamento remoto vem contribuindo para o mapeamento e monitoramento da cultura do café e a escolha dos sensores e das técnicas deve se adequar às peculiaridades do objeto de estudo. O autor mostrou que, apesar da baixa resolução espacial do sensor MODIS, é possível a sua utilização para o monitoramento da cafeicultura utilizando dados da banda do Infravermelho Próximo.

2.3 O Sensor MODIS e seus produtos

O sensor MODIS está a bordo do satélite EOS-TERRA, lançado em dezembro 1999 e também no satélite AQUA, lançado em 2002, ambos os satélites lançados pela NASA. Os dados do sensor MODIS possuem alta qualidade radiométrica e geométrica, requisitos importantes para o monitoramento preciso da cobertura terrestre a fim de observar as mudanças de uso e cobertura do solo (JUSTICE et al., 2002).

Com passagem às 10h30 min no Equador com órbita descendente, o MODIS Terra dispõe de 36 bandas contidas no intervalo de 0,4 a 14,4 μm do espectro eletromagnético. Sua resolução espacial está dividida em: 250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir.

Suas bandas foram projetadas e desenvolvidas para observação de feições das propriedades das nuvens e sua dinâmica, da vegetação na cobertura terrestre

e da temperatura da superfície dos oceanos. Devido à largura do campo de visada que é de 2.230 km o sensor MODIS possui alta resolução temporal sendo de 1 ou 2 dias (AGUIAR, 2007; BISPO, 2013; SALOMONSON; BARKER, 1990).

O MODIS possui um total de 44 produtos, todos disponíveis gratuitamente pela NASA no formato HDF (Hierarchy Data Format), com projeção sinusoidal e dividida em quadrantes (tiles) de 10x10 graus, equivalente a 1200x1200 km. Estes produtos são divididos em três grandes classes: terrestres, oceânicos e atmosféricos (AGUIAR, 2007; NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2013).

A disponibilização rápida e ininterrupta das imagens MODIS permite análises regulares da vegetação em nível global, incluindo a avaliação de aspectos fenológicos da vegetação e a detecção de mudanças de uso e cobertura do solo (HUETE et al., 2002). Os produtos MODIS relacionados ao estudo da vegetação são basicamente três: MOD15; MOD17; e MOD13 (Vegetation Índices - VI). E o relacionado ao estudo da evapotranspiração é o MOD 16.

2.3.1 Os produtos MOD13 e MOD13Q1

Os produtos MODIS de índices de vegetação fornecem comparações consistentes de dados temporais e espaciais das condições da vegetação global, para monitorar a atividade fotossintética da vegetação em suporte a detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia.

O MOD13 possui dois índices de vegetação, o índice da diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação melhorado (EVI). 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, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (HUETE et al., 2002). O produto

MOD13 subdivide-se em: MOD13A1, MOD13A2, MOD13A3, MOD13C2, MOD13C3 e o MOD13Q1 (Tabela 3).

Tabela 3 Produtos da Superfície Terrestre Gerados pelo Sensor MODIS

Nome curto	Nome por extenso	Resolução Temporal	Resolução Espacial
MOD13A1	MODIS/Terra Vegetation Índices 16-Day L3 Global 500m ISIN Grid	16 Dias	500 m
MOD13A2	MODIS/Terra Vegetation Índices 16-Day L3 Global 1km ISIN Grid	16 dias	1 km
MOD13A3	MODIS/Terra Vegetation Índices Monthly L3 Global 1km ISIN Grid	Mensal	1 km
MOD13C2	MODIS/Terra Vegetation Índices 16-Day L3 Global 28km CMG	16 dias	28 km
MOD13C3	MODIS/Terra Vegetation Índices 32-Day L3 Global 28km CMG	32 dias	28 km
MOD13Q1	MODIS/Terra Vegetation Índices 16- Day L3 Global 250m ISIN Grid	16 dias	250 m

Fonte: Adaptado de Anderson et al. (2003)

Sendo o MOD13Q1 utilizado como fonte de dados para este trabalho, devido a sua melhor resolução espacial, que é de 250 m. Todos os dados disponíveis do MOD13Q1 estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 Características do produto MOD13Q1

Conjunto de Dados	Unidade	Tipo de dado
NDVI	NDVI	16 bit
EVI	EVI	16 bit
Qualidade dos Índices de Vegetação	Bits	16 bit
Vermelho (0,62-0,67 μm)	Refletância	16 bit
NIR (0,841-0,875 μm)	Refletância	16 bit
Azul (0,459-0,479 μm)	Refletância	16 bit
MIR (2,105-2,115 μm)	Refletância	16 bit
Ângulo zenital de visada	Graus	16 bit
Ângulo zenital solar	Graus	16 bit
Ângulo azimute	Graus	16 bit
Dia da composição	Julianos	16 bit
Qualidade do pixel	-	8 bit

Fonte: Adaptado de Bispo (2013)

2.3.2 O produto MOD16A2/A3

O produto MOD16A2/A3 é um algoritmo, parte integrante do projeto NASA-EOS e tem como objetivo principal, estimar a evapotranspiração com base em dados de sensoriamento remoto do sensor Terra/MODIS e

Aqua/MODIS para uso em aplicações hidrológicas e ecológicas de larga escala (MU et al., 2007).

O algoritmo MOD16 considera os dois componentes da evapotranspiração de referência: evaporação do solo e transpiração das plantas (MU et al., 2007). O cafeeiro na fase adulta possui um coeficiente de cultura (k_c) próximo de 1,0, sendo então a Evapotranspiração da cultura (ET_c) igual a Evapotranspiração de referencia (ET_o). O algoritmo é baseado na equação de Penman-Monteith-FAO adaptada para uso com dados de sensoriamento remoto citado por Allen et al. (1998) (equação 1):

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \left(\frac{1}{\lambda} \right) + \frac{\gamma}{(\delta + \gamma^*) (T + 273)} U_2 (e_s - e_a) \quad (1)$$

em que: ET_o é a evapotranspiração de referência (mmd^{-1}); λ é o calor latente de evaporação (MJ kg^{-1}); δ é a declividade da curva da pressão de saturação do vapor d'água (kPa K^{-1}); R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); e_s é a pressão de saturação d'água (k Pa); e_a é a pressão de vapor d'água (kPa); T é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); γ^* é o coeficiente psicrométrico modificado (kPa K^{-1}); U_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}).

O MOD16A2 possui resolução temporal de 8 dias e o MOD16A3 de 365 dias (anual), ambos com 1 km de resolução espacial ao longo dos 109,03 milhões de km^2 de área de terra com vegetação, possibilitando estudos sobre secas meteorológicas (DU et al., 2013; MU et al., 2007).

2.4 O sensor TRMM

O sistema TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), é um projeto em parceria entre a NASA e a JAXA, lançado em 27 de novembro de 1997, com o objetivo de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar

como a mesma influencia o clima global. Sua órbita está entre as latitudes de aproximadamente 30° +/-, de ambos os lados do equador, fazendo 16 órbitas por dia (PASSOW, 2010).

O satélite possui a bordo cinco instrumentos básicos: imageador de micro-ondas, radar de precipitação, radiômetro no visível e no infravermelho, sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens e sensor para imageamento de relâmpagos. Conta ainda com um programa de validação em campo, que objetiva refinar as estimativas (BRITO; ALVES; SOUZA, 2011; PASSOW, 2010).

Segundo Brito, Alves e Souza (2011), as estimativas fornecidas pelo TRMM são válidas para a região compreendida entre 50°S e 50°N do globo terrestre, com resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (aproximadamente 770 km^2). O produto 3B42 possui estimativas de 3 em 3 h ou diárias, enquanto que o produto 3B43(V6) constitui-se de estimativas mensais (mm/mês).

2.5 Comportamento ou Assinatura Espectral da Vegetação

Comportamento ou assinatura espectral é a radiação refletida por uma superfície em função do comprimento de onda. Diferentes tipos de superfície, como a água, o solo descoberto ou a vegetação, refletem a radiação de forma diferente em vários canais.

Segundo Moreira e Assunção (1984), ao utilizar dados de sensoriamento remoto para o estudo de determinado alvo, deve-se ter em mente a existência de uma série de variações na energia eletromagnética ocasionadas pela fonte de energia, pelo meio em que a energia é propagada, pelos alvos imageados, pelo sistema sensor que capta a energia proveniente do alvo.

O termo Comportamento Espectral da Vegetação é frequentemente utilizado para representar as características de reflectância da REM, pelas folhas, plantas individuais e/ou conjunto de plantas (ROSENDI, 2005). Ponzoni

(2001), afirma que a “aparência” da cobertura vegetal em determinado produto de Sensoriamento Remoto é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais.

A vegetação é um alvo complexo, pois apresenta variadas propriedades de reflexão foliar em uma mesma planta, múltiplos componentes refletoras, não uniformidade de estrutura inter e intraplantas, além de assentar-se sobre um substrato constituído de solo ou restos vegetais que, por sua vez, apresentam propriedades de reflexão própria, contribuindo no processo de medição para a modulação das propriedades de reflexão da vegetação (EPIPHANIO et al., 1996).

A vegetação sadia, apresenta uma reflectância alta no canal na região do infravermelho próximo e baixa reflexão na região do visível (Figura 1). A assinatura espectral das plantas verdes (folhas) é muito característica. A clorofila numa planta em crescimento absorve a luz visível e, em especial, a luz vermelha para ser usada na fotossíntese, enquanto que a luz do infravermelho próximo é refletida de forma eficaz, já que não tem qualquer utilidade para a planta.

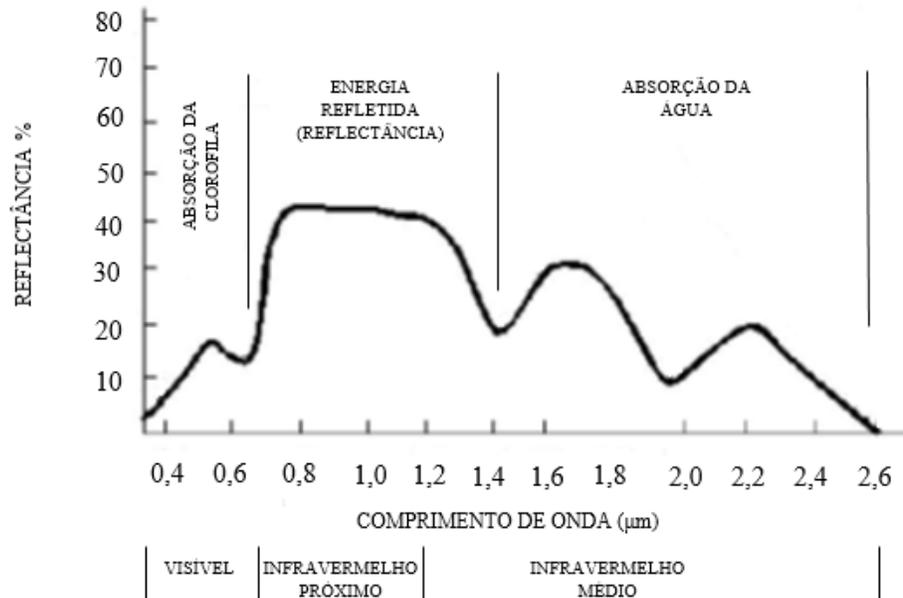


Figura 1 Comportamento Espectral da Vegetação

Fonte: Moreira (2003)

Na região do visível (0,4 µm a 0,7 µm), a resposta espectral das folhas é influenciada, principalmente, pelos pigmentos existentes na planta, como clorofila, carotenos e xantofilas (MOREIRA, 2003).

Já na região do Infravermelho próximo (0,7 µm a 1,3 µm), nota-se um aumento significativo na reflectância. Nesta região, uma vegetação verde e sadia é caracterizada por alta reflectância, alta transmitância e baixa absorção quando comparada ao visível (ROSENDO, 2005). As folhas verdes absorvem pouca energia, apresentando uma alta reflectância causada pelo espalhamento resultante dos diferentes índices de refração do líquido intracelular e dos espaços intercelulares do mesófilo.

Finalizando, na região do Infravermelho médio (1,2 µm a 2,6 µm) a resposta espectral de uma folha verde é caracterizada, notadamente, pelas faixas de grande absorção pela água, encontrando-se dois máximos de absorção pela

água. Portanto, com o decréscimo da umidade na planta, ocorre um aumento da reflectância do infravermelho médio (NOVO, 1989).

2.6 Índices de Vegetação,

Os índices de vegetação são aplicados no monitoramento e quantificação das condições da distribuição espacial da vegetação. São obtidos por várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da radiação eletromagnética. Estes índices, buscam combinar sob a forma de razões, as informações contidas na radiância refletida pelos dosséis da vegetação.

Segundo Rosendo (2005), a vegetação saudável possui interações distintas em regiões do espectro eletromagnético correspondente às faixas do visível e do infravermelho próximo. Nas regiões do visível, os pigmentos das plantas provocam absorção de energia primeiramente para realização da fotossíntese. No infravermelho próximo, a interação ocorrida é bem diferente: a energia nesta região não é empregada na fotossíntese, sendo fortemente dispersada na estrutura interna da folha, conduzindo para uma elevada reflectância no infravermelho próximo.

O aspecto da cobertura vegetal em determinado produto de Sensoriamento Remoto é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais, tais como a fonte de radiação, o espalhamento atmosférico, as características tanto da folha quanto do dossel, os teores de umidade, a interferência da reflectância do solo, sombra, entre outros (PONZONI, 2001).

De acordo com Rosendo (2005), para minimizar a variabilidade causada pelos fatores externos, a reflectância espectral da cobertura vegetal tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação, nas reflectâncias de dosséis referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, as quais são combinadas sob a forma de razões. Estas regiões do espectro, possuem mais

de 90% da variação da resposta espectral da vegetação; portanto, estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma (ROSA, 2003).

Portanto, os índices de vegetação são transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Esses índices realçam, em geral, o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com os parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa, Índice de Área Foliar, percentagem de cobertura vegetal. Incluindo também os graus de correlação com o vigor da vegetação verde, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade (EIPHANIO et al., 1996).

2.6.1 Enhanced Vegetation Index (EVI)

O Índice de vegetação EVI foi desenvolvido para reduzir as influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (JUSTICE et al., 1998). O EVI foi proposto como um produto do sensor MODIS, de 250 m de resolução espacial, porém seu desenvolvimento foi inteiramente baseado em imagens Landsat TM 4 e 5 degradadas, gerando imagens “MODIS-Simuladas” (HUETE et al., 1997; JUSTICE et al., 1998).

Desenvolvido por Huete et al. (1997), o EVI nada mais é do que uma variação do NDVI, aprimorada quanto a correções de influências atmosféricas e do solo, de acordo com a equação 2:

$$EVI = G * \frac{IVP - V}{IVP + C_1 * V - C_2 * A + L} \quad (2)$$

Onde, IVP = reflectância no infravermelho próximo; V = reflectância no vermelho; A = reflectância no azul; C1 (coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho) = 6; C2 (coeficiente de correção dos

efeitos atmosféricos para a banda do azul) = 7,5; L (fator de correção para a interferência do solo) = 1; G (fator de ganho) = 2,5.

Para as regiões de vegetação, principalmente as relacionadas com mudanças climáticas, os impactos da seca sobre a vegetação não podem ser facilmente detectados a partir de dados de EVI diretamente (DU et al., 2013). Desta forma, Kogan (1995) desenvolveu o índice de condição da vegetação (ICV) para controlar as diferenças locais na produtividade do ecossistema.

A suposição de ICV para monitoramento da seca é que a vegetação vigorosa é afetada pela variação climática. Em uma região de clima estável, uma seca extrema vai enfraquecer o crescimento da vegetação, contribuindo para um menor valor de EVI nas observações ao longo dos anos. Por outro lado, uma condição climática ideal contribui para um valor maior de EVI, representando uma vegetação saudável (KOGAN, 1995).

2.7 Precipitação Pluvial

A precipitação pluvial constitui-se em um importante parâmetro climatológico para o desenvolvimento social e econômico, principalmente no setor agrícola. Associado a isso, é um dos parâmetros atmosféricos mais difíceis de ser medido ou quantificado, dado a sua alta variabilidade espacial e temporal, principalmente nas regiões tropicais. Nessas regiões, a precipitação é fator preponderante para análise do ambiente, gerenciamento de recursos hídricos e no agronegócio.

No cafeeiro, a precipitação influencia em vários fatores, entre eles as pragas. Diminuindo, por meio de ação mecânica, as populações de pragas

importantes na cultura, havendo vários trabalhos sobre a influência da precipitação pluvial nas densidades populacionais de insetos e ácaros (CUSTÓDIO et al., 2009; DEMITE; FERES, 2007; FRANCO et al., 2008; SILVA et al., 2006).

Contudo, sendo a precipitação um parâmetro de grande importância, ainda existe uma má distribuição de pluviômetros sobre o continente e a relativa falta de dados sobre o oceano tem limitado a utilização e o conhecimento sobre a precipitação, principalmente nas regiões tropicais.

Deste modo, várias técnicas foram propostas para afim de estimar a precipitação sobre as regiões do globo terrestre. Assim, a missão TRMM, com seus sensores e algoritmos vem sendo calibrados e aperfeiçoados, com o objetivo de avaliar e melhorar a observação da precipitação, colaborando com a melhoria das estimativas sobre a região tropical por meio da utilização de dados de acúmulo mensal de chuva do GPCP (FLEMING et al., 2011; VIANA; FERREIRA; CONFORTE, 2010).

Portanto, o desenvolvimento de estimativas de precipitação por satélite permitiu preencher uma lacuna deixada pela rede convencional de pluviometria, não somente provendo informações em regiões onde for esparsa ou inexistente, como também possibilitando informações mais refinadas (FARIAS et al., 2013).

2.8 Evapotranspiração

A quantidade de água consumida por uma determinada cultura é denominada de evapotranspiração (ET), ou seja, é a transferência para a atmosfera da água do solo por evaporação, e da água da planta por transpiração (ALLEN et al., 1998). A quantificação da evapotranspiração é um parâmetro importante, pois permite estudos como o de demanda e manejo de irrigação, zoneamento agrícola, estimativa de produção entre outros.

A evapotranspiração é influenciada por diversos fatores, como as condições atmosféricas locais (temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar e vento), fatores relacionados ao manejo da cultura (cultivar, população de plantas, irrigação e controle de pragas) e as características de solo relacionadas à fertilidade, cor e capacidade de retenção de água (ALLEN et al., 1998).

Segundo Allen et al. (1998) e Oliveira et al. (2007), a medição da evapotranspiração da cultura (ET_c) é realizada por vários métodos, como os métodos de balanço de energia, balanço de água no solo, ou pelo uso da lisimetria de pesagem. Também há os métodos de estimativa de evapotranspiração a partir de dados meteorológicos e o uso de modelos matemáticos (empíricos, semi-empíricos e físicos).

Deste modo, segundo Salisbury e Ross (1991), a capacidade do cafeeiro se manter túrgido é tido como uma característica necessária para a garantia da produção, em locais onde ocorre déficit hídrico. Tendo em vista que a produtividade é intimamente relacionada com a água disponível para as plantas, mais do que com qualquer outro fator ambiental.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi conduzido em áreas de café irrigado na Fazenda Pinheiros, compreendida entre as coordenadas 21°12'50,57"S, 45°36'30,16"W e 21°14'59,97"S, 45°39'3,05"W, situada no município de Campos Gerais, na região sul do estado de Minas Gerais (Figura 2).



Figura 2 Mapa de referência de localização e caracterização dos talhões experimentais na Fazenda Pinheiros,

O relevo é composto por colinas e morros, exibindo vertentes íngremes e altitudes médias de 900m (PEREIRA; FERREIRA, 2010), temperatura média de 20,4°C e pluviosidade média anual de 1450 mm (CLIMA..., 2013).

3.1.1 Manejo e tratos culturais

A lavoura da fazenda é constituída pelas cultivares (Tabela 4): Topázio, Catuaí Vermelho, Catuaí Amarelo, Rubi, Catucaí Amarelo e Acaiá Cerrado. Cada cultivar correspondente a um talhão (figura 3), ou seja, catuaí vermelho corresponde ao talhão 1, acaiá cerrado ao talhão 2, rubi ao talhão 3, catucaí amarelo ao talhão 4, catuaí amarelo ao talhão 5, e topázio aos talhões 6 e 7.

Tabela 5 Características dos talhões de estudo

Talhão	Cultivar	Área (ha)	Ano Plantio	Idade
1	Catuaí Vermelho	80,20	Dez/2000	13 anos
2	Acaiaí Cerrado	53,93	Dez/2002	11 anos
3	Rubi	75,41	Dez/2003	10 anos
4	Catuaí Amarelo	76,98	Dez/2004	9 anos
5	Catuaí Amarelo	83,19	Dez/2005	8 anos
6	Topázio	62,05	Dez/2006	7 anos
7	Topázio	29,52	Jan/2006	7 anos

* Idade das cultivares referentes ao ano de 2013

Cada talhão é composto por subtalhões (figura 3). Possuindo cada talhão, um sistema de irrigação localizada por gotejamento, sendo este sistema utilizado, nos períodos de veranicos e/ou quando há necessidade pela cultura.

O manejo de ervas daninhas é realizado de forma química e mecanizada conforme a necessidade da lavoura. Os tratos culturais como a aplicação de defensivos, adubações via solo e via folhas, arruação, esparramação e podas, também são processos realizados mecanicamente na lavoura. Ressaltando- se no caso da poda, em que o talhão 1 sofreu uma recepa total e os talhões 2, 4 e 5 uma recepa parcial (corte parte superior da copa) em setembro/outubro de 2012

A colheita no período estudado, iniciou-se em maio e foi até meados de agosto. A derriça dos grãos foi feita de forma mecanizada em quase toda a lavoura, e em pequenas áreas de difícil acesso e/ou onde a topografia é mais inclinada a derriça foi realizada de forma semimecanizada.

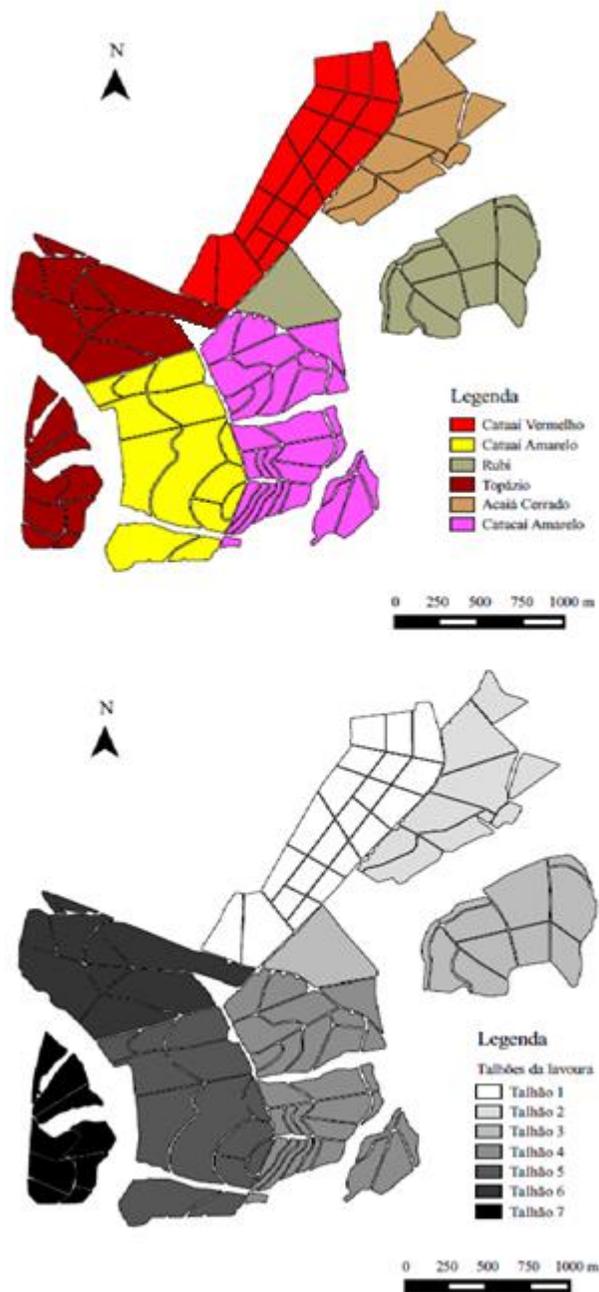


Figura 3 Distribuição dos talhões e das cultivares de Café presentes na área de estudo

3.2 Obtenção dos dados “in situ”

Os dados referentes a lavoura (área, cultivar, produtividade, manejo, tratos culturais, entre outros.), foram coletados diretamente na propriedade com os responsáveis.

As coordenadas para cada cultivar dentro de cada talhão existente, para obtenção dos polígonos e mapas referência, foram coletadas por meio do GPS Garmin.

3.3 Obtenção dos dados orbitais

Foram utilizadas duas séries temporais adquiridas do INPE: (a) série temporal EVI2 do sensor MODIS, com resolução espacial de 250 metros, resolução temporal de 16 dias e projeção sinusoidal; (b) série de precipitação pluvial (mm/mês), utilizando o produto 3B43 V6 do sensor TRMM, tendo o pixel uma área mínima de aproximadamente de 0.25 graus. Outra série utilizada, adquirida do NTSG, foi a de Evapotranspiração (mm/mês) do produto MOD16A2/A3 do sensor MODIS. As características dos produtos utilizados estão apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 Características dos produtos utilizados no estudo

Produto	Resolução Espacial	Resolução Temporal
MOD13Q1	250 m	16 dias
MOD16	1000 m	8 dias
3B43V6	0,25°	30 dias

O fluxograma a seguir (figura 4) apresenta as etapas desenvolvidas no estudo.

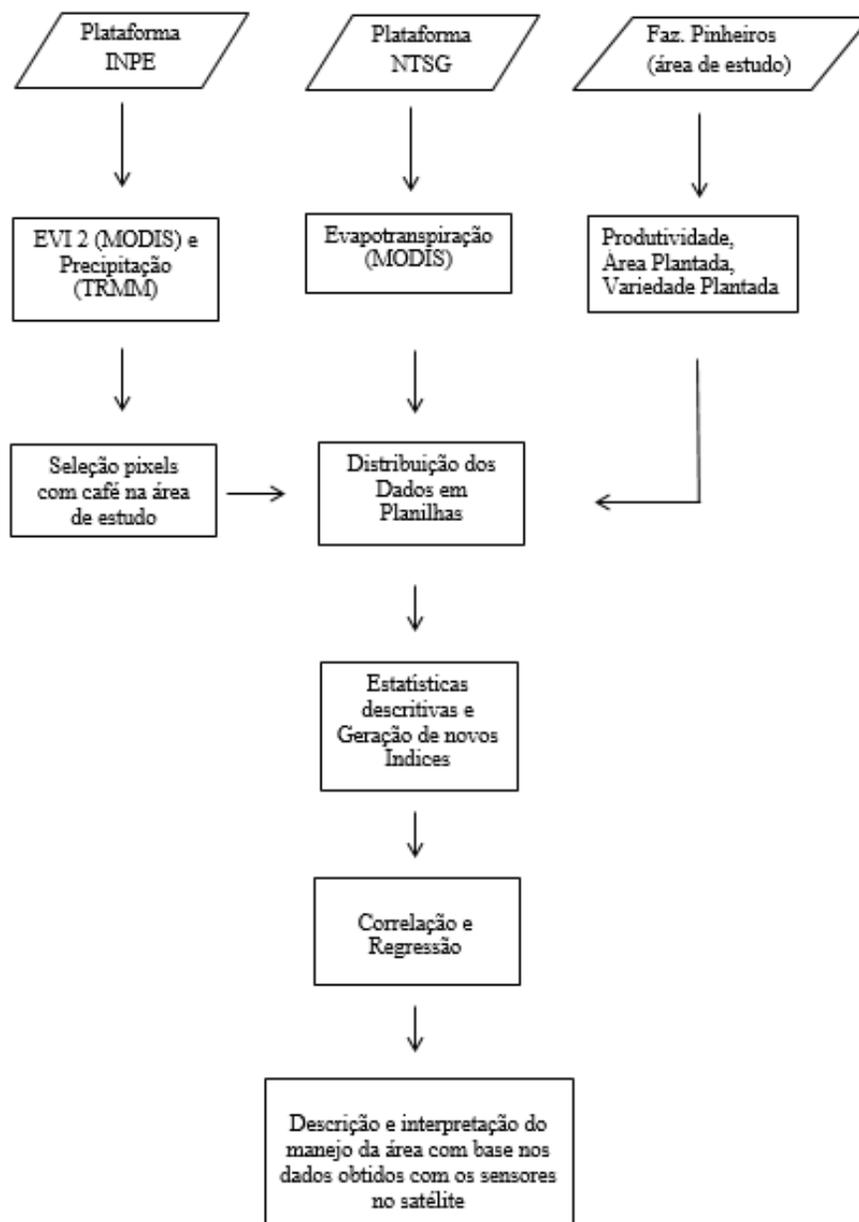


Figura 4 Fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo

As séries temporais EVI2 disponibilizadas pelo INPE, possuem um filtro que é resultado de uma suavização da série utilizando a transformada wavelets. O resultado desta suavização é a filtragem da série, que se torna mais estável e sem a influência de ruídos ou variações da fração vegetação.

Os dados de precipitação (3B43), obtidos para a área de estudo, foram validados, ou seja, comparados com dados de duas estações meteorológicas convencionais. As estações localizam-se nos municípios de Lavras-MG e Machado-MG, nas coordenadas 21°45'00''S, 45°00'00'' W; e 21°40'53''S, 45°56'26''W; altitudes de 918.84 metros e 873.35 metros, respectivamente (a área de estudo se encontra entre essas duas estações).

Considerando que o cafeeiro inicia seu processo produtivo, economicamente viável, entorno de dois anos após o plantio e sendo o último plantio da fazenda datado do ano de 2006, utilizou-se no estudo, dados entre anos safras de 2009 a 2013.

As séries de EVI e de precipitação foram adquiridas via download, por meio do site do INPE. Estes dados foram coletados na forma de pixel e em seguida selecionados (dentro da área de estudo), somente os pixels que realmente possuíam café, para que não houvesse mistura de valores com outros alvos (Figura 5).

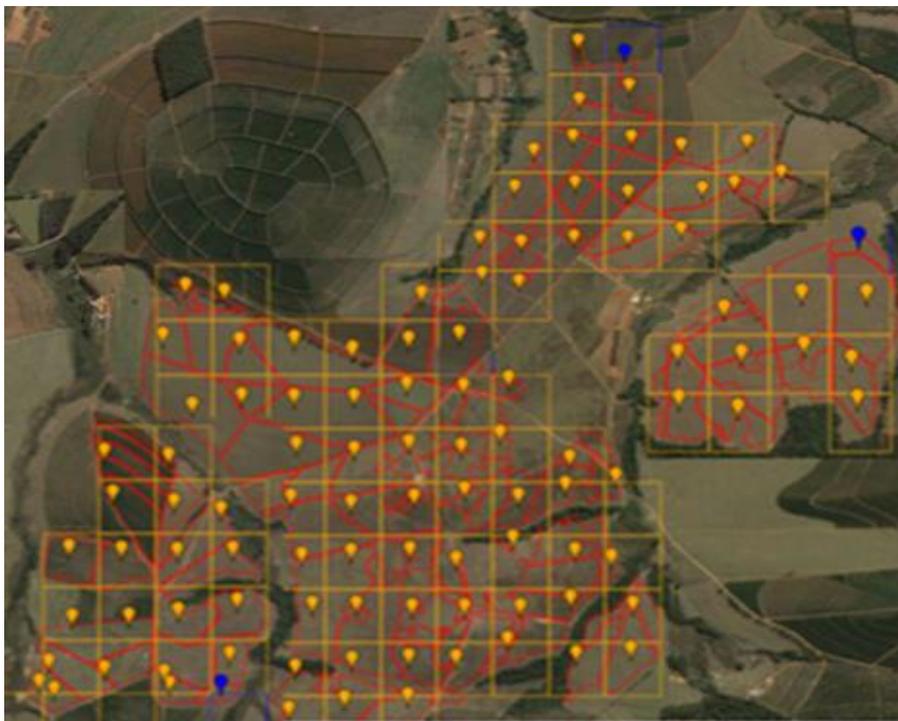


Figura 5 Coleta dos dados no series view/INPE

Os dados de evapotranspiração também foram adquiridos, por meio do site do NTSG. Estes dados já se encontravam distribuídos na forma de planilhas em pastas para cada ano.

Após a coleta e seleção dos dados obtidos no INPE e NTSG, foi criado um banco de dados de EVI, precipitação pluvial, evapotranspiração e produtividade. Feito isso, foram geradas as curvas espectrais com valores de EVI para cada cultivar de café presente na área, juntamente com os dados de precipitação. Criou-se assim, uma assinatura espectral, para um intervalo de tempo de 5 anos, compreendido entre os anos safra de 2009 a 2013, para cada talhão da lavoura.

Após a criação das curvas espectrais, foi calculado o índice de Umidade a partir de dados de precipitação e evapotranspiração. Além do índice, também

foram realizadas estatísticas descritivas, como: média mensal e anual e somatório (acumulado) mensal e anual (ano safra), para as variáveis estudadas EVI2 (suavizado); Evapotranspiração; e Índice de Umidade. O índice e as estatísticas descritivas são descritos a seguir:

3.3.1 Índice de Umidade

Com base nos dados do balanço hídrico (precipitação e evapotranspiração), foi gerado o Índice de Umidade (IU), a partir do modelo de Thornthwaite (1948) apud Alves et al. (2013). O IU é descrito pela equação 3:

$$IU = \left(\frac{P}{ET} - 1 \right) * 100 \quad (3)$$

em que, P são valores de pixel de precipitação TRMM, no mesmo mês e ou ano, e ET são os valores de evapotranspiração, no mesmo mês e ou ano, ambos a partir dos registros de precipitação da série estudada (2009-2013). Sendo o IU, a relação expressa em percentagem entre o excesso de água e a evapotranspiração potencial.

3.3.2 Estatísticas descritivas

3.3.2.1 Geração índices anuais

O cálculo para geração dos índices anuais, foi feito somando-se todos os valores e dividindo-se pelo número total de observações (média). Desta forma, dado um conjunto de n observações x_1, x_2, \dots, x_n , a média aritmética simples é definida como (equação 4):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = 1/n \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

No caso deste estudo a média foi calculada para as variáveis EVI2, Evapotranspiração e Índice de Umidade, com observações mensais e anuais.

3.3.2.2 Determinação das variáveis em escala mensal

No estudo, as variáveis foram ajustadas em uma escala mensal, desta forma foram calculados os somatórios para as variáveis EVI2, Evapotranspiração e Índice de Umidade. Para compreender as propriedades do somatório, basta lembrar as propriedades da adição (equação 5).

$$\sum_{i=1}^n k = k + k + \dots + k = nk \quad (5)$$

Após a realização dos cálculos, as variáveis foram submetidas a uma análise de correlação e regressão, e juntamente com os cálculos foram confeccionados os mapas de representação para as variáveis estudadas (Produtividade, EVI2, Precipitação, Evapotranspiração e Índice de Umidade). Foram utilizados no desenvolvimento do estudo o software gratuito QuantumGis 2.2.0 e o EXCELL®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 6 apresenta, o comportamento espectral com valores de EVI suavizado para as cultivares de café encontradas em cada talhão, na área de estudo. Observa-se pela figura 6, que houve uma similaridade entre o comportamento espectral para todas as cultivares presentes na área, para a série de EVI suavizada. Segundo Jiang et al. (2008), a partir da análise dos perfis temporais suavizados é possível fazer o reconhecimento do padrão espectral da cultura ao longo do tempo, no caso deste estudo a partir do período em que a cultura inicia seu processo produtivo economicamente viável.

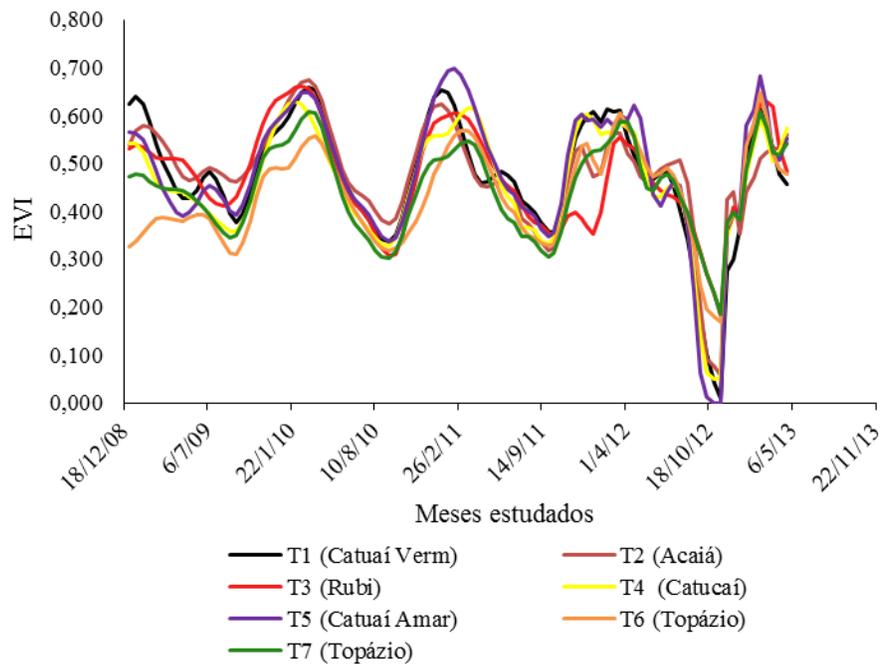


Figura 6 Série Temporal EVI suavizado da área de estudo no período de abril de 2009 a maio de 2013

A figura 7 apresenta a distribuição da precipitação em mm, onde foi possível observar que os dados de precipitação obtidos do sensor TRMM, foram

similares aos dados de precipitação das estações meteorológicas convencionais (validação).

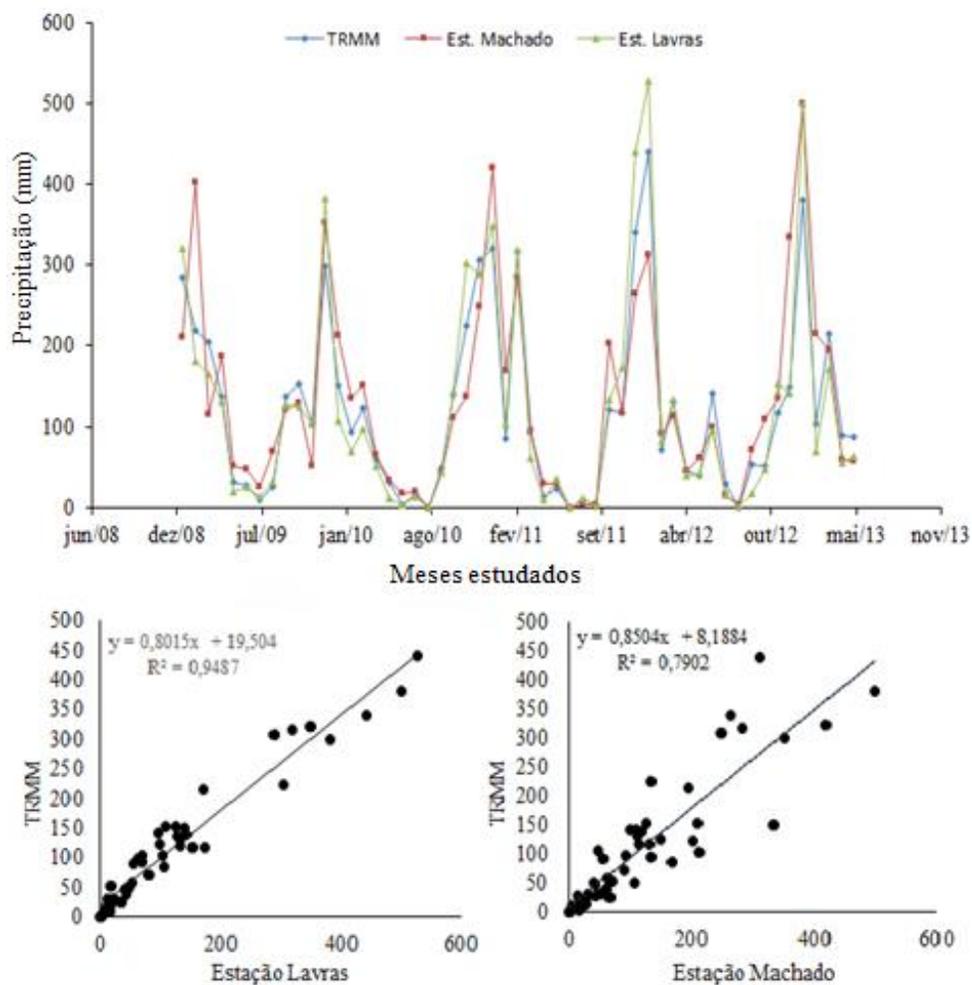


Figura 7 Distribuição Temporal (topo) e Regressão Linear da Precipitação (mm) do sensor TRMM e das estações meteorológicas de Lavras - MG e de Machado – MG, na área de estudo entre os anos de 2009 a 2013 (inferior)

A análise de regressão, apresentou um coeficiente de determinação (R^2), de 94,87% entre o TRMM e a estação de Lavras, e de 79,02% para a regressão

entre os dados do TRMM e a estação de Machado. Desta maneira, 94,87% e 79,02% da variação ocorrida nos dados TRMM, se devem a variações da precipitação das estações meteorológicas. Portanto, os dados de precipitação do sensor TRMM se ajustam aos dados das estações convencionais.

Contudo, o café sendo uma cultura perene, a série temporal EVI mostrou que os pixels selecionados nos talhões de café apresentaram grande variação nos anos (figura 6). Dados de EVI, atingiram valores máximos e mínimos nos meses de março/abril e em agosto/setembro, o que representa o fim dos períodos de estação chuvosa e seca na região de estudo, respectivamente. Houve queda brusca do EVI nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2012, para os talhões 1, 2, 4 e 5 (figura 3), devido ao manejo de poda adotado nos mesmos.

Observou-se, ainda nas series temporais do EVI, que os valores mínimos corresponderam a períodos de pós-colheita da lavoura, quando as plantas perderam parte de suas folhas durante a colheita, que no caso da área de estudo foi realizada de forma semi-mecanizada e mecanizada. Bernardes et al. (2012), em estudos sobre índices de vegetação no cafeeiro, afirmaram que além do clima, o efeito sazonal de redução da biomassa de lavouras de café, os baixos valores encontrados para NDVI e EVI também foram causados pela prática da colheita.

Realizada a regressão entre o EVI médio mensal e a precipitação média mensal no período estudado (figura 8), observa-se um comportamento linear entre as variáveis, embora apresentar-se com um r^2 baixo, existe dependência da variável EVI em relação a variável precipitação. A dispersão nos dados observados, se deu devido a interferência da irrigação na área de estudo.

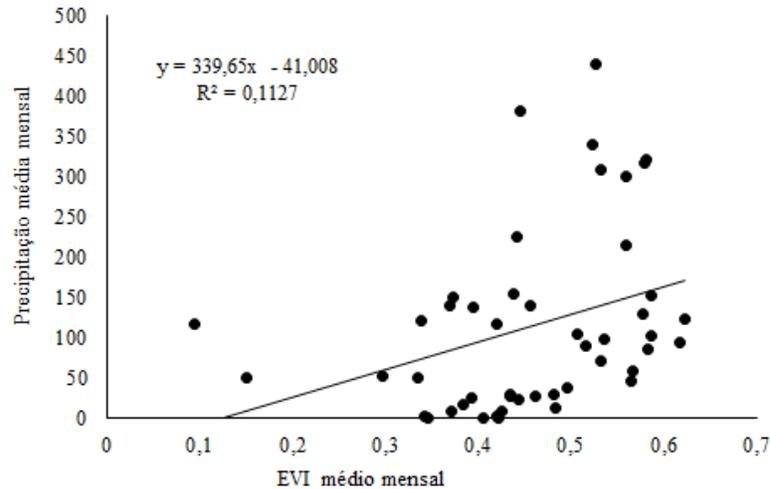


Figura 8 Relação linear entre valores observados de EVI médio mensal e Precipitação média mensal para o período de 2009 a 2013

Comparando as figuras 6 e 7 observa-se que, a série de EVI mostra resposta ao comportamento da precipitação, ou seja, nos períodos mais secos os valores de EVI são menores, e em períodos mais chuvosos os valores de EVI são maiores, ressaltando ainda que os picos mínimos de EVI correspondentes a períodos de pós colheita.

Em estudos sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul, Kuplich, Moreira e Fontana (2013), perceberam também que o EVI manteve um padrão temporal, geralmente com valores decrescentes do verão (janeiro) até o final do inverno (setembro) quando se iniciou a primavera, a partir daí os valores aumentaram novamente. Couto Junior, Carvalho Junior e Martins (2012), em trabalhos de sucessão de culturas entre soja e milho, também notaram que os valores de NDVI e EVI inferiores caracterizaram o comportamento dos índices durante as estações secas ao longo dos anos estudados, e, conseqüentemente, os valores mais elevados, representaram o comportamento das estações chuvosas dentro do intervalo avaliado.

No mapa de produtividade (figura 9), observa-se que no período estudado, a produtividade de cada talhão variou de um ano para o outro, ou seja, em um ano houve uma maior produtividade e no outro ano, menor produtividade resultante do efeito da bienalidade do cafeeiro. A tabela 7 apresenta a produtividade em sacas/hectare dos talhões experimentais. Silva et al. (2010) constataram em seus estudos, correspondência direta da variabilidade espacial de plantas com maior produtividade e maior desfolha no mesmo ano, bem como correspondência inversa em anos distintos, caracterizando a bienalidade da produtividade da cultura do café ao longo do espaço e do tempo.

Tabela 7 Produtividade (sacas/ha⁻¹) dos talhões experimentais

Talhão*	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013
1	55,91	4,44	62,14	0,00
2	38,46	49,56	2,63	47,12
3	60,39	4,36	60,27	31,40
4	24,34	41,65	29,31	31,76
5	35,82	37,66	43,51	30,12
6	38,10	45,77	28,94	43,34
7	36,38	60,33	36,69	54,03

*Representado na figura 3



Figura 9 Produtividade das cultivares de café presentes nos talhões da área de Estudo, para os anos safras de 2009 a 2013

Relacionando os dados da produtividade com EVI acumulado anual e EVI médio anual respectivamente, para o ano 2010/2011, observou-se que houve correlação ($p < 0,05$) inversa ($r = - 0,4058$; $p = 0,036$) e ($r = - 0,4059$; $p = 0,036$) indicando que os aumentos positivos na produtividade do ano anterior (2009/2010), resultaram em uma diminuição nos valores do índice de vegetação, o que indica uma maior perda de folhas após a colheita em anos de alta produção de cultura (BERNARDES et al., 2012).

Observou-se ainda correlação significativa ($p < 0,05$) entre produtividade do ano de 2012 e EVI médio mensal, para os meses de: agosto ($r = 0,8017$; $p = 0,030$); setembro ($r = 0,9232$; $p = 0,003$); e outubro ($r = 0,8870$; $p = 0,008$) do ano safra de 2011/2012, e também entre a produtividade de 2013 com mês de dezembro ($r = 0,8287$; $p = 0,021$) do ano safra 2012/2013. As figuras 10 e 11 mostram, a análise de regressão entre dados observados de produtividade e EVI médio mensal; e a distribuição espacial do EVI para os meses correlacionados, respectivamente.

Como a correlação entre o EVI e produtividade, foi positiva para os meses supracitados, partiu-se para o cálculo da regressão para a criação de um possível modelo para previsão de produtividade. Na figura 10, é possível perceber uma relação linear, ou seja, uma dependência da variável produtividade em relação a variável EVI, possivelmente devido a influência do EVI no processo fotossintético da planta. Assim sendo, para meses ou anos com valores de EVI mais elevados, esperam-se maiores produtividades.

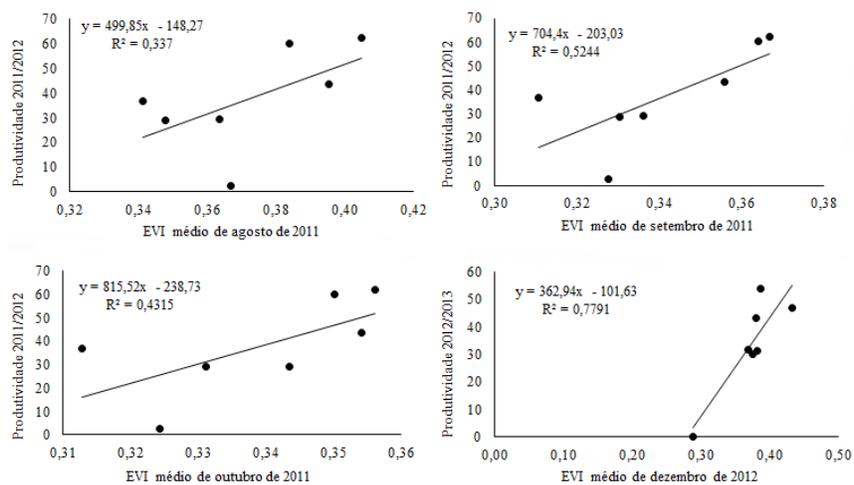


Figura 10 Relação Linear entre valores observados de EVI médio mensal dos meses de agosto, setembro, outubro de 2011, dezembro de 2012; e produtividade de 2011/2012 e 2012/2013 para cada cultivar de café, em cada talhão presente na área de estudo

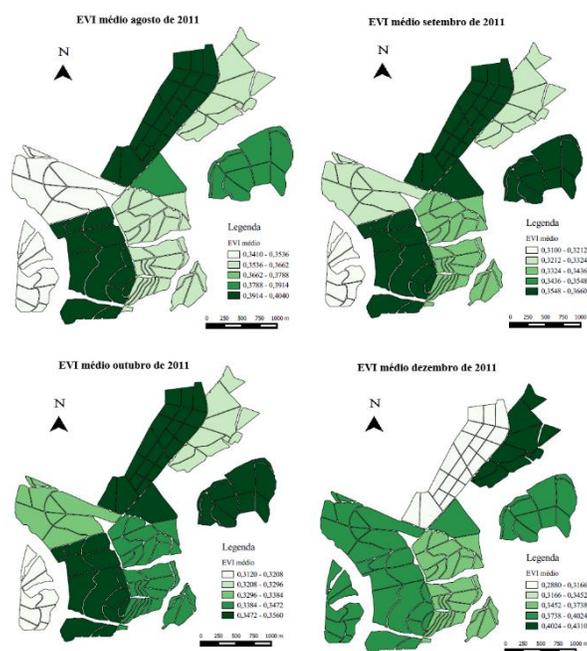


Figura 11 Distribuição espacial do EVI médio dos meses de agosto, setembro e outubro de 2012 e dezembro de 2013

As figuras 12 e 13 mostram a distribuição temporal do índice de umidade e evapotranspiração para as cultivares presente em cada talhão (figura 3), respectivamente. Observa-se pelas figuras 12 e 13, que nos períodos chuvosos os índice e a evapotranspiração foram maiores do que nos períodos de seca. Observa-se também que as cultivares se comportam de forma semelhante umas das outras.

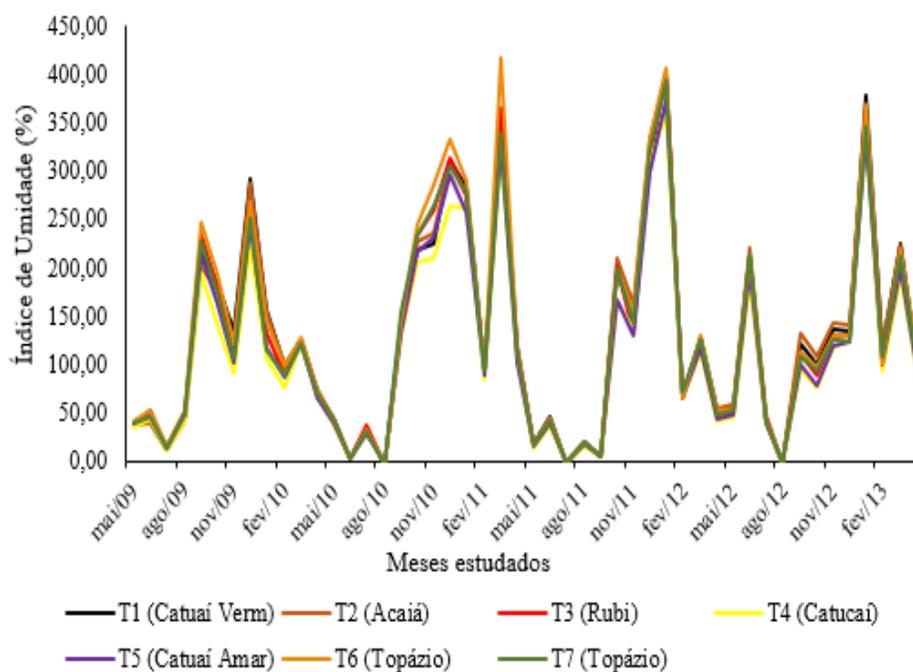


Figura 12 Distribuição temporal do índice de umidade mensal (%), para cada cultivar de café presente em cada talhão na área de estudo, entre os anos de 2009 a 2013

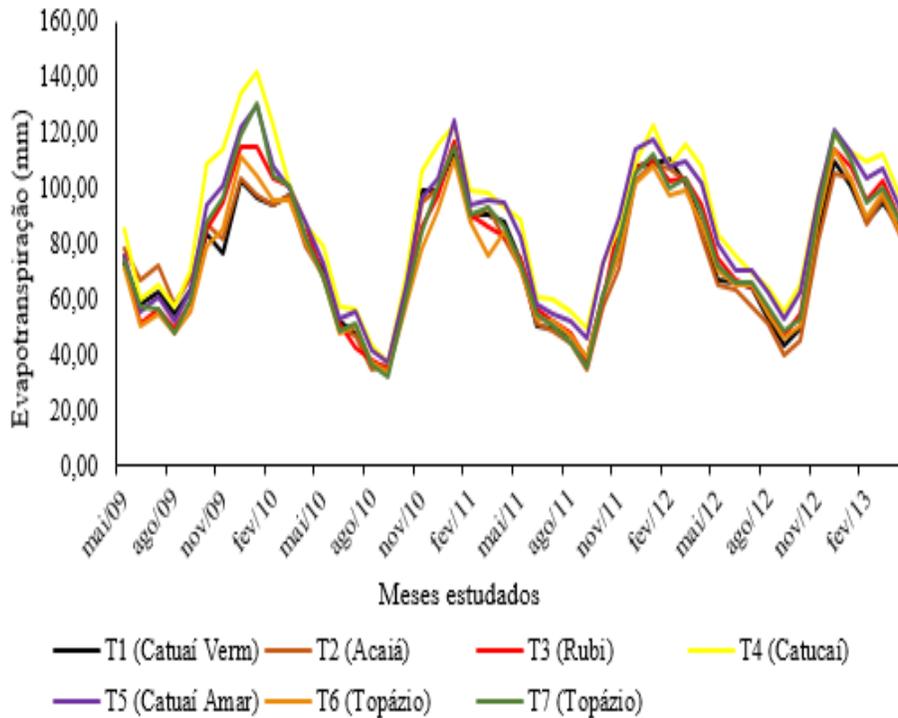


Figura 13 Distribuição temporal da evapotranspiração mensal (mm), para cada cultivar de café presente em cada talhão na área de estudo, entre os anos de 2009 a 2013

As figuras 14 e 15 apresentam, para o período estudado, a distribuição espacial do índice de umidade anual e da evapotranspiração anual, respectivamente. Observa-se pelas figuras 14 e 15 que as duas variáveis se apresentam de forma semelhante para os talhões e cultivares em todo o período.

Realizada a regressão (figura 16), foi possível observar uma dependência do Índice de Umidade e da Evapotranspiração em função dos valores de EVI observados para o período estudado, ou seja, quanto maior os valores observados de EVI, maiores os valores do Índice de Umidade e Evapotranspiração. Em relação a dispersão nos dados observados nas regressões, essa se deu também devido a interferência do uso da irrigação.

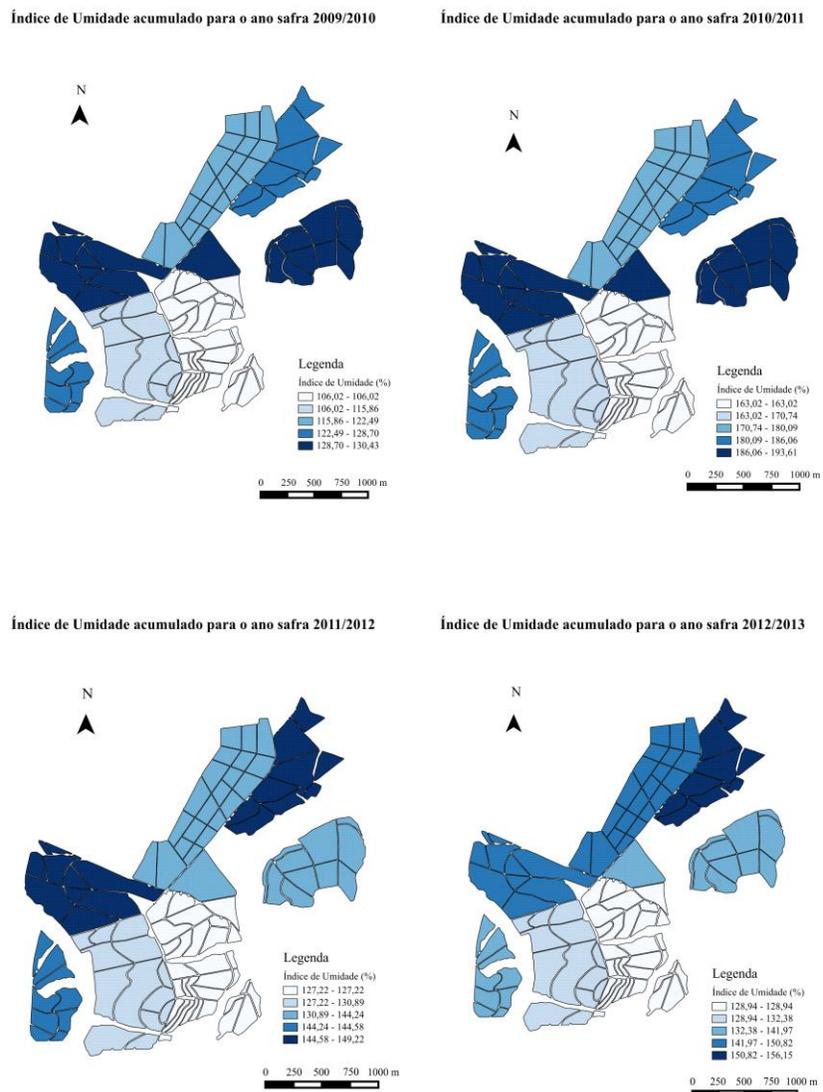


Figura 14 Distribuição do índice de umidade acumulado anualmente, para cada talhão presente na área de estudo no período de 2009 a 2013

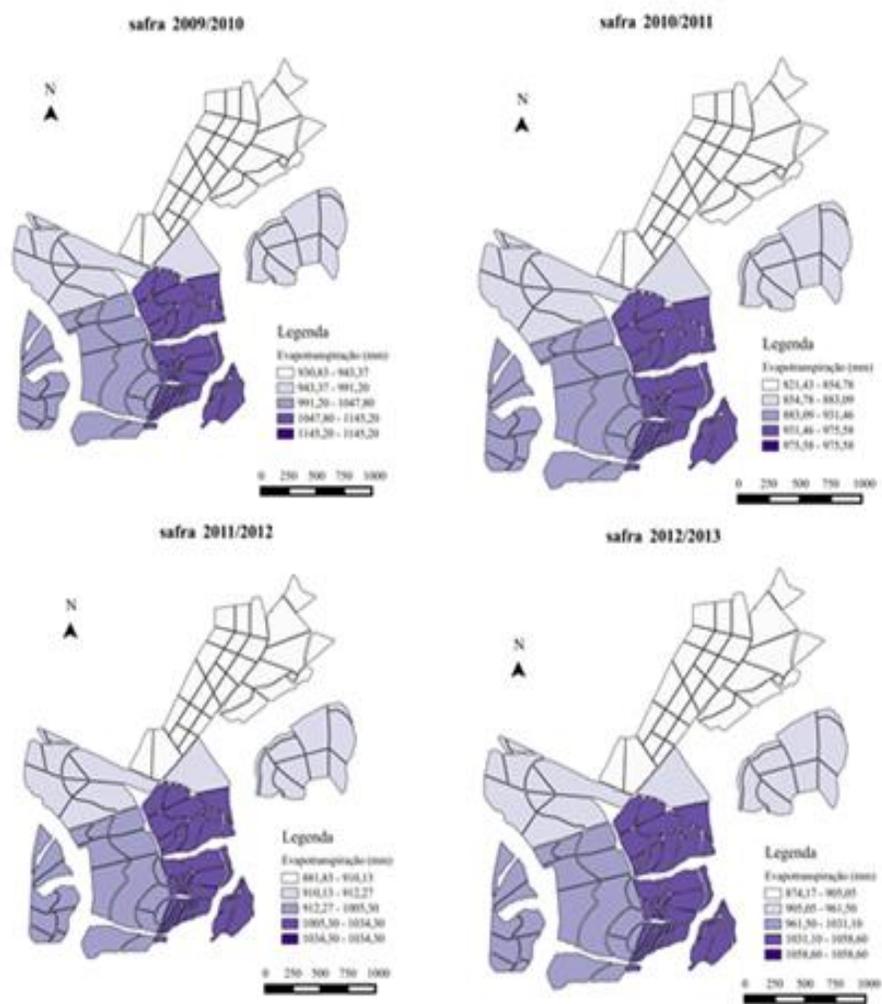


Figura 15 Distribuição da evapotranspiração acumulada anualmente, para cada talhão presente na área de estudo no período de 2009 a 2013

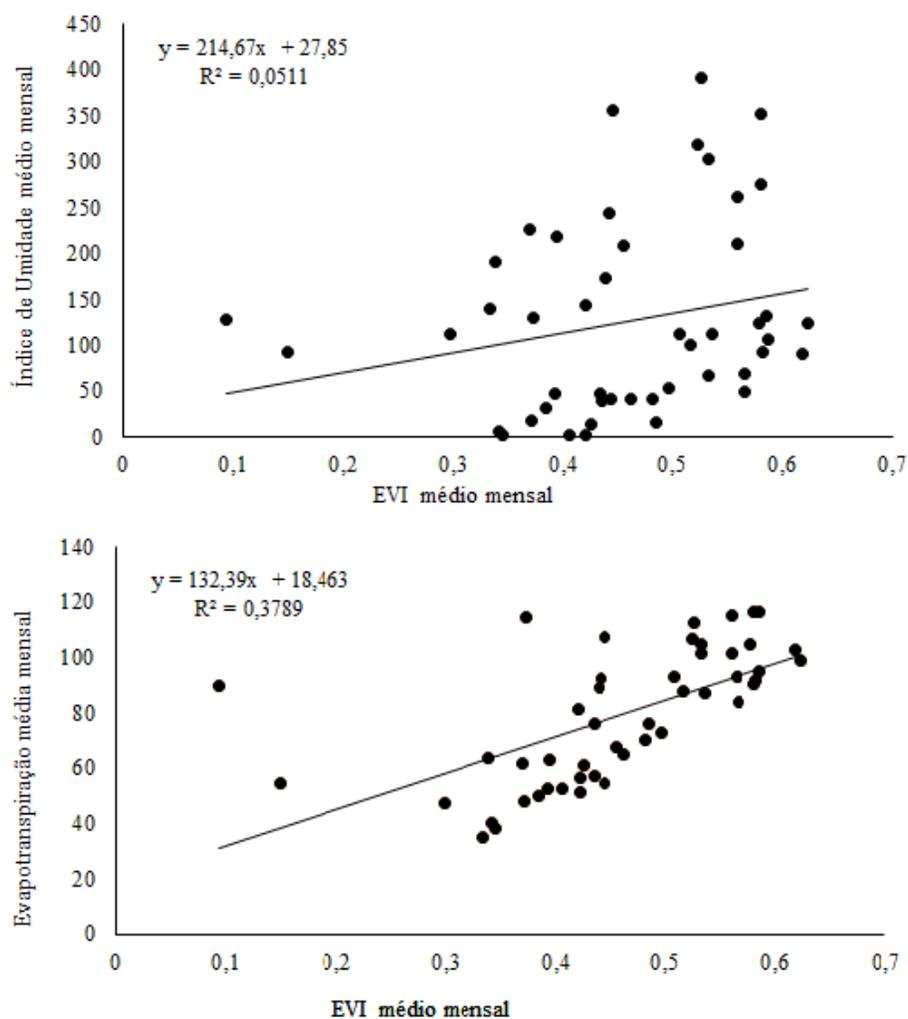


Figura 16 Relação linear entre valores observados de Índice de umidade médio mensal e EVI médio mensal (topo), e relação linear entre valores observados de Evapotranspiração média mensal e EVI médio mensal (inferior) para cada talhão presente na área de estudo no período de 2009 a 2013

5 CONCLUSÃO

Com este estudo, foi possível observar que a precipitação apresentou relação direta com o EVI, e por sua vez, a variável EVI teve efeito na produtividade, sendo ainda a bienalidade um fator determinante na produtividade da lavoura. Percebeu-se também que as variáveis índice de umidade e evapotranspiração não interferiram diretamente na produtividade, mas influenciaram a variável EVI. Portanto, a resolução espacial dos produtos MODIS, foram satisfatórias em partes, para o diagnóstico na cafeicultura de Precisão.

Embora, o termo Cafeicultura de Precisão tenha sido aplicado até o momento em dados georreferenciados na forma de malhas, este estudo apresentou uma nova perspectiva de mapeamento, abordando o gerenciamento da propriedade com o uso de talhões delimitados por polígonos que representam a área na lavoura, essa nova abordagem pode facilitar a obtenção de dados médios por talhão e a representação de toda a propriedade de uma forma menos detalhada do que a malha, porém de fácil aplicação pelo produtor rural.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização de estudos futuros, em áreas de sequeiro e com a utilização de produtos com melhores resoluções espaciais, a abordagem de áreas pode trazer novas respostas em relação aos resultados obtidos nesse estudo realizado em áreas irrigadas. Recomendando-se ainda, um estudo comparativo com estudos em malhas, para essa nova perspectiva de mapeamento por talhões.

7 REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. A. **Monitoramento da área colhida de cana-de-açúcar por meio de imagens do sensor Modis**. 2007. 99 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José Dos Campos, 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.11.18.56>>. Acesso em: 19 nov. 2013.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVES, E. A. et al. **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa: Editora da UFV, 2006. 234 p.

ALVES, M. de C. et al. Geostatistical improvements of evapotranspiration spatial information using satellite land surface and weather stations data. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 113, n. 1, p. 155-174, July 2013.

ALVES, M. E. B. **Respostas do cafeeiro (Coffea arábica L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação**. 1999. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

ALZUGARAY, D.; ALZUGARAY, C. **Flora brasileira**. São Paulo: Três Livros e Fascículos, 1984. 152 p.

ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor Modis**. 2004. 247 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

ANDERSON, L. O. et al. **Sensor Modis: uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE, 2003. 53 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=38>>. Acesso em: 18 nov. 2013.

BALASTREIRE, L.A. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de café (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

BARROS, I. **Produção das variedades Caturra e Mundo Novo de café em função do espaçamento, número de plantas por cova e condução das plantas.** 1997. 82 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

BERNARDES, T. et al. Monitoring biennial bearing effect on coffee yield using MODIS remote sensing imagery. **Remote Sensing**, New York, v. 4, n. 9, p. 2492-2509, Aug. 2012.

BISPO, R. C. **Utilização de dados do sensor Modis no monitoramento e mapeamento da cultura do café.** 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

BRITO, P. L. C.de, ALVES, A. C. de B.; SOUZA, C. F. Precipitação mensal e anual via TRMM no semi-árido alagoano em 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: [s.n.], 2011. p. 01-19.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, mar. 2001.

CAMARGO, M. B. P.; FAHL, J. I. Seca afeta produção de café deste ano e pode comprometer safra futura. **Folha Rural**, Guaxupé, n. 278, p. 10-11, 2001.

CLIMA: Campos Gerais – MG. **Climate-Date**, [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/716762/>>. Acesso em: 11 dez. 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da safra agrícola cafeeira:** segunda estimativa, maio/2013. Brasília: Conab, 2013, 20 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_05_14_09_35_12_boletim_cafe_mai_2013.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2014.

CONTIN, F. S. et al. Produtividade do cafeeiro irrigado por diferentes sistemas de irrigação na região da Zona de Mata de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 7., 2005, Araguari. **Anais...** Uberlândia: UFU/DEAGRO, 2005. p. 26-29.

COUTO JUNIOR, A. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de; MARTINS, E. de S. Séries temporais MODIS aplicadas em sucessão de culturas de soja (GLYCINE MAX (L.) MERRILL) e milho (ZEAMAYS L.) em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 64, p. 405-418, jun. 2012.

CUSTÓDIO, A. A. P. et al. Incidência do bicho-mineiro do cafeeiro em lavoura irrigada sob pivô central. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 16-26, jan./jun. 2009.

DEMITTE, P. R.; FERES, R. J. F. Ocorrência e flutuação populacional de ácaros associados a seringais vizinhos de fragmentos de cerrado. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 117-127, jan./fev. 2007.

DU, L. et al. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 23, p. 245-253, Aug. 2013.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, jun. 1996.

EPIPHANIO, J. C. N.; LEONARDI, L.; FORMAGGIO, A. R. Relações entre parâmetros culturais e resposta espectral de cafezais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 439-447, mar. 1994.

ESQUERDO, J. C. D. M. **Utilização de perfis multi-temporais do NDVI/AVHRR no acompanhamento da safra de soja no Oeste do Paraná**. 2007. 186 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

FAHL, J. I. et al. **Instruções agrícolas para o estado de São Paulo**. 6. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1995. 62 p.

FARIAS, S. E. M. de et al. Avaliação das estimativas de precipitação do satélite TRMM para o Estado de Goiás: uma abordagem climatológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s.n.], 2013. p. 1938-1944.

FERRAZ, G. A e S. **Cafeicultura de precisão: malhas amostrais para o mapeamento de atributos do solo, da planta e recomendações**. 2012. 129 p. Tese

(Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FERRAZ, G. A. e S. **Cafeicultura de precisão: análise econômica e uso da geoestatística**. 2010. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

FILETTO, F.; ALENCAR, E. Introdução e expansão do café na região sul de Minas Gerais. **Organizações Rurais e Agroindustriais: revista de administração da UFLA**, Lavras, v. 3, n. 1, art. 5, jan./jul. 2001.

FLEMING, K. et al. Evaluating the TRMM 3B43 monthly precipitation product using gridded raingauge data over Australia. **Australian Meteorological and Oceanographic Journal**, Melbourne, v. 61, n. 3, p. 171-184, Oct. 2011.

FRANCO, R. A. et al. Dinâmica populacional de *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro e de fitoseídeos associados a ele. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 38-46, jan./jun. 2008.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, Nov. 2002.

HUETE, A. R. et al. A Comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 59, n. 3, p. 440-451, Mar. 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&c=1613>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

JAIN, S. K. et al. Identification of drought-vulnerable areas using NOAA AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, New York, v. 30, n. 10, p. 2653-2668, June 2009.

JAKUBAUSKAS, M. E.; LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 37, n. 1, p. 127-139, Dec. 2002.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005. 526 p.

JIANG, X. et al. Analysing the vegetation cover variation of China from AVHRRNDVI data. **International Journal of Remote Sensing**, New York, v. 29, n. 17, p. 5301-5311, 2008.

JUSTICE, C. O. et al. An overview of MODIS land data processing product status. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, n. 1-2, p. 3-15, Nov. 2002.

JUSTICE, C. O. et al. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 36, n. 4, p. 1228-1247, July 1998.

KOGAN, F. N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 76, n. 5, p. 621-636, May 1995.

KUMMEROW, C. et al. The status of the rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 39, n. 12, p. 1965-1982, Dec. 2000.

KUMMEROW, C. et al. Tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, Boston, v. 15, p. 809-817, June 1998.

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**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1116-1123, out. 2013.

LEONARDI, L. **Influência de parâmetros culturais de cafezais sobre os dados TM/Landsat-5**. 1990. 171 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1990.

LEONARDI, L.; EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Aspectos da relação entre parâmetros culturais do café e a resposta espectral do dossel cafeeiro. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 5., 1991, Cusco. **Memórias...** Cusco: Selper, 1991. p. 55-66.

LIU, W. T. H.; LIU, B. W. Y. Comparação entre três modelos de previsão de safra de café no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 40, n. 8, p. 801-807, 1988.

MANTOVANI, E. C. A irrigação do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. **Irrigação & tecnologia moderna**: volume 48. Brasília: ABID, 2000. p. 45-49.

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

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. **Variedades de café**: como escolher, como plantar. Rio de Janeiro: MAA/PROCAFE, 1997. 64 p.

MEIRELES, E. J. L. et al. **Fenologia do cafeeiro**: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2004-2005. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 128 p.

MELLO, E. V. Cafeicultura no Brasil. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: Editora da UFV, 2001. p. 565-646.

MELO, B.; BARTHOLO, G. F.; MENDES, A. N. G. Café: variedades e cultivares. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 92-96, 1998.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Economia cafeeira**: o agribusiness. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 59 p.

MENDONÇA, R. F. de et al. Abordagem sobre a bienalidade de produção em plantas de café. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1-9, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Informe estatístico do café**. Brasília: MAPA, 2013.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. Viçosa: Editora da UFV, 2003. 307 p.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 223-231, mar. 2004.

MOREIRA, M. A.; ASSUNÇÃO, G. V. **Princípios básicos, metodologias e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura**. São Jose dos Campos: INPE, 1984. 64 p.

MU, Q. et al. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 111, n. 4, p. 519–536, Apr. 2007.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Modis Images. Disponível em: <<http://modis-land.gsfc.nasa.gov/surfrad.htm> e <http://modisland.gsfc.nasa.gov/vi.htm>>. Acesso em: 17 nov. 2013.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, 1989. 308 p.

OLIVEIRA, A. C. B. de.; PEREIRA, A. A. **Cultivares de café arábica desenvolvidas pela EPAMIG**. Brasília: CAFEPOINT, 2008. Disponível em: <<http://www.cafepoint.com.br/radares-tecnicos/variedades-de-cafe/cultivares-de-cafe-arabica-desenvolvidas-pela-epamig-47444n.aspx>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

OLIVEIRA, F. J. **Cultura do cafeeiro**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 1998. 151 p.

OLIVEIRA, L. F. C. de et al. Coeficiente de cultura e relações hídricas do cafeeiro, cultivar catuaí, sob dois sistemas de manejo da irrigação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 154-162, set. 2007.

PÁDUA, T. S. **Espaçamento econômico na cultura do cafeeiro (Coffea arábica L.)**: um estudo no Sul de Minas Gerais. 1998. 62 p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

PASSOW, M. J. TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission: bringing remote sensing of precipitation. **Terrae Didactica**, Campinas, v. 6, n. 1, p 03-08, ago. 2010.

PEREIRA, R. V.; FERREIRA, M. F. M. Levantamento físico-geográfico do município de Campos-Gerais. In: JORNADA CIENTÍFICA DA GEOGRAFIA, 2., 2010, Alfenas. **Anais...** Alfenas: UNIFAL, 2010. p. 01-04.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R., MADEIRA NETTO, J. S. (Org.). **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora da UNB, 2001. p. 157-199.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 26-40, 1985.

ROBERTS, D. A. et al. Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 65, n. 3, p. 267-279, Sept. 1998.

ROERINK, G. J.; MENENTI, M.; VERHOEF, W. Reconstructing cloudfree NDVI composites using fourier analysis of time series. **International Journal of Remote Sensing**, New York, v. 21, n. 9, p. 1911-1917, Sept. 2000.

ROLIM, G. S. et al. Classificação climática de Koppen e de Thornthwaithe e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

ROMERO, J. P.; ROMERO, J. C. P. **Cafeicultura prática**: cronologia das publicações e dos fatos relevantes. São Paulo: Ceres, 1997. 400 p.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2003. 228 p.

ROSENDO, J. dos. S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS**. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. California: Wadsworth Publishing Company, 1991. 682 p.

SALOMONSON, V. V.; BARKER, J. K. EOS execution phase (C/D) spectral band characteristics of the EOS Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS-N) facility instrument. **Advances in Space Research**, Oxford, v. 11, n. 3, p. 231-236, 1990.

SANTOS, J. A. dos et al. Multiscale classification of remote sensing images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 50, p. 3764-3775, 2012.

SARMIENTO, C. M. **Mapeamento e caracterização de áreas cafeeiras utilizando imagens de alta resolução espacial**. 2014. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 29, n. 1, p. 16-20, Jan. 1991.

SILVA, A. M. da et al. Produtividade, rendimento de grãos e comportamento hídrico foliar em função da época, parcelamento e do método de adubação do cafeeiro catuai. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 434-40, set./dez. 2003.

SILVA, F. M. da et al. Efeito da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 625-632, maio/jun. 2010.

SILVA, R. A. et al. Flutuação populacional de adultos de *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) em cafeeiros conduzidos em sistema orgânico e convencional. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, San José, n. 77, p. 44-49, 2006.

SILVA, S. de M. **Competitividade do agronegócio do café na Região Sul de Minas Gerais**. 1998. 125 p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

SOUZA, F. de F. et al. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa, 2004. 26 p.

TARDIN, A. T. I.; ASSUNÇÃO, G. V.; SOARES, J. V. Análise preliminar de imagens TM visando a discriminação de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas - MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 9, p.1355-1361, set. 1992.

TRABAQUINI, K. et al. Estudo do ambiente físico do cafeeiro utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto no norte do Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, 2009. p. 515-522.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca da UFLA. **Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCC, monografias, dissertações e teses**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. 84 p. Disponível em: <<http://www.biblioteca.ufla.br/site/index.php>>. Acesso em: 15 dez. 2013.

VIANA, D. R.; FERREIRA, N. J.; CONFORTE, J. C. Avaliação das estimativas de precipitação 3B42 e 3B43 do satélite TRMM na Região Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, 2010. 1 CD-ROM.

VICENTE, M. R. et al. Efeito da irrigação e do posicionamento dos gotejadores (superficial e subsuperficial) na produtividade de cafeeiros na região do cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003. Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 124-125.

VIEIRA, T. G. et al. Crop parameters and spectral response of coffee (*Coffea arabica* L.) areas within the state of Minas Gerais, Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 111-118, jul./dez. 2006.