



CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO-TEMPORAL DE UMA LAVOURA DE CAFÉ CONILON EM IMAGENS LANDSAT

Danilo Ferreira Mendes¹, Jéferson Luiz Ferrari², João Batista Esteves Peluzio², Maria Christina Junger Delôgo Dardengo², Telma Machado de Oliveira Peluzio² Samuel Ferreira da Silva³

1. Tecnólogo em Cafeicultura, Instituto Federal do Espírito Santo, IFES - Campus Alegre, Alegre - ES, Brasil.
2. Professor do Instituto Federal do Espírito Santo, IFES - Campus de Alegre, Alegre - ES, Brasil.
3. Doutorando em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre - ES, Brasil (samuelfd.silva@yahoo.com.br).

Recebido em: 03/01/2014 – Aprovado em: 04/04/2014 – Publicado em: 12/04/2014

RESUMO

A disponibilidade de dados provenientes de sensoriamento remoto orbital trouxe expectativas nos meios acadêmico e profissional quanto à potencialidade de sua aplicação no setor agrícola, entre outros. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a aplicação de dados espectrais do sensor TM Landsat-5 na caracterização espectro-temporal de uma lavoura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). Os dados espectrais de *pixels* puros destes alvos, após correção geométrica, foram convertidos para valores de reflectância, os quais passaram a constituir os elementos fundamentais de todo o trabalho. Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foram também determinados para a caracterização espectro-temporal da lavoura de café, durante os seus três anos de cultivo (2008 - 2011). O monitoramento espectro-temporal da lavoura de café conilon revela que os valores de NDVI variaram de 0,333 (2008) a 0,480 (2011), o que exemplifica um estado crescente de vigor. A variação dos valores do NDVI acompanha a variação do vigor vegetativo dos cafeeiros.

PALAVRAS-CHAVE: agrofenologia do cafeeiro, índice de vegetação, sensoriamento remoto.

SPECTRUM - TEMPORAL CHARACTERISTICS OF A CROP OF COFFEE AT conilon LANDSAT IMAGES

ABSTRACT

The availability of data from remote sensing brought expectations in academic and professional media regarding the potential for its application in the agricultural sector, among others. This work was to evaluate the application of spectral data from Landsat - 5 TM sensor in the characterization of a spectro - temporal crop conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). The spectral data for pure pixels of these targets after geometric correction were converted to reflectance values, which were considered the fundamental elements of all work. Indices Normalized Difference Vegetation (NDVI) were also determined for the spectro - temporal characterization of

the coffee plantation during his three growing seasons (2008 - 2011). The spectro-temporal monitoring of crop Conilon shows that the NDVI values ranged from 0.333 (2008) 0.480 (2011), which exemplifies a state of increasing force. The range of values of NDVI follows the variation of the vigor of the trees.

KEYWORDS: remote sensing, agrofenologia of coffee, vegetation index.

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto é a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno sem que haja o contato físico, por meio de sistemas sensores capazes de detectar, quantificar e analisar a radiação eletromagnética (REM) refletida, absorvida, transmitida e/ou emitida por esses alvos (JENSEN, 2009).

De acordo com MOREIRA (2011), o sensoriamento remoto pode ser dividido em três níveis de coleta: terrestre, suborbital e orbital. Segundo PONZONI (2002), para a avaliação espectral da cobertura vegetal da superfície terrestre o nível orbital tem sido utilizado com maior frequência.

É chamado de orbital quando o sistema sensor fica distante cerca de 420 a 900 km da superfície de estudo, como é o caso do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat - 5 que desenvolve uma órbita circular e quase polar, sincronizada com o Sol, numa altitude de 705 km da superfície terrestre, imageou a superfície terrestre até novembro de 2011, produzindo imagens com 185 km de largura no terreno, resolução espacial de 30 metros e sete bandas espectrais, apresentando período de revisita de 16 dias (NASA, 2013; USGS, 2013).

Estudos de análise multitemporal considerando as características espectrais de alvos terrestres através das imagens de satélites vêm se intensificando cada vez mais (CARVALHO JÚNIOR et al., 2005). Informações obtidas a partir do comportamento espectral de alvos agrícolas podem ser úteis tanto para discriminar e quantificar esses alvos na paisagem local, como a sua utilização para trabalhos de monitoramento, como é o caso do monitoramento das fases fenológicas das culturas, o monitoramento da seca, o monitoramento de queimadas e a previsão de safras.

Sua utilização como indicador agro fenológico começou desde 1979 com os trabalhos de Turcker monitorando o cultivo de soja (TURCKER et al., 1979). MAATOUG et al. (2013), estudando o potencial do sensoriamento remoto orbital na dinâmica da vegetação em áreas agrícolas no Mato Grosso (MT), Brasil, verificaram também a possibilidade deste uso, entretanto adverte que, muitos dos dados de natureza ótica estão sujeitos as restrições especialmente em regiões tropicais devido a grande quantidade de nuvens.

Quando a REM incide sobre a superfície de um alvo terrestre ela pode sofrer três possíveis processos de interação: absortância, transmitância e reflectância. O comportamento espectral consiste na forma da interação da REM com a superfície terrestre revelando as propriedades das naturezas dos materiais (JENSEN, 2009). A Figura 1 ilustra esses três processos.

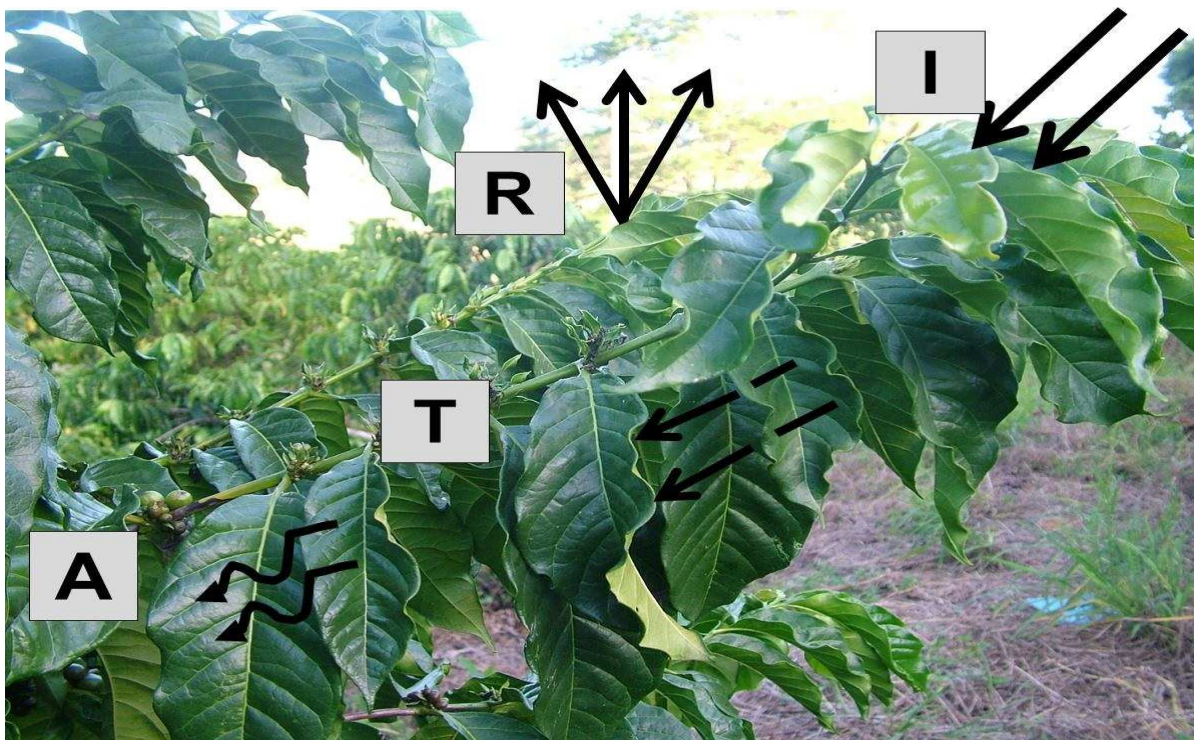


FIGURA 1. Interação da energia solar com a folha: radiação incidente (I), energia refletida (R), parte absorvida (A) e parte transmitida (T).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Sobre o comportamento espectral da vegetação é válido recordar que os vegetais realizam fotossíntese, processo este fundamentado na absorção de radiação eletromagnética por parte dos pigmentos fotossintetizantes como as clorofilas, xantofilas e carotenos (PONZONI & SHIMABUKURO, 2010). Estes autores explicam que essa absorção se dá na região do visível, principalmente na faixa do azul e do vermelho, podendo ocorrer tanto numa folha isolada como no conjunto de todas as copas da vegetação, chamado comumente de dossel vegetativo ou dossel da vegetação. Na região do infravermelho, no entanto, ocorre pequena absorção da radiação e considerável espalhamento da radiação.

Segundo ASSUNÇÃO (1989), entende-se como dossel da vegetação tudo aquilo que compõe a parte aérea de uma comunidade de plantas, e que esta envolvida diretamente com as interações da energia solar.

O dossel pode ser classificado em duas categorias: incompleto e completo. O dossel incompleto apresenta baixa porcentagem de cobertura do solo, ou seja, cultura agrícola no início do desenvolvimento vegetativo. O dossel completo corresponde à cobertura vegetal próximo de 100%. Entretanto, segundo MOREIRA (2011), certas culturas como citros e café, apresentam dosséis incompletos mesmo em condições de máximo desenvolvimento, devido ao espaçamento entre plantas.

Segundo VIEIRA et al. (2006), vários fatores podem afetar a resposta espectral do dossel de uma cultura, podendo citar: a umidade, o vigor vegetativo, a cobertura vegetal do substrato, o tipo de solo, a topografia, o espaçamento da cultura, a variedade, a idade da planta e as culturas intercalares, entre outros, fazendo com que a reflectância, num dado *pixel*, não seja originada só da planta em si, mas também desses diversos fatores citados anteriormente, podendo apresentar dessa forma resposta espectral bastante complexa.

Considerando a observação por meio de sensores remotos, EIPHANIO et al.

(1994) relatam que o café é muito heterogêneo, devido apresentar variabilidade nos parâmetros culturais que influencia a resposta espectral.

Vários trabalhos foram realizados e mostraram a importância da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da cafeicultura, demonstrando sua relevante importância na obtenção de informações que representam um avanço significativo no levantamento de dados (ALVES et al., 2003; BERTOLDO et al., 2003; MOREIRA et al., 2003). Porém, se tratando do café conilon, a literatura carece de informações que correlacionem os fatores biofísicos da cultura com a sua resposta espectral.

Uma das formas de obter informações sobre os parâmetros biofísicos da vegetação é por meio dos índices de vegetação (PONZONI & SHIMABUKURO, 2010). Na literatura são encontrados mais de 50 índices (MOREIRA, 2011), sendo que um dos mais utilizados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) proposto por ROUSE et al. (1974).

Estudos do sensoriamento remoto orbital provindos de imagens obtidas pelo sensor TM relacionados à fenologia do cafeeiro são escassos, o que justifica este trabalho.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o comportamento espectro-temporal do dossel de cafeeiros da espécie *Coffea canephora* Pierre, fazendo uma analogia com as suas diferentes fases fenológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

A lavoura escolhida fica localizada no distrito de Rive, município de Alegre, região Sul do estado do Espírito Santo, entre as coordenadas geográficas de 20°46'00" S 41°25'50" W, altitude de 135m (Figura 2).

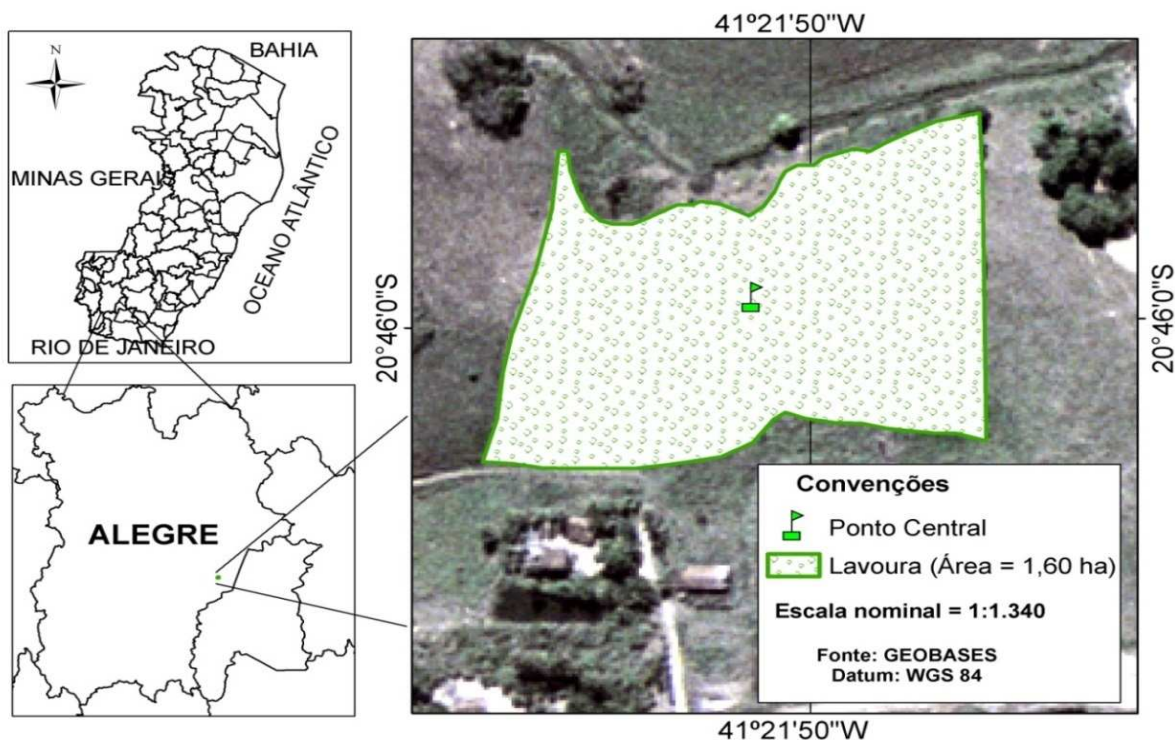


FIGURA 2. Localização da área de estudo em relação ao município de Alegre, estado do Espírito Santo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A lavoura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner), variedade EMCAPER 8151 – Robusta Tropical (FERRÃO et al., 2000), foi plantada em dezembro de 2008, no espaçamento de 2,30 x 1,75m, ocupando 1,6 ha. Atualmente possui quatro anos e 10 meses de idade e se encontra na fase de pós-florada (Figura 3).

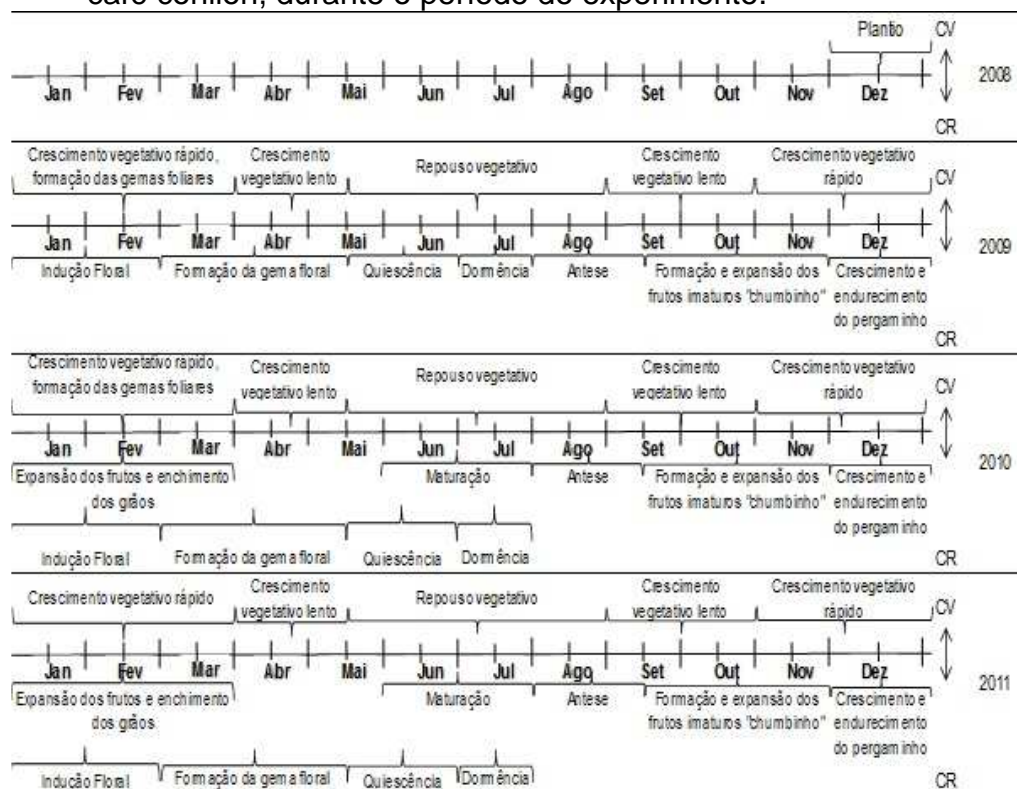


FIGURA 3. Fotografia ilustrativa da fase fenológica atual na lavoura estudada (Setembro, 2013).

Fonte: Elaborado pelos autores.

A cronosequência das fenofases vegetativas e reprodutivas da lavoura, com base em referências dos trabalhos realizados por MARCOLAN et al. (2009) e CASSARO et al. (2011), é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1. Cronosequência das fenofases vegetativas e reprodutivas da lavoura de café conilon, durante o período do experimento.



Nota: CV = Crescimento vegetativo; CR = Crescimento reprodutivo.

Fonte: Adaptado de MARCOLAN et al. (2009) e CASSARO et al. (2011).

Para a caracterização do comportamento espectro-temporal do cafeeiro nestas fases foram utilizadas imagens orbitais do sensor TM Landsat-5, disponibilizadas gratuitamente pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) da Coordenação Geral de Observação da Terra (OBT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br>.

A escolha por este satélite, lançado em 01 de Março de 1984, foi devido ao grande acervo de imagens disponibilizadas pelo INPE até a data em que foi estudado o comportamento do cafeeiro. Na Tabela 2 são apresentadas as resoluções das imagens do sensor TM Landsat-5.

TABELA 2. Resoluções das imagens do sensor TM Landsat-5.

Banda	Faixa espectral (μm)	Região do espectro	Resolução espacial (m x m)
TM-1	0,45 – 0,52	Azul	30 x 30
TM-2	0,52 – 0,60	Verde	30 x 30
TM-3	0,63 – 0,69	Vermelho	30 x 30
TM-4	0,76 – 0,90	IV próximo	30 x 30
TM-5	1,55 – 1,75	IV médio	30 x 30
TM-6	10,40 – 12,50	IV térmico	120 x 120
TM-7	2,08 – 2,35	IV médio	30 x 30

Fonte: Adaptado de DGI/INPE (2013).

A primeira etapa de estudo foi destinada a gerar um banco de dados digital das imagens TM Landsat-5 de quatro anos (2008, 2009, 2010 e 2011), sendo três datas de passagem para cada ano, referentes a órbita 216, ponto 74, para as bandas TM-3 (0,63 – 0,69 μm) faixa do vermelho e TM-4 (0,76 – 0,90 μm) faixa do infravermelho próximo (Tabela 3). No ano de 2008, utilizou-se somente uma data de passagem como referência, pois, coincide com a época em que o solo estava sendo preparado para o plantio.

TABELA 3. Informações referentes às imagens utilizadas.

Características	Datas de passagens/ano									
	2008	2009		2010			2011			
	16/out	10/abr	28/mai	03/out	28/mar	31/mai	04/set	11/fev	02/mai	23/set
Elevação solar	59,0815°	47,0169°	38,0319°	57,1731°	50,2063°	38,0464°	48,416°	55,6202°	43,0779°	53,866°
Azimute solar	72,966°	52,35°	38,4611°	64,114°	58,2902°	37,5783°	51,7307°	85,6705°	43,3293°	59,3763°
Cobert. de										
Nuvens	30%	10%	0%	10%	10%	0%	10%	10%	10%	10%
DDA* (dias)	290	100	148	276	87	151	247	42	122	266

Nota: DDA = dias julianos.

Fonte: Adaptado de DGI/INPE (2013).

A escolha da região de estudo exerce um papel decisivo no desenvolvimento e resultados do trabalho, principalmente por ser uma região de baixa altitude, apresentando uma área de aproximadamente 1,6 ha e quatro mil plantas.

A projeção cartográfica utilizada em todo o processamento foi à projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) no Sistema Geodésico de Referência (WGS 84). Nestas imagens foram realizados, no ambiente computacional ARCGIS 10.0[®] (ESRI, 2011) os seguintes processamentos:

- a) Descompactação das imagens, sendo os arquivos salvos em formato *tiff*;
- b) Inserção das imagens no ambiente computacional, utilizando a ferramenta *add data*;
- c) Correção geométrica das imagens utilizando a ferramenta *georeferencing* a partir uma ortofoto com resolução de 1m e através de pontos de controle coletados a campo, utilizando um GPS marca Garmin modelo *Etrex Vista HcX*; e
- d) Coleta de seis Números Digitais (ND), por meio da ferramenta *identify*, referentes ao alvo nas bandas TM-3 e TM-4. Na correção geométrica foi aplicado o método de interpolação polinomial de 1^a ordem. O erro aceitável foi sempre inferior a 15m.

Após a coleta dos ND's, os mesmos foram inseridos em uma planilha digital do *Microsoft Excel 2010*[®] onde foi realizada a correção radiométrica, para isso foram utilizados valores de reescalonamento dos ND para as bandas do sensor TM do Landsat-5, conforme CHANDER & MARKHAM (2003) (Tabela 4).

TABELA 4. Valores de reescalonamento dos ND para as bandas do sensor TM do Landsat-5 ($mWcm^{-2} sr^{-1}\mu m^{-1}$).

Banda	L_{max}	L_{min}	$ESol_{\lambda}$ ($W.m^2 sr.\mu m$)
TM-1	-0,15	15,21	1957
TM-2	-0,28	29,68	1826
TM-3	-0,12	20,43	1554
TM-4	-0,15	20,62	1036
TM-5	-0,04	2,72	215,0
TM-7	-0,01	1,35	80,67

Fonte: Adaptado de CHANDER & MARKHAM (2003).

Neste processo, os números digitais foram convertidos em radiância e, em seguida, em reflectância conforme metodologia de GÜRTLER et al. (2003).

Os valores obtidos de reflectância foram transformados em porcentagem e analisados estatisticamente. Gráficos e tabelas foram gerados visando facilitar a visualização e interpretação dos resultados.

Para converter os números digitais em radiância e em reflectância foram utilizadas as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$L = \left(\frac{ND_i}{ND_{max}} \right) \times (L_{maxi} \times L_{mini}) + L_{mini} \quad (1)$$

Em que:

L = Radiação;

ND_i = Valor digital do pixel a ser capturado em cada banda TM;

ND_{max} = 255, valor máximo digital registrado em cada banda TM;

L_{maxi} = Radiação máxima em cada banda TM;

L_{mini} = Radiação mínima em cada banda TM.

$$R = \frac{L \times \pi \times D^2}{ESol_{\lambda} \times \cos \alpha} \quad (2)$$

Em que:

R = Reflectância espectral na banda TM;

L = Radiação espectral na banda TM em $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$;

π = Valor de 3,141516 ...;

D = inverso do quadrado da distância Sol – Terra, em unidades astronômicas;

ESol_λ = Irradiação solar exoatmosférica média, em $w \cdot m^2 \cdot sr \cdot \mu m^3$ (constante solar);

α = Ângulo solar zenital ($\theta = 90^\circ - \beta$).

De acordo com DUFFIE & BECKMAN (1980), a estimativa de D para a data de obtenção da imagem é dada pela Equação 3.

$$D = 1 + 0,033 \cos \left(DDA \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

Em que:

D = Inverso do quadrado da distância Sol – Terra, em unidades astronômicas;

DDA = Dia Juliano, (dia do ano contado a partir de 1º de janeiro);

Os valores de d variam entre 0,97 e 1,03 e são adimensionais.

De posse dos valores de reflectâncias nas bandas TM3 e TM4, foi realizada a determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) de acordo com ROUSE et al. (1974) (Equação 4).

$$NDVI = \left(\frac{IVP-V}{IVP+V} \right) \quad (4)$$

Em que:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

IVP = Reflectância obtida na faixa do Infravermelho Próximo;

V = Reflectância obtida na faixa do Vermelho.

Na Figura 4 é mostrado um fluxograma envolvendo os procedimentos empregados na metodologia.

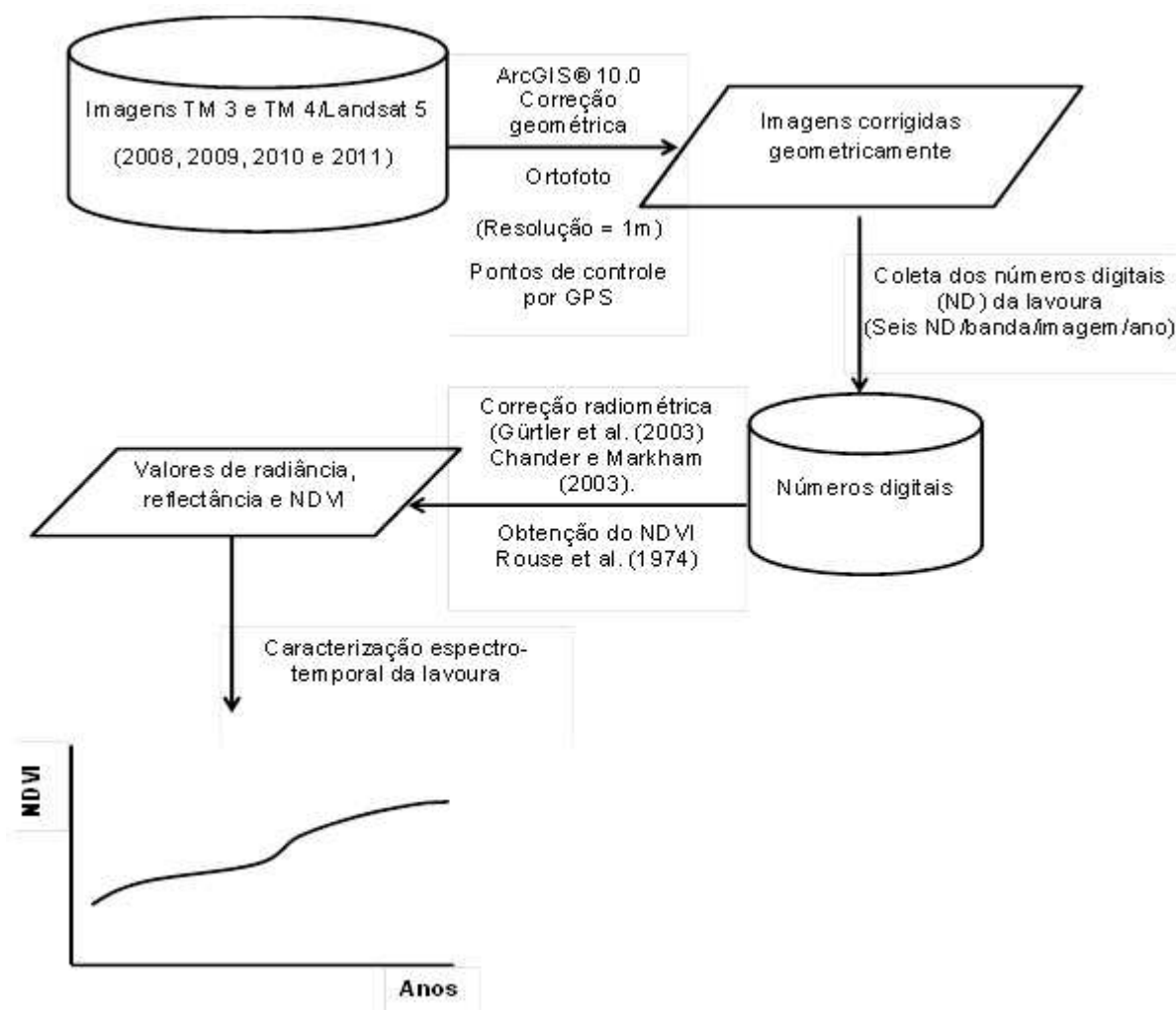


FIGURA 4. Procedimentos metodológicos realizados para a caracterização espectro-temporal da lavoura de café conilon.
Fonte: Elaborado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios dos números digitais, seguidos de seus respectivos coeficientes de variação. Considerando os coeficientes de variação (CV) comumente encontrados nos ensaios agrícolas, nota-se que os valores dos CV dos números digitais da lavoura variaram de baixo a alto (PIMENTEL GOMES, 2009), inferiores a 22,04%.

Como explica PIMENTEL GOMES (2009), o coeficiente de variação dá uma ideia da precisão do experimento. Quanto menor seu valor, menor é a dispersão dos dados dentro do espaço amostral.

TABELA 5. Valores médios dos números digitais (ND) e seus respectivos coeficientes de variação.

Ano	Mês	ND médio	
		TM-3	TM-4
2008	Outubro	49,00±2,00 (CV = 4,08%)	77,17±9,09 (CV = 11,78%)
	Abril	33,00±5,51 (CV = 16,69%)	59,67±5,79 (CV = 9,70%)
2009	Maio	18,50±1,76 (CV = 9,51%)	58,17±5,08 (CV = 8,73%)
	Outubro	44,67±1,21 (CV = 2,71%)	70,50±1,87 (CV = 2,65%)
2010	Março	36,67±5,01 (CV = 13,66%)	71,00±5,48 (CV = 7,72%)
	Maio	18,83±4,12 (CV = 21,88%)	72,83±5,78 (CV = 7,94%)
	Setembro	33,83±3,54 (CV = 10,46%)	64,83±2,56 (CV = 3,95%)
2011	Fevereiro	38,83±3,66 (CV = 9,43%)	85,67±4,59 (CV = 5,36%)
	Maio	24,00±5,29 (CV = 22,04%)	73,83±6,49 (CV = 8,79%)
	Setembro	35,00±2,83 (CV = 8,09%)	63,83±7,31 (CV = 11,45%)

Na Tabela 6 são mostrados os valores de reflectância e os valores de NDVI na lavoura de café conilon estudada. PONZONI & SHIMABUKURO (2010), explicam que para a análise de parâmetros biofísicos da vegetação, via índices de vegetação, é importante a transformação dos números digitais para valores de reflectância. Salientam ainda que a não conversão dos números em valores de radiância ou reflectância pode implicar em erro grave, pois os números digitais não estão em uma mesma escala radiométrica nas diferentes bandas.

TABELA 6. Valores médios de reflectância (%) e de NDVI (Adimensional) na lavoura de café conilon analisada.

Imagens	Datas de passagens/ano									
	2008		2009		2010			2011		
	29/out	10/abr	28/mar	03/out	28/mar	31/mar	04/set	11/fev	02/mar	23/set
	Valores de Reflectância (%)									
TM-3	12	9	6	11	10	6	9	10	7	9
TM-4	24	21	23	22	24	29	22	28	27	20
	Valores de NDVI									
NDVI	0,3333	0,4000	0,5862	0,3333	0,4118	0,6571	0,4194	0,4737	0,5882	0,3793

Ao verificar os valores médios de reflectância nas bandas TM-3 e TM-4, ao longo da série temporal de imagens TM Landsat-5, nota-se que a lavoura de café conilon apresentou reflectância média de 8,56%, na banda TM-3, e reflectância média de 24%, na banda TM-4. Outro fato relevante foi o comportamento contrário entre as bandas TM-3 e TM-4, porém bem definido. De modo geral, na banda TM-3, a reflectância reduziu de 12%, em 2008, para 8,67% em 2011, o que em termos médios, equivale a uma redução de -3,33%; e na banda TM-4, a reflectância apresentou um acréscimo de +1%, sendo 24 % em 2008, e 25% no ano de 2011. No ano de 2009 e 2010, os valores de reflectância na banda TM-3 foram respectivamente 8,67% e 8,33%. Na banda TM-4, foram de 22% e 25%, respectivamente.

Esse comportamento antagônico entre as reflectâncias nas bandas TM-3 e TM-4, ao longo da série temporal das imagens TM Landsat-5, se deve ao crescimento vegetativo dos cafeeiros. Como explicam PONZONI & SHIMABUKURO (2010), a vegetação sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível (TM-3 – Vermelho) e a região do infravermelho (TM-4 – Infravermelho), decorrente dos processos fotossintéticos dos vegetais. Desta forma, a medida que se dá o crescimento vegetativo (maior área de vegetação imageada) há maior realização da fotossíntese e, por consequência, maior radiação absorvida na banda TM-3 e maior radiação refletida na banda TM-4.

Esses resultados ressaltam a sensibilidade e a potencialidade do sensor TM Landsat-5 em perceber este importante processo fisiológico dos vegetais. Tal análise fica mais evidente quando se observa os valores de NDVI apresentados pela lavoura (exibidos na Tabela 6), que na média geral dos anos foi de 0,4720.

Vale destacar que o valor de NDVI varia de -1 a +1 (LIU, 2006). Os valores negativos representam as nuvens e ao redor de zero representam solo nu ou sem vegetação. O valor de NDVI maior que zero representa a vegetação.

Verifica-se a ocorrência de um comportamento crescente nos valores de NDVI ao longo dos anos. Em termos médios anuais parciais, esses valores foram de 0,3333 em 2008, 0,4400 em 2009, 0,4960 em 2010, e 0,4800 em 2011. A Figura 5 ilustra melhor tal comportamento.

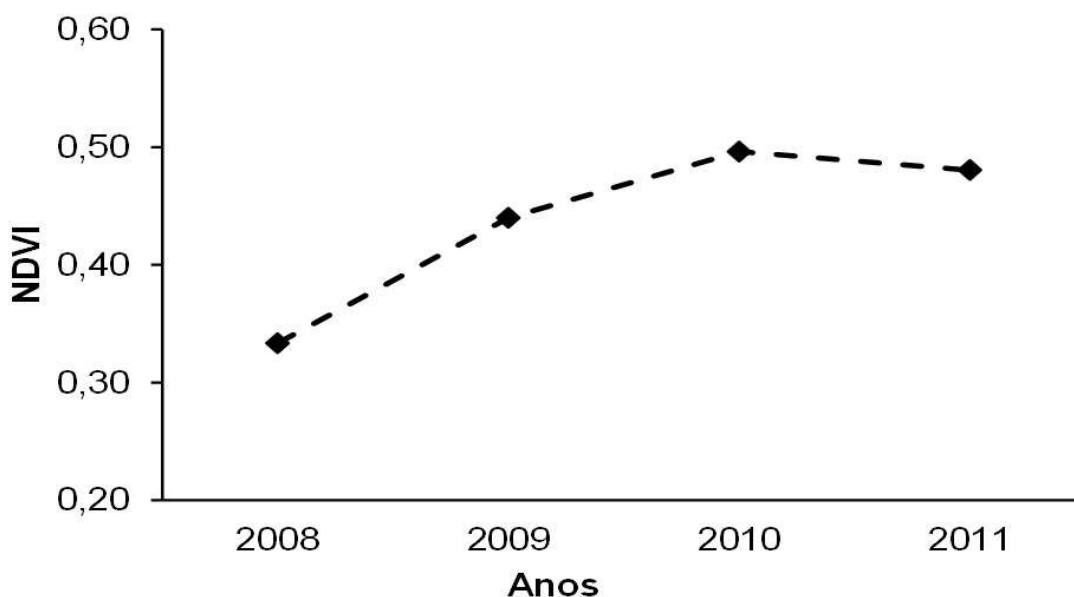


FIGURA 5. Variação do NDVI médio da lavoura ao longo do período de estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em 2008, o valor de NDVI de 0,3333 retrata uma condição de preparo do solo, em que a área imageada refere-se a "área da lavoura", quando estava sendo preparada para o transplante das mudas de café. Em 2009, quando a lavoura estava com aproximadamente 1 ano, o valor médio de NDVI foi de 0,4400; em 2010, com cerca de 2 anos, o valor médio de NDVI foi de 0,4960; e em 2011, o valor médio de NDVI foi de 0,4800, com a lavoura aos 3 anos, aproximadamente.

Considerando tais conjecturas pode-se constatar que o aumento de NDVI foi de +0,1470, ao longo dos três anos, o que representa 44% de aumento de vigor vegetativo. Os maiores incrementos nos valores de NDVI ocorreram de 2008 para 2009 (+0,1070) ou +32,01% de vigor; e de 2009 para 2010 (+0,0560) ou +12,73% de vigor.

Cafeeiros da espécie conilon apresentam padrão sigmoidal de crescimento, com taxas relativas, diminuindo progressivamente com a idade (BRAGANÇA et al., 2010) e conduzidos sem poda, apresentam curva de produção atingindo valores máximo entre a terceira e quinta colheita (SILVEIRA et al., 1993).

É importante salientar que para produzir café é necessário que haja bom enfolhamento das plantas (RENA et al., 2003) o que altera a capacidade reflectiva das mesmas.

PONZONI & SHIMABUKURO (2010) ressaltam, entretanto, que apesar do relativo sucesso da aplicação dos valores de NDVI em estudos de monitoramento da vegetação, sua interpretação deve levar em consideração outros fatores limitantes como a resolução espacial do sistema sensor e a largura de cada banda espectral.

CONCLUSÃO

O sensoriamento remoto orbital pode ser uma ferramenta promissora para o monitoramento do cafeeiro conilon. Levando-se em consideração as condições deste estudo pode-se concluir que os valores de NDVI variaram de 0,333 (2008) a 0,480 (2011), o que exemplifica um estado crescente de vigor. A variação dos valores do NDVI acompanha a variação do vigor vegetativo dos cafeeiros.

REFERÊNCIAS

ALVES, H. M. R.; LACERDA, M. P. C. Caracterização de agroecossistemas cafeeiros nas principais regiões produtoras no Estado de Minas Gerais. In: SBSR, Belo Horizonte. **Anais...** INPE, 2003, p.11-17.

ASSUNÇÃO, G. V. **O sensoriamento remoto na agricultura**. São José dos Campos: INPE, (INPE-4806-MD/39). 1989. 217p.

BERTOLDO, M. A.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; OLIVEIRA, M. R.; MARQUES, H. Caracterização da cultura cafeeira em relação às classes de solos e declividade, utilizando técnicas de geoprocessamento na região de São Sebastião - MG. In: SBSR, Belo Horizonte. **Anais...** INPE, 2003, p.23-27.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; LANI, J. A.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ, V. H. V. A. Acumulação de matéria seca pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa. V. 57, p. 48-52, 2010.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R.

A. T.; MELO, A. F.; SILVA P. A. Processamento e análise de imagens multitemporais para o perímetro de irrigação de Gortuba (MG), In: **Anais XII SBSR**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 473-480.

CASSARO, J. D.; RAMALHO, A. R.; MENONCIN, G.; JACOB, M. S. Monitoramento fenológico simplificado de clones cafeeiros da variedade “conilon” em Porto Velho (RO). In: II EIPE, Rondônia. **Anais...** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2011. 70p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 146), p.40.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat 5/TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.11, p.2.764-2.677, 2003.

DGI/INPE - DIVISÃO DE GERAÇÃO DE IMAGENS DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL. **Catálogo de imagens**. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_pt.php> Acesso em: 06 outubro de 2013.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. New York: John Wiley and Sons, 1980. 109p.

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

ESRI. **ArcGIS Desktop**: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2011.

GÜRTLER S.; LUIZA. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. Uniformização de imagens Landsat para previsão de safras agrícolas. In: XI SBSR, Belo Horizonte, Minas Gerais. **Anais...** INPE, 2003, p.109-116.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M. V. **EMCAPA 8151 – Robusta tropical: Primeira variedade melhorada de café conilon de propagação por sementes para o estado do Espírito Santo**. Vitória - ES: INCAPER, 2000 (Emcaper, Documento n. 103) Folder.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908p.

MAATOUG, L.; SIMÕES, M.; BEGUE, A.; ARVOR, D. Monitoramento da Fenologia de Culturas através de Sensoriamento Remoto. In: SBSR, 16. Foz do Iguaçu. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2013, p.453-459.

MARCOLAN, A. L.; RAMALHO, A. R.; MENDES, Â. M.; TEIXEIRA, C. A. D.; FERNANDES, C. F.; COSTA, J. N. M.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; OLIVEIRA, S. J. M.; FERNANDES, S. R.; VENEZIANO, W. **Cultivo dos Cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia**. 3ª ed. Porto Velho: Embrapa Rondônia: EMATER-RO, 2009, 61p.

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

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

NASA – National Aeronautics and Space Administration: **Landsat 5 Sets Guinness World Record For 'Longest Operating Earth Observation Satellite'**. Disponível em <www.nasa.gov/.../landsat5-guinness.html> Acesso em: 12 de julho de 2013.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15ª Ed. Piracicaba, SP: FEALQ, 2009, 451p.

PONZONI, F. J.; SHIMABAKURU, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP: Parêntese. 2010. 128 p.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento Remoto no estudo da Vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2002. 28 p.

RENA, A. B.; NACIF, A. P.; GUIMARÃES, P. T. G. Fenologia, produtividade análise econômica do cafeeiro em cultivos com diferentes densidades de plantio e doses de fertilizantes. In: Zambolin, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: UFV, p. 133-196, 2003.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation**. Greenbelt: National Aeronautics and Space Administration, 1974, 371 p. (Nasa/GSFC TYPE III. Final Report).

SILVEIRA, J. S. M.; CARVALHO, C. H. S.; BRAGANÇA, S. M.; FONSECA, A. F. A. da. **A poda do café conilon**. (Emcapa – documento – 80). Vitória - ES, 1993. 14p.

TUCKER C.J., ELGIN JR. J.H., MC MURTEY III J.E., FAN C.J. Monitoring corn and soybean development with hand-held radiometer spectral data. **Remote Sensing Environmental**, v.8, p.237-248, 1979.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat Mission**. Disponível em <<http://landsat.usgs.gov/landsat>>. Acesso em: 20 agosto 2013.

VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; LACERDA, M. P. C.; VEIGA, R. D.; EPIPHANIO, J. C. N. Crop parameters and spectral response of coffee (*Coffea arabica* L.) areas within the state of Minas Gerais, Brazil. **Coffee Science**, v.1, n.2, p.111-118. 2006.