

Caracterização da dinâmica espectro temporal florestal e da cana-de-açúcar no município de Itapemirim, ES

Ivo Augusto Lopes Magalhães*
Alexandre Cândido Xavier, Alexandre Rosa dos Santos**

Resumo

O propósito deste estudo foi analisar a dinâmica vegetal da floresta estacional submontana, floresta estacional semidecidual e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) variedades RB 86-7515 e SP 83-3250 por meio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI para o período compreendido entre 1984 a 2011. A metodologia consistiu na obtenção das imagens por meio do catálogo eletrônico de imagens do INPE. Posteriormente as imagens passaram por um Processamento Digital de Imagem expresso na seguinte sequência metodológica: Mosaico, Registro, Correção atmosférica, transformação para reflectância bidirecional e imagens NDVI's. Utilizou-se o teste não-paramétrico de Wilcoxon com P-value a 1% de probabilidade para distinguir se os valores médios de NDVI's se diferiram estatisticamente em comparação aos valores médios da floresta semidecidual relacionados a submontana e dois talhões de cana-de-açúcar para a mesma variedade. Como resultados obteve-se que o maior valor de NDVI foi 0,92, sendo mensurado na floresta estacional submontana na imagem com data de 08/02/2010. A floresta estacional semidecidual apresentou o menor NDVI com valor de 0,43 na imagem com data de 13/05/1992. Embora, constatou-se um valor atípico de NDVI para vegetação densa, não foi encontrado

* Engenheiro Ambiental, Oficial da Marinha do Brasil, Mestre em Ciências Florestais – UFES. (ivosmagalhaes@gmail.com).

** Professores da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. (xavier@cca.ufes.br); (mundogeomatica@yahoo.com.br).

sinal de desmatamento do bioma, os baixos valores de NDVI podem ser explicados pela presença intensa do fenômeno El Niño, pois este fenômeno proporcionou um período brusco de estiagem para os anos de 1991/1992 no Estado do Espírito Santo. Nas condições em que os estudos foram realizados, a análise dos resultados permitiu-se apresentar as seguintes conclusões, por meio do NDVI multitemporal foi possível discriminar a dinâmica da vegetação, ganho, perda de biomassa verde, manejo e o ciclo fenológico das duas variedades de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Imagens multitemporais; Perfil espectral; Índice de vegetação.

Dynamic spectrum characterization of forestry and time of cane sugar in the municipality of Itapemirim, ES

Abstract

The purpose of this study was to analyze the dynamics of plant submontane seasonal forest, semideciduous forest and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) varieties RB SP 86-7515 and 83-3250 through Vegetation Index Normalized Difference - NDVI for the period 1984-2011. The methodology consisted in obtaining the images through the electronic catalog of images from INPE. Subsequently the images have undergone a Digital Image Processing expressed in the following sequence methodological: Mosaic, registration, atmospheric correction, transformation to bidirectional reflectance and NDVI's. We used the nonparametric Wilcoxon test with P-value at 1% probability to distinguish the average values of NDVI's were statistically different compared to the average values of semideciduous forest related submontane and two stands of cane sugar for the same variety. As a result it was found that the highest NDVI value was 0.92, being measured in the submontane seasonal forest image dated 08/02/2010. The semideciduous forest had the lowest NDVI value of 0.43 with the

image dated 13/05/1992. Although, we found a value of NDVI for atypical dense vegetation, was not found signal deforestation biome, low NDVI values can be explained by the presence of intense El Niño phenomenon as this provided a rough period of drought for year 1991/1992 in the State of Espírito Santo. The conditions under which the studies were conducted, the analysis of the results allowed to present the following conclusions through NDVI was possible to discriminate vegetation dynamics, gain, loss of green biomass, and phenological cycle management of the two varieties of sugarcane-cane.

Key words: Remote sensing multitemporal images; spectral profile; vegetation index.

Introdução

A Mata Atlântica é extremamente importante em relação ao contexto ambiental e social. Essa importância se deve a enorme biodiversidade de espécies faunística e florística presentes no bioma.

Atualmente, a paisagem da Mata Atlântica é composta principalmente por fragmentos florestais, e que se encontram quase sempre isolados e separados por pastagens em propriedades particulares (RODRIGUES, 2011). De acordo com Metzger (2003), os fragmentos florestais são caracterizados pelas rupturas das unidades da paisagem natural, que podem ser contínuos ou isolados, podendo apresentar diversas extensões.

No entanto por apresentar importância de cunho ambiental, as espécies vegetais presentes no bioma, são passivas de estudos e análise, dentre as diversas técnicas para análise ambiental, utiliza-se geotecnologias, que por meio do Sensoriamento Remoto - SR e os Sistemas de Informações Geográficas - SIG destacam-se por apresentar diversas metodologias.

A aquisição de informações por meio do sensoriamento remoto pode ser adquirida por diversas maneiras, como por

exemplo: espectrorradiômetro de campo, em laboratório, a nível de aeronave e orbital. Porém a utilização a nível orbital ocorre com maior frequência, incluindo também a geração e utilização de imagens de satélite na elaboração de mapas temáticos e avaliação espectral da cobertura vegetal de extensas áreas da superfície terrestre (PONZONI, 2002).

Neste contexto as propriedades espectrais da vegetação podem ser utilizadas para o monitoramento das condições de crescimento da vegetação, como também a estimativa da regeneração das espécies (FONSECA; ROSA; FONTANA, 2002).

De acordo com Meneses (2012) as imagens dos sensores na faixa óptica do espectro eletromagnético permitem analisar as intensidades da radiação refletida, como também, conhecer as propriedades e a composição de diversos alvos. O número de pesquisas sobre as respostas espectrais da vegetação está relativamente aumentando, essas pesquisas estão sendo realizadas com intuito de diferenciação de espécies vegetais por meio da curva espectral apresentada (APARICIO, 2007).

Conforme Jensen (2011) por meio da resposta espectral da vegetação pode-se obter importantes parâmetros biofísicos, seu material constituinte, estrutura celular das folhas, atividade fotossinteticamente ativa e diferenciação de presença interna de umidade e água na folha. Segundo este mesmo autor com dados espectrais também pode ser criado uma biblioteca espectral para vegetação.

Contudo, Carriello et al., (2003) adverte que a criação de uma biblioteca espectral para vegetação é um deslumbramento dos pesquisadores em sensoriamento remoto, pois as aferições espectrais da vegetação ao passar por contínuas mudanças no decorrer do tempo são válidas somente no tempo e local em que o experimento está sendo conduzido.

Com finalidade de estudar as respostas espectrais da vegetação, foram desenvolvidos diversos Índices de Vegetação. Esses IV's são formados por funções matemáticas compreendidas entre as bandas espectrais das imagens.

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2010), os índices de vegetação podem ser explorados na região do visível e infravermelho próximo, podendo ser relacionados a propriedades espectrais da vegetação a partir da verificação do comportamento antagonico da reflectância nestas faixas.

Para tanto, o Índice de Vegetação da Diferença Normaliza - NDVI é o mais utilizado e famoso, dentre os mais de 50 catalogados na literatura, (MOREIRA, 2011). O NDVI é relacionado a valores variáveis entre -1 e +1, todavia, os valores próximos a 1 representam a vegetação densa e os valores próximos a -1 compreendem aos corpos hídricos e não-vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

A análise da vegetação por meio de uma única imagem limita a extração de várias informações desta, pois a mesma representa a cena de uma única data da passagem do satélite. Contudo a utilização de uma série multitemporal, por apresentar dados em maior número de cenas, permite o acompanhamento de processos fenológicos, mensuração de biomassa verde, e estrutura da vegetação.

Estudo das respostas espectral da vegetação da Mata Atlântica na região em análise, no Estado do Espírito Santo ainda não foi relatado no contexto científico, sendo assim, este estudo visou cessar a carência de informações espectrais e de cunho geográfico tanto da vegetação, como também de diversos alvos inseridos na superfície de Itapemirim, ES.

Além destas justificativas, a caracterização de alvos realizada por meio de espectrorradiômetro requer maior tempo e investimento financeiro em análise de extensas áreas, já a análise espectral realizada por imagens orbitais, não se limita a apenas um alvo por análise, podendo ser realizada em extensas áreas com menor tempo. Diante do exposto, o propósito deste estudo foi analisar a dinâmica vegetal da floresta estacional submontana, floresta estacional semidecidual e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) variedades RB 86-7515 e SP 83-3250 por meio do

Descrição da área de estudo

O município de Itapemirim está situado no extremo Sul do estado do Espírito Santo, compreendido entre as coordenadas planas em UTM 280220.337S 7677357.933W e 317719.003S 7692928.968W. A formação florestal predominante no município é a Floresta Estacional Semidecidual com elementos arbóreos caducifólios nas áreas que apresentam até 50m de altitude ao nível do mar, e nas áreas com maiores altitudes situa-se a Floresta estacional semidecidual submontana. Todas de domínio do bioma Atlântico (IBGE, 2010).

O tipo climático do município de Itapemirim, segundo a classificação de Köppen, é Aw, CWa, Cwb com temperatura média anual entre 21 a 23°C e precipitação média anual entre 1000 a 1500mm.

A Figura 1 representa a área de estudo, composta pelo mosaico de imagem Landsat 5-TM em composição falsa-cor, sendo que na direção Oeste do município situa-se o maior fragmento florestal, e na região Central localiza-se tanto fragmento florestal, como também os talhões de cana-de-açúcar analisadas neste estudo.

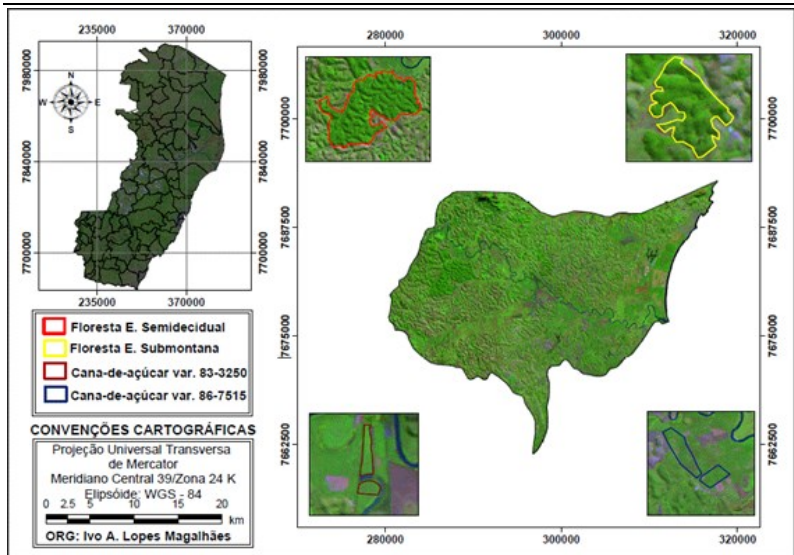


Figura 1: Localização geográfica do município de Itapemirim, ES representada em composição falsa-cor LANDSAT 5-TM (2B/3R/4G).

Características dos solos

As classes de solo são caracterizados pelo Latossolo Vermelho Álico (LVa), que ocorre na maior parte do município, associados com Podzólico Amarelo Álico e Distrófico (PAad) e o Podzol Hidromórfico (HP) que é está inserido ao longo da margem litorânea do município de Itapemirim (Siqueira et al., 2004).

Metodologia

O estudo foi conduzido no laboratório de geoprocessamento do Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável – NEDTEC. As análises para o desenvolvimento deste estudo foram realizadas nos aplicativos computacionais *Environment for Visualizing Images* - ENVI 4.7 e ArcGIS 10.1.

A execução metodológica desenvolvida neste trabalho é expressa na seguinte sequência metodológica:

Seleção das imagens

A seleção das imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)* foram realizadas por meio do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na data de interesse para o estudo.

A imagem foi obtida no período chuvoso, com boas condições atmosféricas e cobertura mínima de nuvens em cada cena. Utilizou-se uma cena do sensor TM-5, (Tabela 1), a imagem foi adquirida por meio do endereço eletrônico: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Tabela 1: Sequência cronológica das imagens LANDSAT 5-TM utilizados para análise multitemporal do NDVI.

Órbita/Ponto	Data da imagem	Azimute solar (°)	Elevação do Sol (°)	Período
216/074-075	07/05/1984	46,8500	38,3118	Estiagem
216/074-075	12/09/1984	59,4889	46,8884	Chuvoso
216/074-075	23/03/1985	65,3593	46,7668	Estiagem
216/074-075	29/07/1985	46,6126	35,6188	Estiagem
216/074-075	30/06/1986	43,5804	31,9248	Estiagem
216/074-075	04/10/1986	70,7076	50,8237	Estiagem
216/074-075	03/07/1987	43,4780	32,2670	Chuvoso
216/074-075	27/01/1988	94,7726	52,0868	Chuvoso
216/074-075	07/09/1988	57,4239	45,6635	Estiagem
216/074-075	13/01/1989	99,1471	53,5560	Chuvoso
216/074-075	17/02/1990	85,5763	48,3779	Estiagem
216/074-075	27/07/1990	48,1122	33,5602	Estiagem
216/074-075	09/04/1991	58,7059	42,3495	Estiagem
216/074-075	31/08/1991	56,3224	42,0497	Estiagem
216/074-075	13/05/1992	46,2153	36,5570	Estiagem
216/074-075	17/08/1992	52,6637	38,3344	Chuvoso
216/074-075	09/02/1993	89,3366	49,1158	Estiagem
216/074-075	04/08/1993	49,3789	35,4313	Chuvoso
216/074-075	17/04/1994	55,3992	40,6358	Chuvoso
216/074-075	10/10/1994	74,4501	51,3126	Estiagem
216/074-075	20/04/1995	56,4274	38,0346	Chuvoso
216/074-075	25/07/1995	50,5017	53,5560	Estiagem
216/074-075	13/10/1995	78,1643	48,3821	Chuvoso
216/074-075	08/05/1996	50,0397	35,1067	Chuvoso
216/074-075	31/10/1996	85,4589	55,7505	Chuvoso
216/074-075	27/05/1997	42,7849	35,2594	Chuvoso
216/074-075	14/07/1997	43,8525	33,8090	Estiagem
216/074-075	17/07/1998	42,6791	35,3383	Estiagem
216/074-075	05/10/1998	67,5080	55,2614	Chuvoso
216/074-075	30/03/1999	60,0974	47,4859	Chuvoso
216/074-075	20/07/1999	43,2484	35,5651	Chuvoso
216/074-075	03/05/2000	46,2556	40,3439	Estiagem
216/074-075	10/10/2000	70,5999	56,4850	Chuvoso
216/074-075	15/02/2001	84,3838	52,8743	Estiagem
216/074-075	23/06/2001	39,6765	34,6385	Estiagem
216/074-075	11/09/2001	56,7100	48,6652	Chuvoso

MAGALHÃES, I.A.L. et al. Caracterização da dinâmica espectro temporal...

216/074-075	06/03/2002	73,8029	50,6351	Estiagem
216/074-075	29/06/2003	40,9369	33,9435	Estiagem
216/074-075	19/10/2003	75,4787	58,1061	Chuvoso
216/074-075	01/07/2004	39,9566	34,8744	Chuvoso
216/074-075	06/11/2004	86,1558	62,0285	Chuvoso
216/074-075	09/01/2005	99,6773	57,6447	Chuvoso
216/074-075	17/05/2005	40,1579	39,7225	Chuvoso
216/074-075	08/10/2005	67,2869	58,0481	Estiagem
216/074-075	23/07/2006	40,6563	38,2910	Chuvoso
216/074-075	20/03/2007	62,2700	52,3299	Estiagem
216/074-075	27/08/2007	48,3455	46,5099	Chuvoso
216/074-075	18/01/2008	96,9574	58,1014	Chuvoso
216/074-075	22/03/2008	61,6365	50,9657	Estiagem
216/074-075	29/08/2008	51,0932	45,9159	Estiagem
216/074-075	10/04/2009	52,3500	47,0169	Chuvoso
216/074-075	01/09/2009	51,0332	47,4316	Estiagem
216/074-075	20/11/2009	93,7179	63,4716	Chuvoso
216/074-075	08/02/2010	87,0969	56,0632	Chuvoso
216/074-075	15/05/2010	39,7519	40,6433	Chuvoso
216/074-075	04/09/2010	51,7307	48,4160	Estiagem
216/074-075	26/01/2011	93,7117	57,0084	Chuvoso
216/074-075	02/05/2011	43,3293	43,0779	Chuvoso
216/074-075	23/09/2011	59,3763	53,8860	Chuvoso
216/074-075	10/11/2011	87,8918	62,8649	Chuvoso

Fonte: (INPE, 2012).

Mosaico das imagens

As imagens do satélite Landsat apresentam uma faixa de imageamento de 185 km de largura (MOREIRA 2005), no entanto para a realização deste estudo no município de Itapemirim, ES, foi necessário realizar o mosaico de duas cenas Landsat, correspondendo aos pontos 074 e 075 e órbita 216 no catálogo de imagens do INPE.

Registro das imagens

O registro das imagens Landsat 5-TM foi realizado tendo como base a imagem do mosaico ortorretificado *GeoCoover 2000*

MAGALHÃES, I.A.L. et al. Caracterização da dinâmica espectro temporal... da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), disponível no endereço eletrônico <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>.

A primeira imagem da série histórica foi registrada por meio da aquisição de pontos de controle em regiões com maior detalhe visual como, cruzamento de pontes, rios e estradas, obtidos pela imagem *Geocoover* por meio da técnica *map to map*. Posteriormente realizou-se o mesmo procedimento para as 59 imagens, obtendo-se um erro médio quadrado (RMS), menor que 0,5 pixels, no qual equivale a 15 metros de variação na imagem Landsat (píxel 30 x 30), contudo apresenta precisão aceitável para o estudo de análise multitemporal de vegetação (DAI; KHORRAM, 1998).

A primeira etapa consistiu no registro das imagens na projeção Universal Transverso de Mercator UTM-WGS 84. Já a segunda etapa e finalização do registro consistiu na reamostragem dos pixels por meio da técnica *Nearest Neighbor* utilizando a transformação polinomial de primeira ordem. O método *Nearest Neighbor* consiste na interpolação dos valores digitais dos píxels mais próximos, sendo assim, não alterando os valores digitais dos píxels na imagem registrada. (CRÓSTA, 2002).

Correção atmosférica

Para anular os efeitos atmosféricos, resultando em imagens com ND corrigidos, utilizou-se a técnica subtração dos pixels escuros ou DOS (*Dark Object Subtraction*) proposto por (CHAVEZ, 1988).

A subtração dos pixels espúrios foi utilizada em uma área significativamente maior que o limite municipal de Itapemirim, ES, partindo do pressuposto que em uma área de menor extensão como no limite municipal poderia não haver a presença de relevos sombreados ou de corpos hídricos sem sedimentos.

Esses alvos apresentam os valores digitais de referência para a aplicação do método (MENESES, 2012). A classificação quanto a atenuação atmosférica em cada banda espectral foi definido conforme proposto por (CHAVES, 1988).

Conversão dos números digitais em radiância

Os valores dos níveis digitais contidos nas imagens Landsat 5-TM foram convertidos para radiância, para posteriormente serem transformados em valores reflectância aparente.

Os valores utilizados na conversão das imagens foram adquiridos por meio da calibração absoluta dos sensores LANDSAT 5-TM após seu lançamento, e é expressa por meio das funções matemáticas.

$$L\lambda = \left(\frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{Qcalmax - Qcalmin} \right) (Qcal - Qcalmin) + LMIN\lambda \quad (eq.1)$$

$$Grescale = \left(\frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{Qcalmax - Qcalmin} \right) \quad (eq.2)$$

$$Brescale = LMIN\lambda - \left(\frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{Qcalmax - Qcalmin} \right) Qcalmax \quad (eq.3)$$

Em que:

$L\lambda$ = radiância espectral em $w.m^2 sr.\mu m$;

$Qcal$ = radiância calibrada e rescalonada para o intervalo 0 a 255, em unidades de número digital;

$Qcalmin$ = Valor mínimo do pixel calibrado correspondente a $LMIN\lambda$ (DN);

$Qcalmax$ = Valor máximo do pixel quantizado calibrado correspondente a $LMAX\lambda$ (DN);

$Lmin\lambda$ = Radiância espectral correspondente ao $Qcal=0$;

$Lmax\lambda$ = Radiância espectral correspondente ao $Qcal=255$;

$Grescale$ = Banda específica rescalonada com o valor de ganho em $w.m^2 sr.\mu m$;

$Brescale$ = Banda específica rescalonada com valor de viés em $w.m^2 sr.\mu m$.

Para a conversão de DN para radiância, foram utilizados os valores de radiância mínima ($L_{min\lambda}$) e radiância máxima ($L_{max\lambda}$) proposto por (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009), conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Valores utilizados para a conversão de DN em imagem radiância.

SATÉLITE LANDSAT 5-TM (Qcalmin=1 e Qcalmax=255)					
Banda	Faixa Espectral	$L_{min\lambda}$	$L_{max\lambda}$	Grescala	Brescala
Unidades	μm	$w/(m^2 \text{ sr } \mu\text{m})$		$w/(m^2 \text{ sr } \mu\text{m})/\text{DN}$	$w/(m^2 \text{ sr } \mu\text{m})$
1	0,452- 0,518	-1,52	169	0,671339	-2,19
2	0,528-0,609	-2,84	333	1,322205	-4,16
3	0,626-0,693	-1,17	264	1,043976	-2,21
4	0,776-0,904	-1,51	221	0,876024	-2,39
5	1,567-1,784	-0,37	30,2	0,120354	-0,49
6	10,45-12,42	1,2378	15.3032	0,055376	1,18
7	2,097-2.349	-0,15	16,5	0,065551	-0,22

FONTE: (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009).

Conversão de radiância para reflectância

Como este trabalho tem por finalidade avaliar a dinâmica de biomassa verde em função da série histórica dos valores de NDVI, as imagens com valores de radiância foram convertidas em imagens reflectância por meio da função matemática.

$$\rho = \frac{L_{\lambda}}{d^2 \cdot E_{Sol\lambda} \cdot \cos\theta_s} \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

ρ = reflectância medida ao nível do satélite, adimensional;

L_{λ} = radiância espectral no detector, em $w.m^2 \text{ sr}.\mu\text{m}$;

d = distância Terra-Sol, em unidades astronômicas;

$E_{Sol\lambda}$ = irradiância solar exoatmosférica média, em $w.m^2 \text{ sr}.\mu\text{m}$;

θ_s = ângulo zenital solar, em graus.

Os valores utilizados para conversão das imagens radiância em imagens reflectância estão descritos conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Valores utilizados de ESol λ para conversão de radiância para reflectância.

Banda TM	ESol λ
1	1983
2	1796
3	1536
4	1031
5	220.0
6	N/A
7	83.44

N/A* Não Aplicado.

FONTE: (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009).

Caracterização espectral dos alvos

De posse do GPS de navegação *Garmin Etrex 30*, coletou-se as coordenadas em campo dos respectivos alvos, posteriormente as coordenadas geográficas destes alvos foram importadas para o aplicativo computacional ENVI 4.7, realizou-se o ligamento das coordenadas, fechando os polígonos das regiões de interesse – ROI's, delimitada com os limites de cada alvo.

Os locais das coletas compreenderam-se as áreas centrais com a finalidade de evitar viés e interferência de valores de reflectância de alvos indesejados.

Os procedimentos metodológicos realizados para análise espectral dos alvos no município de Itapemirim, ES, estão sintetizados conforme o fluxograma da Figura 2.

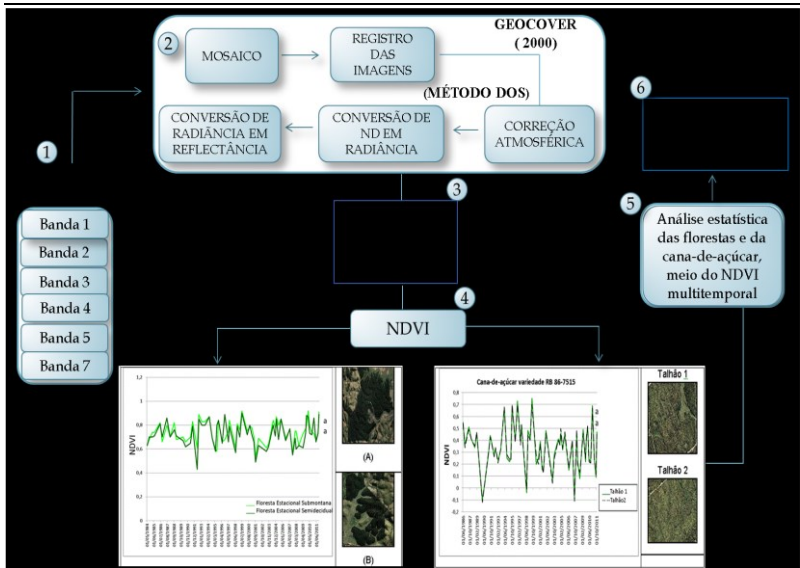


Figura 2: Fluxograma metodológico representativo das etapas realizadas para desenvolvimento do estudo.

Resultados e discussão

Análise da vegetação por meio do NDVI multitemporal

A Figura 3 representa as datas onde foi encontrado o maior e o menor valor de NDVI para as florestas. O maior valor de NDVI foi 0,92, sendo mensurado na floresta estacional submontana na imagem com data de 08/02/2010. A razão para este alto valor é justificada pela presença de árvores de grande porte com dossel bastante denso. Outro fator determinante foi o período da análise do NDVI, pois a vegetação não situava no período semidecíduo.

A floresta estacional semidecidual apresentou o menor NDVI com valor de 0,43 na imagem com data de 13/05/1992. Embora, constatou-se um valor atípico de NDVI para vegetação densa, não foi encontrado sinal de desmatamento do bioma.

Entretanto, os baixos valores de NDVI podem ser explicados pela presença intensa do fenômeno El Niño, pois este fenômeno proporcionou um período brusco de estiagem para os anos de 1991/1992 no Estado do Espírito Santo (CEPTEC, 2012).

Gurgel; Ferreira; Luiz (2003) corroboram com este estudo, ao encontrar valores baixos de NDVI para o bioma Mata Atlântica na mesma região deste estudo para os anos de 1991 e 1992 por meio de Imagens MODIS.

Nessa mesma pesquisa, estes autores analisaram a variabilidade do NDVI no Brasil. Eles constataram que na região do Estado do Espírito Santo os anos de ocorrência do fenômeno El Niño (1983, 1987, 1991 e 1992) apresentaram um período seco muito rigoroso, principalmente no ano de 1992, onde os valores de NDVI para a vegetação apresentaram valores bem abaixo da média registrada. Entretanto, os autores também encontraram como resultado a ocorrência de baixos valores de NDVI no ano de 1988, diferente deste trabalho que foi encontrado imagens NDVI com médios valores de 0,70, no ano de 1988.

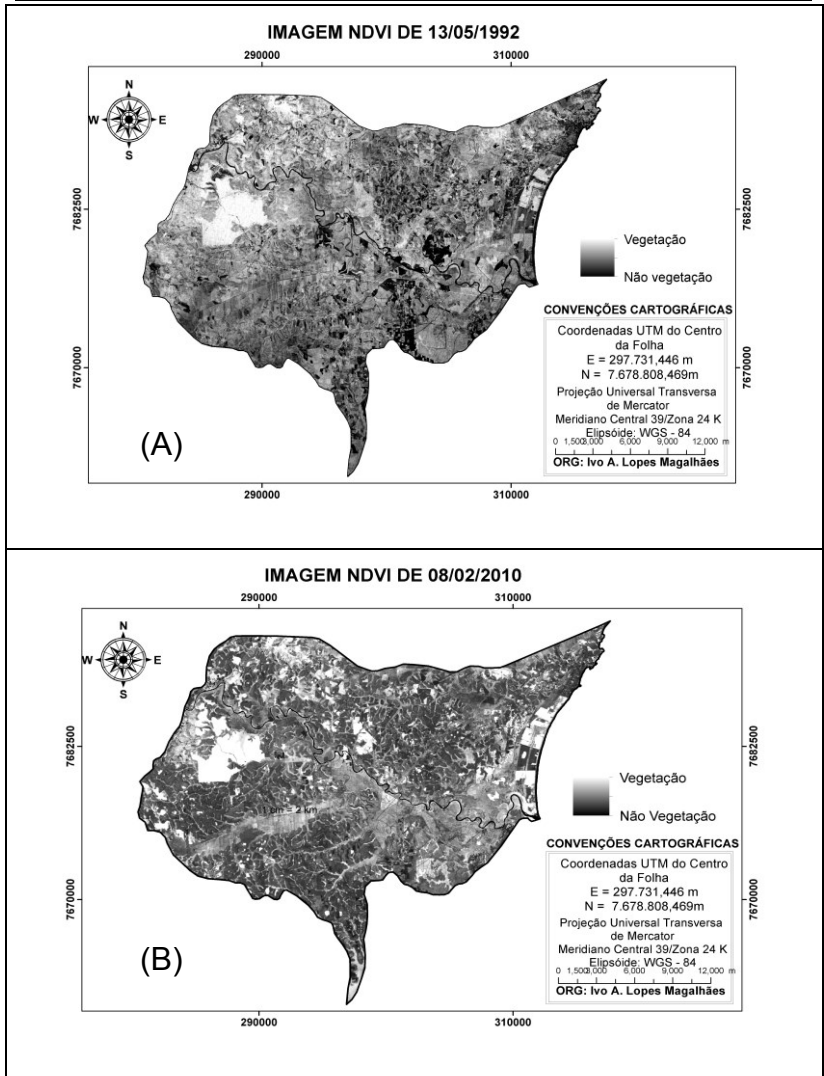


Figura 3: (A) Imagem NDVI de 13/05/1992 referente ao menor valor e a imagem (B) 08/02/2010 referente ao menor valor para a vegetação.

A diferença dos valores de NDVI obtidos entre os dois trabalhos no ano de 1988 pode estar relacionado ao fator de escala adotado e a resolução espacial do satélite MODIS. Visto que na pesquisa de Gurgel; Ferreira; Luiz (2003). O objetivo era analisar extensas áreas, com baixa resolução espacial e neste trabalho utilizou-se um sensor de média resolução que apresenta uma maior possibilidade de analisar áreas com maior detalhe espacial.

A Figura 4 representa o gráfico do comportamento multitemporal do NDVI para os dois fragmentos florestais analisados. Os perfis do NDVI para as duas florestas apresentaram comportamento praticamente semelhante, com valores mais discrepantes nas imagens com data de 13/05/1992 e 06/03/2002. Por meio do resultado do teste de Wilcoxon, a 1%, constatou-se que não houve contrastes entre os valores médios de NDVI, Dessa maneira aceita-se a hipótese que as curvas espectrais dos NDVI's para as duas florestas apresentam igualdade.

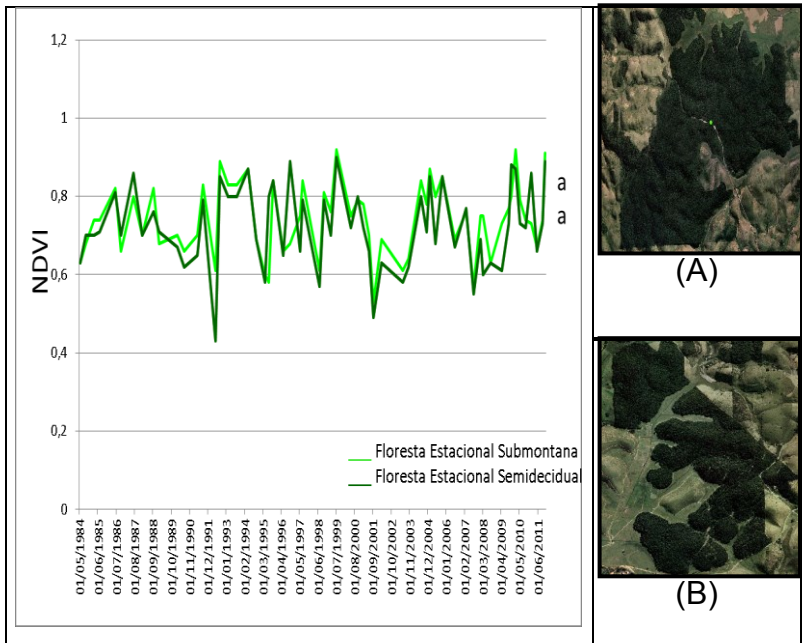


Figura 4: Perfil temporal dos valores médios de NDVI analisados entre o período de 1984 a 2011 para a floresta estacional semidecidual (A) e floresta submontana (B).

* Valores médios de NDVI seguidos por letras iguais, não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Wilcoxon ($p > 0,01$).

Análise da cana-de-açúcar por meio do NDVI multitemporal

Na imagem com data de 14/07/1997 foi mensurado o maior valor de NDVI, 0,83, para a cana-de-açúcar da variedade SP 83-3250. Já para a variedade RB 86-7515 o maior valor foi de 0,75, na imagem com data de 20/07/1999. Por meio desses dois altos valores, infere-se que nessas respectivas datas as duas variedades de cana-de-açúcar estavam no pico máximo de crescimento vegetativo da cultura, no seu estágio ideal para colheita.

Para a variedade SP 83-3250 o menor valor mensurado de NDVI foi de -0,27. Na variedade RB 86-7515 foi bastante semelhante a outra variedade, com valor de -0,14, no entanto, esses valores podem ser atribuídos ao período de início do crescimento e rebrota da cana-de-açúcar.

Nos talhões de cana-de-açúcar obteve-se valores negativos, contudo, esses valores podem ser atribuídos a inundação nos talhões e não tipicamente correspondente a resposta espectral da cana-de-açúcar. A razão para explicação dos valores negativos de NDVI pode ser explicado pela aquisição da imagem após a irrigação da cultura, presença de solo exposto com alto teor de umidade ou por razão de área inundada após o período chuvoso. A Figura 5 representa uma área com úmida no município de Itapemirim, ES após o período chuvoso.

Camilo et al. (2010) realizaram um estudo sobre a resposta espectral da cana-de-açúcar irrigada no município de Quixeré, CE, por meio do índice NDVI advindos de imagens do sensor TM. Os autores obtiveram como resultados valores médios de NDVI aproximados aos obtidos neste trabalho, entretanto, também encontraram valores negativos em área com cana-de-açúcar e atribuíram estes valores as áreas de irrigadas por pivô central e sistema por aspersão.

Lira et al. (2008) corroboram com este estudo, ao avaliar o comportamento espectral de uma área no semi-árido Nordeste de cana-de-açúcar irrigada por meio de imagens Landsat - 5TM. Os autores atribuíram os valores negativos de NDVI em solos úmidos,

MAGALHÃES, I.A.L. et al. Caracterização da dinâmica espectro temporal...
ou nas áreas com cana já colhida e com solo irrigado em
preparação para o cultivo.



Figura 5: Fotografia ilustrativa de áreas inundadas que apresentaram valores negativos para o NDVI após período chuvoso no município de Itapemirim, ES.

A Figura 6 representa o comportamento temporal do NDVI da cana-de-açúcar Variedades SP 83-3250 safra de 1984/2011 e RB86-7515 safra de 1986/2011. Conforme observado pelo gráfico na imagem de 30/06/1986 a Variedade RB86-7515 já apresentou um NDVI alto de 0,55, comprovando que a cultura foi plantada no ano anterior a aquisição da primeira imagem da série temporal. No entanto, o menor valor de NDVI foi -0,12 nos talhões, já o maior valor foi de 0,75 no talhão 1, e 0,7 no talhão 2, da mesma variedade.

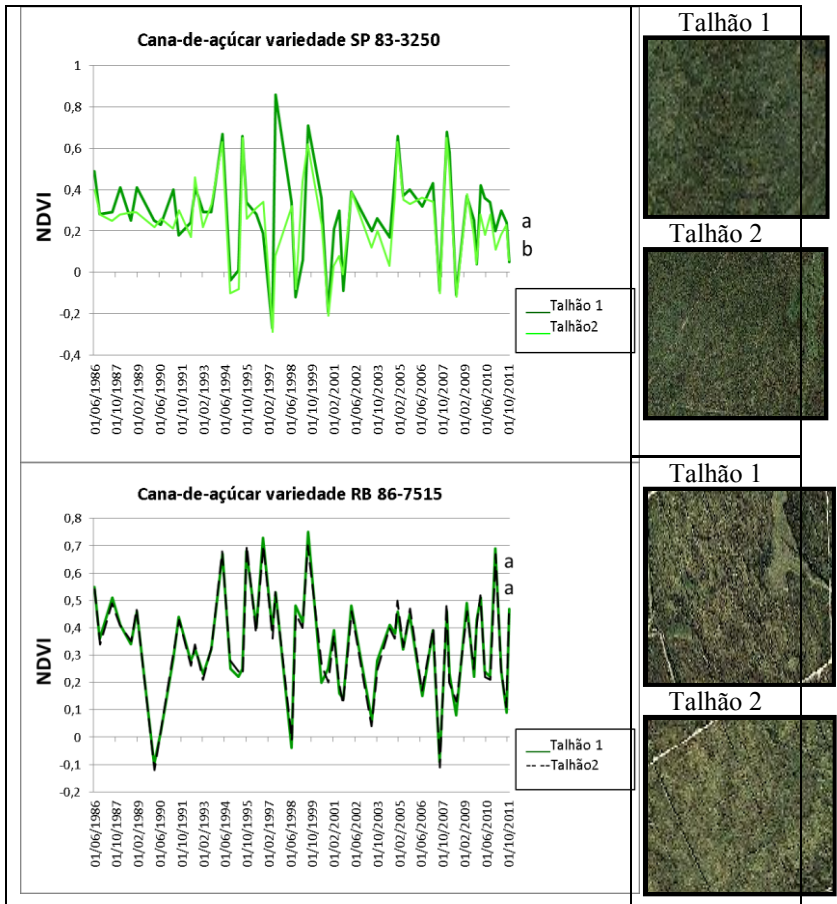


Figura 6: Perfil temporal dos valores médios de NDVI analisados entre o período de 1984 a 2011 para a cana-de-açúcar variedade SP 83-3250 e RB 86-7515.

* Valores médios de NDVI seguidos por letras iguais, não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Wilcoxon ($p > 0,01$).

Os perfis multitemporais de NDVI para os dois talhões da Variedade RB 86-7515 praticamente se sobrepuseram, evidenciando-se que os talhões foram manejados de maneira semelhante, iniciando o plantio e a colheita nos dois talhões no mesmo período, entre o período de 12 a 18 meses.

Nos dois talhões não foi constatado períodos de descanso anuais para o solo, pois o NDVI da cana não apresentou valores baixos por período prolongado, assim não caracterizando o manejo da cultura nos talhões e o preparo do solo.

Em geral as curvas espectrais dos dois talhões da variedade RB86-7515 assemelhou-se durante a série temporal, constatando que não houve diferença significativa entre os valores médios de NDVI, pelo teste de Wilcoxon a 1% de significância estatística.

Nos dois talhões da Variedade de cana-de-açúcar SP83-3250 os valores de NDVI foram semelhantes, com 0,41 no talhão 1 e 0,37 no talhão 2, essa semelhança pode estar relacionado ao plantio dos 2 talhões na mesma data e com manejos iguais. Posteriormente à primeira imagem, constatou-se que o baixo valor de NDVI no talhão 2 pode estar relacionado a colheita da cana-de-açúcar. Posteriormente nos dois talhões os valores de NDVI permaneceram baixos, em torno de 0,2, contudo, diferente do talhão 1, no talhão 2 o NDVI continuou com baixo valor espectral e se manteve inalterado por um período de aproximadamente 5 anos (04/10/1986 a 09/04/1991). A razão para este valor atípico pode ser atribuído a um período de rotatividade da cultura, onde o solo é remanejado com adubação e correção, não havendo plantio da cultura, para posteriormente a esse repouso o produtor retorna plantar a cana.

Pelos valores de NDVI mensurados para os dois talhões da Variedade SP83-3250 constatou-se que os mesmos, foram manejados diferentes, no entanto foram encontrados valores de NDVI próximos para os dois talhões em algumas imagens no mesmo período em análise.

Por apresentar valores médios de NDVI's discrepantes em diversos períodos da série multitemporal, os valores de NDVI's

apresentaram diferença significativa para os dois talhões da Variedade SP83-3250, pelo teste de Wilcoxon a 1% de significância estatística.

Conclusão

Nas condições em que os estudos foram realizados, a análise dos resultados permitiu-se apresentar as seguintes conclusões:

Os dados do Sensor TM permitiram a extração de informações espectrais dos alvos analisados, como também caracterizar e discriminar as diferentes florestas e variedades de cana-de-açúcar.

A floresta estacional semidecidual, submontana e a cana-de-açúcar variedade SP83-3250 e RB86-7515 apresentaram respostas espectrais semelhantes na região do Visível, entretanto, na região do IVP a biomassa da vegetação contribui para maior discriminação;

A análise multitemporal por meio do NDVI possibilitou analisar a dinâmica da vegetação, ganho, perda de biomassa verde, manejo e o ciclo fenológico das variedades de cana-de-açúcar;

As mudanças climáticas causadas pelo fenômeno El Niño, contribuíram diretamente para ocorrência de valores atípicos de NDVI para as florestas submontana e semidecidual.

Referências bibliográficas

AFFONSO, A. G.; VALERIANO, D. M.; BATISTA, G. T. **Caracterização da vegetação no município de Marabá, no estado do Pará, através de dados e transformações espectrais (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) do sensor ETM+ / Landsat 7.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Anais..., Goiânia: INPE, 2005. p. 1407 - 1414.

APARICIO, C. **Análise da Resposta Espectral de Espécies de Macrófitas.** 2007. 163p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de

- MAGALHÃES, I.A.L. et al. Caracterização da dinâmica espectro temporal...
Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2007.
- BATISTA, J. A. N. **Relatório da aplicação de sensoriamento remoto para a identificação de corpos aquáticos sobre a região do município de São José dos Campos.** 2002. Disponível em: <<http://www.lcad.icmc.usp.br/~rosane/Sensoriamento.pdf>>. Acesso em: 02 Ago. 2012.
- BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R. **Caracterização espectral e temporal da vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita – RS com produtos MODIS.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Anais..., Curitiba: INPE, 2011. p.1765 - 1771.
- CARRIELLO, F.; MIRANDA, F. G.; PONZONI, F. J.; CARDOSO, P. A.; MARTINS, S. P. **Uso da transmitância na caracterização espectral de folhas verdes.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Anais..., Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2451 - 2457.
- CHAVEZ, J. P. S.; **An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data.** Remote Sensing of Environment. v.24, p. 459-479, 1988.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. **Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors.** Remote Sensing of Environment v.113 n.5 p. 893-903, 2009.
- CRÓSTA, A. P.; **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Campinas: IG/UNICAMP, 2002.
- DAI, X.; KHORRAM, S. **The Effects of Image Misregistration on the Accuracy of Remotely Sensed Change Detection.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. v. 36, n. 5, p. 1566-1577, 1998.
- DEMATTE, J. A. M.; TOLEDO, A. M. A.; SIMÕES, M. S. **Metodologia para reconhecimento de três solos por sensores:**

MAGALHÃES, I.A.L. et al. Caracterização da dinâmica espectro temporal...

laboratorial e orbital. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 28, p. 877-889, 2004.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA FILHO, W. **Avaliação da reflectância espectral de corpos d'água em Santa Maria-RS por meio de espectrorradiometria de campo.** Geoambiente On-line, n. 13, p. 194-207, 2009.

FORTES, C. **Discriminação varietal e estimativa de produtividade agroindustrial de cana-de-açúcar pelo sensor orbital ETM+/LANDSAT 7.** 2003. 131p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GÜRTLER, S.; LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. **Uniformização de imagens Landsat para previsão de safras agrícolas.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Anais..., Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 109-116.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=320280>>. Acesso em: 23 jan. 2012.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2012 http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** 3ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011, 604 p.

LOMBARDO, M. A.; MACHADO, R. P. P. **Aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações geográficas nos estudos Urbanos.** Revista do Departamento de Geografia. v. 10, p. 1-11, 1996.

MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília: UNB, 2001.

MENESES, P. R. **Sensores Imageadores Multiespectrais na Faixa Óptica (0,45 – 2,5 µm).** In: MENESES, P. R.; ALMEIDA,

MAGALHÃES, I.A.L. et al. Caracterização da dinâmica espectro temporal...
T. Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília, DF. Ed. UNB, 2012. 276p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2003.

MOREIRA, M. A.; GALVÃO, L. S.; CASTRO, R. M.; **Caracterização da reflectância espectral de materiais urbanos com imagens do sensor HSS**. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Anais..., Florianópolis: INPE, 2007. p. 6489 -6496.

NANNI, M. R. **Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento dos solos**. 2000. 366p. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

NOVO, E. M. de M. **Sensoriamento Remoto; Princípios e Aplicações**. 4 ed. São Paulo. Edgar Blucher, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S.; EPIPHANIO, J. C. N. **Influência da resolução espacial sobre a quantificação de áreas não florestadas em ambiente Amazônico**. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Anais..., Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1713 -1720.

SIQUEIRA, J. D. P.; LISBOA, R. S.; FERREIRA, A. M.; SOUZA, M. R. F.; ARAÚJO, E.; LISBÃO KUNIOR, L.; SIQUEIRA, M. M. **Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do**

MAGALHÃES, I.A.L. et al. Caracterização da dinâmica espectro temporal...

Estado do Espírito Santo. Revista Floresta. V. 34, n. 2 p. 3-67, 2004.

SILVA, E. A.; MARANGON, G. P.; DESSBESELL, L.; MORAIS, W. W.; LIPPERT, D. B.; PEREIRA, R. S. **Caracterização espectral na reflectância de *Eucalyptus grandis*.** FLORESTA, v. 42, n. 2, p. 285 - 292, 2012.

SOUZA, R. C. A.; KUX, H. J. H.; **Comportamento Espectral e Alvos Urbanos: simulação com as bandas espectrais do satélite CBERS.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Anais..., Goiânia: INPE, 2005. p. 1099 -1106.

WATANABE, F. S. Y.; IMAI, N. N.; BARBOSA, C. C. F.; ARAUJO, A. P. **Avaliação do comportamento espectral da água: estudo de caso do alto curso do rio Paraná (Presidente Epitácio – SP).** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2010, Anais..., Recife, 2010. p. 1 -8.

Recebido em março de 2013
Aceito em setembro de 2013