



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Caracterização e Avaliação das Respostas Espectrais de Alvos no município de Itapemirim, ES, por meio de Sensoriamento Remoto Orbital

Ivo Augusto Lopes Magalhães¹, Alexandre Cândido Xavier²

¹Engenheiro Ambiental, Doutorando em Geoprocessamento pelo Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade de Brasília, CEP 70910-900, Brasília, DF. ivosmagalhaes@gmail.com. ²Engenheiro Agrícola, Doutor em Irrigação e Drenagem pela Universidade de São Paulo - USP, professor no Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, CEP 29500-000, Alegre, ES. Alexandre.candido.xavier.ufes@gmail.com

Artigo recebido em 13/11/2017 e aceito em 30/05/2018

RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar a resposta espectral dos alvos floresta estacional submontana, floresta estacional semidecidual, duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*), solo exposto, área urbana e corpo hídrico por meio do satélite Landsat – 5TM no município de Itapemirim, ES. A metodologia consistiu na obtenção da imagem por meio do catálogo de imagens do INPE. Por conseguinte, realizou-se o processamento digital de imagem expresso na sequência metodológica: Mosaico, Registro, Correção atmosférica e transformação para reflectância bidirecional. Por meio dos resultados comprovou-se que floresta estacional semidecidual apresentou maior absorção na região do VIS em relação a floresta estacional submontana. Entretanto, as duas formações florestais apresentaram comportamento espectral típico de uma vegetação sadia, com predomínio de baixos valores de reflectância na faixa espectral do azul e vermelho, média reflectância no canal do verde e uma alta reflectância no infravermelho próximo. Os dados do sensor TM foram eficazes para obtenção e caracterização das curvas espectrais da vegetação, cana-de-açúcar, solo exposto e corpo hídrico na área em estudo. Para estudos com maior precisão de resposta espectral de área urbana, sugere-se o uso de imagens de satélite de alta resolução espacial para coleta do perfil espectral de maneira pontual.
Palavras-chave: Geoprocessamento; Recursos naturais; Área urbana.

Characterization and Evaluation of Spectral Response of Targets in the municipality of Itapemirim, ES, by means of Remote Orbital Sensing

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize and to evaluate the spectral response of submontane seasonal forest, semideciduous seasonal forest, two sugarcane varieties (*Saccharum officinarum L.*), exposed soil, urban area and water body by means of the Landsat - 5TM satellite in the municipality of Itapemirim, ES. The methodology consisted in obtaining the image through the INPE image catalog. Therefore, the digital image processing expressed in the methodological sequence was performed: Mosaic, Record, Atmospheric correction and transformation for bidirectional reflectance. By means of the results, it was verified that semideciduous seasonal forest presented greater absorption in the VIS region in relation to submontane seasonal forest. However, the two forest formations showed typical spectral behavior of healthy vegetation, with low reflectance values in the spectral range of blue and red, medium reflectance in the green channel and high reflectance in the near infrared. The TM sensor data were effective for obtaining and characterizing the spectral curves of vegetation, sugarcane, exposed soil and water body in the study area. For studies with greater accuracy of urban area spectral response, it is suggested the use of satellite images of high spatial resolution to collect the spectral profile in a punctual way.
Keywords: Geoprocessing; Natural Resources; Urban area.

Introdução

O bioma Mata Atlântica possui extrema importância ambiental com uma enorme

biodiversidade, tornando-se passíveis de pesquisas, análises e monitoramentos.

Dentre as diversas técnicas existentes para estudos ambientais, o uso do geoprocessamento, por meio do Sensoriamento Remoto - SR e os Sistemas de Informações Geográficas - SIG destacam-se por possuírem diversas metodologias precisas e menos onerosas (Magalhães; Xavier; Santos, 2013).

Conforme Jensen, (2011) 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.

A aquisição de informações por meio do sensoriamento remoto pode ser adquirida por meio de diversas maneiras, como por exemplo: espectrorradiômetro de campo, em laboratório, a nível de aeronave e orbital (Moreira, 2011).

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).

O termo orbital é denominado 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 (USGS, 2013).

De acordo com Meneses (2012) as imagens dos sensores orbitais 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

Material e Métodos

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

número de pesquisas sobre as respostas espectrais de alvos está relativamente aumentando, essas pesquisas estão sendo realizadas com intuito de diferenciação de espécies vegetais por meio da curva espectral apresentada (Fonseca; Rosa; Fontana, 2002; AParicio, 2007; Magalhães; Xavier; Santos, 2013; Magalhães; Carvalho Júnior; Santos, 2017). discriminação de alvos urbanos (Myint; Mesev; Lam, 2006; Lombardo e Machado, 2011; Durán; Prado; Pereira, 2013). caracterização espectral de solos (Madeira Netto 2001; Shepherd e Walsh, 2002; Dalmolin et al., 2005); e resposta espectral de corpos hídricos (Breunig et al., 2007; Ferreira e Pereira Filho, 2009; Cicerelli e Galo, 2015).

Neste contexto Meneses (2012) afirma que as imagens dos sensores na faixa óptica do espectro eletromagnético possuem grande potencial para analisar as intensidades da radiação refletida, como também, conhecer as propriedades e a composição de diversos alvos.

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.

A vantagem da caracterização espectral de alvos por meio de imagens orbitais é que pode ser realizado em extensas áreas e com tempo reduzido para obtenção de resultados.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi caracterizar e avaliar as respostas espectrais dos alvos floresta estacional submontana, floresta estacional semidecidual, duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*), solo exposto, área urbana e corpo hídrico por meio do satélite Landsat – 5TM no município de Itapemirim, ES.

estacional semidecidual submontana. Todos de domínio do bioma Mata Atlântica (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.

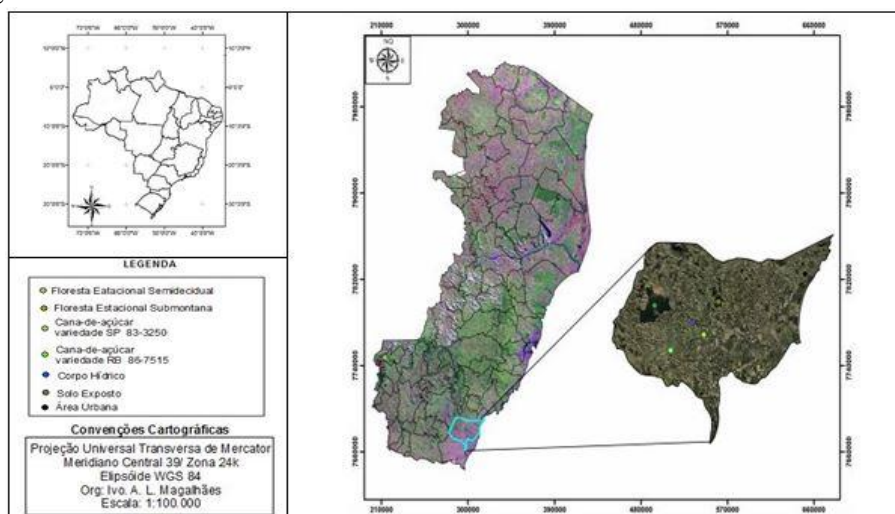


Figura 1: Localização geográfica do município de Itapemirim, ES representada em composição falsa-cor LANDSAT 5- TM (2B/3R/4G).

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 10.4.

A execução metodológica desenvolvida neste trabalho é expressa na seguinte sequência metodológica: Seleção da imagem, a seleção da imagem do sensor *Thematic Mapper* (TM) foi realizada 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 nuvem em cada cena.

Utilizou-se uma cena do sensor TM-5, (Tabela 1 e 2), a imagem foi adquirida por meio do endereço eletrônico: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Tabela 1. Características das imagens Landsat-5 sensor TM.

Banda	Faixa espectral (µm)	Região do espectro	Resolução espacial (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 termal	120 x 120
TM-7	2,08 – 2,35	IV médio	30 x 30

Fonte: INPE, (2013)

Tabela 2: Metadados da imagem Landsat 5-TM utilizados para parâmetros de Processamento digital.

Órbita/Ponto	Data da imagem	Azimute solar (°)	Elevação do Sol (°)	Período
216/074-075	10/11/2011	87,8918	62,8649	Chuvoso

Fonte: INPE, (2013).

Mosaico das imagens

As imagens do satélite Landsat apresentam uma faixa de imageamento de 185 km de largura (MOREIRA 2011), 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.

O registro das imagens Landsat 5-TM foi realizado tendo como base a imagem do mosaico ortorretificado *GeoCoover* 2000, de domínio 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*. 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 pixels mais próximos, sendo assim, não alterando os valores digitais dos pixels 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.

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

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

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

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 $w.m^2 sr.\mu m$.

($L_{min\lambda}$) e radiância máxima ($L_{max\lambda}$) proposto por (Chander; Markham; Helder, 2009), conforme descrito na Tabela 3.

Para a conversão de DN para radiância, foram utilizados os valores de radiância mínima

Tabela 3. Valores utilizados para a conversão de DN em imagem radiância.

Satélite Landsat 5-TM ($Q_{calmin}=1$ e $Q_{calmax}=255$)					
Bandas	Faixa Espectral	$L_{min\lambda}$	$L_{max\lambda}$	Grescala	Brescala
Unidades	μm	$w/(m^2 sr \mu m)$		$w/(m^2 sr \mu m)/DN$	$w/(m^2 sr \mu m)$
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.

$$\rho = \frac{L_{\lambda}}{ESol_{\lambda} \cos \theta_s} \quad (4)$$

(4)

Em que:

- ρ = reflectância medida ao nível do satélite, adimensional;
- L_{λ} = radiância espectral no detetor, em $w.m^2 sr.\mu m$;
- d = distância Terra-Sol, em unidades astronômicas;
- $ESol_{\lambda}$ = irradiância solar exoatmosférica média, em $w.m^2 sr.\mu m$;
- θ_s = ângulo zenital solar, em graus.

Os valores utilizados para conversão das imagens radiância em imagens reflectância estão descritos conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Valores utilizados de $ESol_{\lambda}$ para conversão de radiância para reflectância.

Banda TM	$ESol_{\lambda}$
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).

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 vies 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.

Aquisição do índice de área foliar – IAF

O Índice de Área Foliar (IAF) foi coletado pelo método indireto por meio do espectrorradiômetro não imageador LAI – 2000

(LI-COR, 1992). A calibração do aparelho e as coletas do IAF foram realizadas em 04/07/2012.

A leitura do IAF foi obtida pela média dos 11 pontos coletados aleatoriamente em dia nublado, com radiação difusa, com o sensor oposto a direção do Sol e distante de 100 m das bordas da cultura e dos fragmentos florestais. Foram medidos 11 pontos aleatórios nos seguintes alvos terrestres:

Floresta Estacional semidecidual, Floresta Estacional semidecidual submontana, cana de açúcar com 2 e 12 meses. A metodologia de aquisição dos pontos consistiu na coleta de 1 ponto acima do dossel da cana-de açúcar e dos fragmentos florestais e 10 pontos em locais diferentes, abaixo do dossel das mesmas.

Entretanto, para a coleta do IAF da cana de açúcar foi realizado a leitura do IAF abaixo das folhas verdes e acima das palhas secas (Figura 2).



Figura 2. Imagem Fotográfica demonstrativa da técnica utilizada na coleta do índice de Área Foliar por meio do espectrorradiômetro LAI-2000.

Utilizou-se a máscara de leitura de 45°, no intuito de minimização de erros por interferência de alvos presentes na parte anterior ao coletor (LI-COR, 1992).

Os procedimentos metodológicos realizados para análise espectral dos alvos no município de Itapemirim, ES, estão sintetizados conforme o fluxograma da Figura 3.

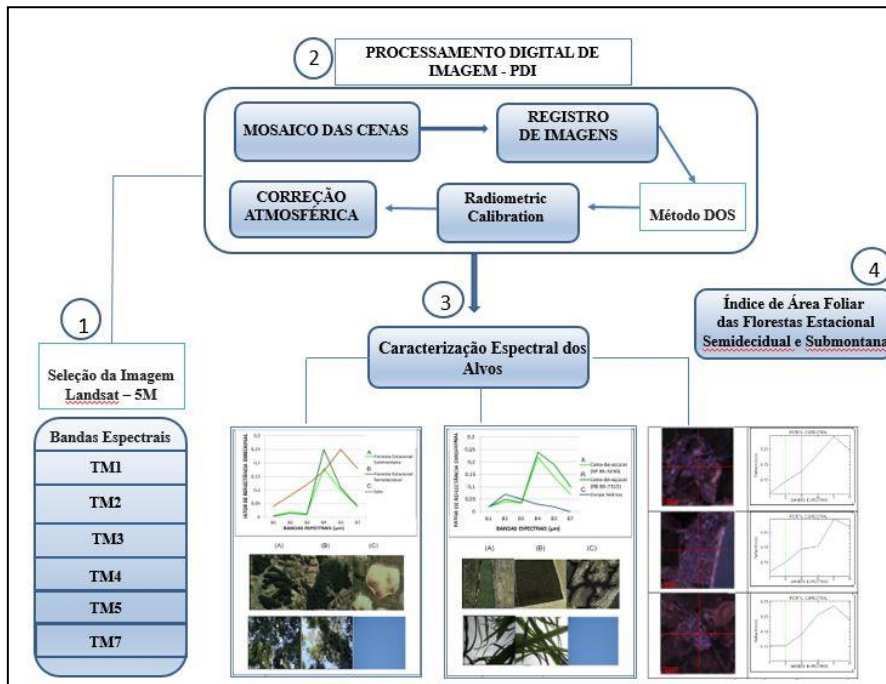


Figura 3. Fluxograma Metodológico demonstrativo das etapas realizadas no desenvolvimento do estudo.

Resultados e discussão

A imagem do sensor TM apresentou precisão superior ao limite de erro aceitável para analisar respostas espectrais de alvos. A imagem registrada apresentou um erro médio quadrático

(RMS) menor que 0,5 *pixels* (15 m) de deslocamento nos eixos x e y. A Figura 4 demonstra a precisão no registro da banda espectral do infravermelho próximo da área de estudo, tendo como referência a imagem *GeoCover 2000*.

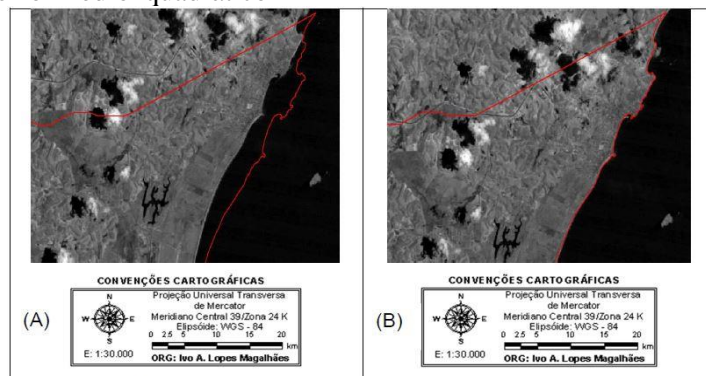


Figura 4. A) Área representativa do município de Itapemirim, ES antes do registro, e B) após o registro por meio da imagem de referência *GeoCover 2000*.

No registro da imagem os pontos de controle foram coletados em alvos específicos como rios, telhados e cruzamentos de estradas.

Dai e Khorram (1998), e Crósta (2002), corroboram com este estudo ao retratar que o RMS

menor que 0,5 *pixels* é aceitável para análise da vegetação em datas distintas. Segundo estes autores, no estudo uma precisão de 90% na detecção de mudanças por meio de séries de imagens multitemporais.

Correção atmosférica

Ocorreu diferença entre os valores digitas de radiância para cada banda espectral após a

Após a subtração dos *pixels* espúrios, os valores digitais corrigidos foram reamostrados, gerando uma nova imagem corrigida com alterações dos valores digitais, resultando na

correção atmosférica pelo método DOS. Observa-se pela Figura 5, que a presença de *pixels* espúrios em cada figura.

modificação do início da localização do histograma na reta do eixo X, atribuindo valores digitais diferentes para cada alvo na imagem.

A presença de *pixels* espúrios nas imagens, causado pelos efeitos atmosféricos como poeiras, aerossóis e partículas suspensas entre o sensor e a

superfície de captura resultou no acréscimo do valor de radiância na imagem, aumentando visualmente a sua opacidade.

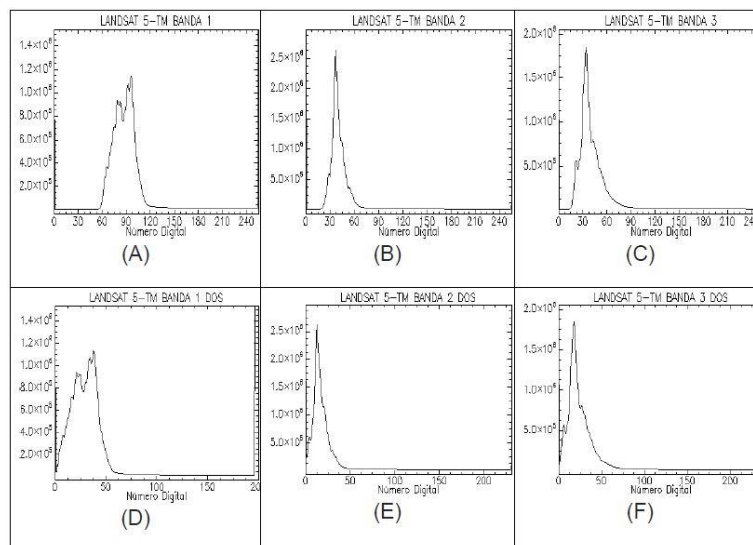


Figura 5. Histogramas de frequência da imagem antes da correção atmosférica, bandas 1(A), 2(B) e 3(C), e após a correção atmosférica, bandas 1(D), 2(E) e 3(F).

Os efeitos atmosféricos contribuíram para aumento do ND na imagem, contudo, ressalta-se que os valores subtraídos referentes a presença de pixels espúrios foram decaindo em relação as faixas espectrais do azul (B) ao Infravermelho próximo (IVP), por motivo do aumento do comprimento de onda das bandas espectrais.

Sanches et al., (2011) ao compararem 3 métodos de correção atmosférica e tiveram como resultado a diminuição dos valores subtraídos dos pixels espúrios em cada banda espectral, proveniente do aumento do comprimento de ondas.

Os autores também realizaram a correção dos efeitos atmosféricos nas faixas espectrais do visível ao Infravermelho Próximo. Porém neste estudo, não foi constatado presença de pixels

espúrios nas faixas espectrais com comprimento de ondas superiores ao IVP.

Ao analisar os valores de radiância da floresta estacional semidecidual, observou-se que na região do azul, os valores situaram entre 58 a 69 ND, porém, após a correção a mesma floresta apresentou valores entre 8 e 12 ND.

Já para a cana-de-açúcar ocorreu valores também discrepantes antes de correção atmosférica, onde na região do azul os valores situaram-se entre 64 a 78 ND e após a correção, estes valores permaneceram entre 8 a 20 ND.

Na região do visível foram mensurados valores discrepantes de ND do para os dois alvos em análise (Figura 6).

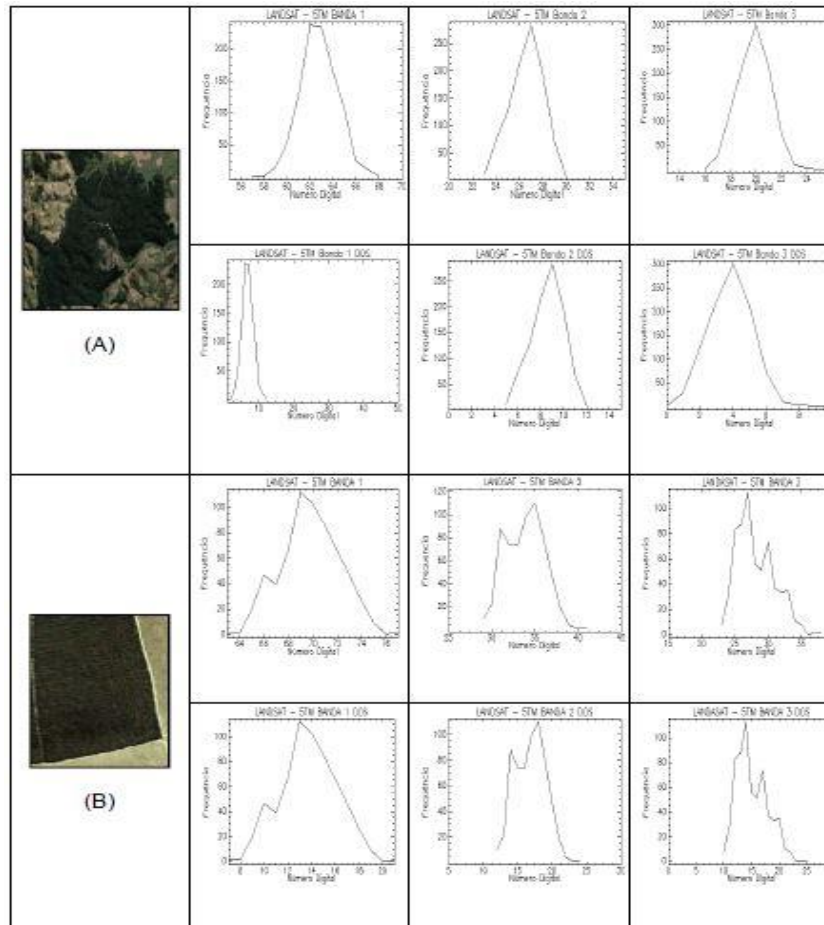


Figura 6. Histogramas de Frequência dos alvos: (A) Floresta Estacional Semidecidual e (B) Cana de açúcar variedade SP 83-3250 antes e após a correção atmosférica pelo método DOS.

O maior valor de 60 ND foi subtraído na faixa espectral do azul, na faixa espectral do verde foi subtraído 29 ND, na faixa do vermelho banda 14 ND e na faixa do Infravermelho Próximo 8 ND.

Chavez (1988) em seu trabalho também relacionou os valores dos números digitais subtraídos em cada faixa espectral após a correção atmosféricas. Já Gurtler; Luiz; Epiphanyo, (2003), também corroboram com este estudo utilizaram o método DOS para corrigir os efeitos atmosféricos em imagens Landsat multitemporais com valores de números digitais nas Bandas 1, 2 e 3 semelhantes aos subtraídos para este estudo.

Caracterização espectral dos alvos

Obteve-se um perfil espectral para cada alvo analisado (Figura 7). Os perfis espectrais para a vegetação apresentaram valores semelhantes na região do visível, contudo, na região do infravermelho apresentaram maior diferença.

As duas florestas apresentaram comportamento espectral típico de uma vegetação sadia, com predomínio de baixos valores de reflectância na faixa espectral do azul e vermelho, média reflectância no canal do verde e uma alta reflectância no canal do infravermelho próximo.

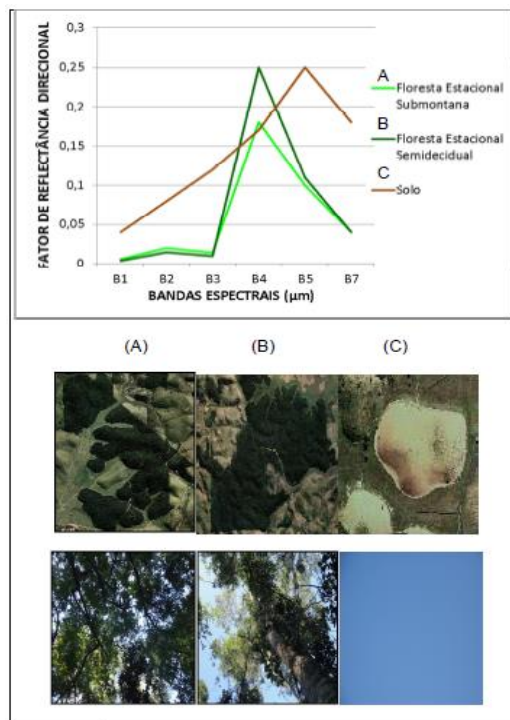


Figura 7. Reflectância espectral, paisagem e cobertura vegetal representativa de diferentes alvos no município de Itapemirim, ES: A) Floresta estacional semidecidual; B) Floresta estacional submontana e C) Solo exposto.

Resposta Espectral da vegetação

Curvas espectrais semelhantes na região do visível, com acentuado valor na região do IVP também foi obtido por Breunig; Galvão; Formaggio (2011), ao caracterizar espectralmente a vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita, RS com produto MODIS.

Ainda analisando a Figura 7 infere-se que a floresta estacional semidecidual apresentou maior absorção na região do VIS em relação a floresta estacional submontana.

Por esses valores apresentados comprovou-se uma maior presença de pigmentos fotossintetizantes e material fotossinteticamente ativo na floresta semidecidual quando comparado a floresta submontana.

Jensen, (2011) atribui que a clorofila-a da vegetação possui máxima reflectância em torno de 0,5 a 0,6 μm (verde), forte absorção entre 0,4 e 0,5 μm (azul) e 0,63 a 0,7 μm (vermelho). A floresta estacional semidecidual e a floresta submontana com a presença de espécies como: *Joannesia principes* (Boleira), *Lecythis pisonis* (Sapucaia), região do vermelho ao quantificar áreas florestadas no ambiente amazônico.

Na banda do Infravermelho Próximo foi mais distinguível a diferença entre as respostas espectrais, apresentando-se como melhor região para discriminação da vegetação em análise. Nesta região a floresta submontana apresentou menor

Astronium graveolens (Aderne), *Crataeva tapia* (Tapiá) e *Ficus* spp

(Gameleira), após a aferição do índice de Área Foliar na data de 28/04/2013 apresentou IAF de 3,2 m.m^{-2} com desvio-padrão de 0,28 m.m^{-2} e 3,98 m.m^{-2} com desvio-padrão de 0,22 m.m^{-2} .

Os valores de IAF, comprovaram que os dosséis das duas florestas estão bastante densos com pouca abertura entre as copas das árvores e alta reflectância no canal do verde, 0,5 a 6 μm , com o maior valor de reflectância no VIS 0,02.

Este valor retrata o aspecto visual da cor verde, como cor predominante na vegetação em estudo.

Pela análise dos perfis espectrais infere-se que a alta absorção na região do vermelho é reflexo de uma vegetação com espécies densas com pouco espaçamento entre as copas, comprovando que não há presença de solo exposto por desmatamento ou por perturbação florestal.

Ponzoni; Galvão; Epiphanyo (2011) atribuíram o espaçamento e estratificação dos dosséis aos baixos valores de reflectância na

reflectância, com 0,18, em relação à floresta estacional semidecidual com 0,25.

Pelos valores infere-se que a floresta semidecidual apresenta espécies com presença de folhas mais espessas, por conseguinte, diminuindo a transmitância e aumentando a reflectância da REM.

A floresta estacional semidecidual possui espécies que apresentam folhas com maiores estruturas lacunares internas em relação à floresta submontana. Pois, de maneira geral, Ponzoni e Shimabukuro, (2010) advertem que quanto mais espaçoso for a composição interna da folha, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, resultando em uma maior reflectância.

Infere-se também, que a diferença das curvas espectrais na região do IVP também pode ser atribuída à quantidade de camadas de folhas presente entre o dossel e o solo. Como a floresta estacional semidecidual apresentou maior reflectância no IVP, conseqüentemente pode ser caracterizado como uma floresta mais densa do que a floresta submontana. Entretanto, comprova-se que as duas florestas apresentaram a folhagem vistosa no ato do imageamento pelo sensor TM.

Silva et al., (2012) analisaram os valores de reflectância das folhas de espécies de *Eucalyptus grandis* no município de Santa Maria, RS. Os autores constataram que o maior valor de reflectância na região do VIS está relacionado a clorofila.

Já Affonso; Valeriano; Batista (2005) ao caracterizarem espectralmente diferentes espécies florestais provindas da floresta Amazônica por meio de dados do Sensor ETM+, constataram que a maior distinção dos valores de reflectância entre os vegetais também ocorreram na região do IVP. Resultado semelhante ocorreu neste estudo onde as curvas espectrais apresentaram as maiores diferenças na região do IVP.

Resposta Espectral do solo

Resposta Espectral da Área Urbana

A área urbana apresenta as respostas espectrais de diferentes alvos como concreto, telha de barro, asfalto, cobertura de alumínio, tijolos e vegetação. Moreira; Galvão; Castro, (2007) atribuíram as diferentes respostas espectrais na área urbana, aos seus constituintes que são agregados com o tempo como: proliferação de fungos, vegetação, água das chuvas, e o desgaste da superfície.

As amostras de solo exposto, analisadas por meio da imagem orbital, apresentaram baixo valor de reflectância na região espectral do azul e verde, 46 contudo, foi mensurado na região do vermelho um alto albedo de 0,19. A baixa reflectância na região do VIS é característica de solo argiloso com grandes partículas constituintes e maior espaçamento entre seus poros.

De acordo com Nanni (2001), os solos mais argilosos apresentam menor reflectância ao comparar com solos mais arenosos, dessa maneira, pelo perfil espectral obtido do solo da área em estudo pode-se atribuir a essa classe.

Segundo Meneses e Madeira Netto (2001), a assinatura espectral do solo é derivado dos seus elementos constituintes, matéria orgânica, elementos químicos e granulometria.

No entanto, o solo em análise apresentou alta reflectância na região do vermelho, caracterizando-o pela sua coloração avermelhado. Pode-se inferir que os valores médios de pixels de alvos, como, vegetação, presentes na camada superficial do solo podem ter contribuído para os médios valores mensurados na área em estudo.

Demattê; Toledo; Simões, (2004) sustentam a importância de considerar outras fontes de variação para análise espectral do solo, tais como: a fonte de iluminação, a heterogeneidade dos alvos, e a unidade de geometria angular de visada e a iluminação.

Genú (2006) corrobora com este estudo, ao analisar amostragens de solo Latossolo Vermelho Distrófico por meio do sensor orbital TM, em seu trabalho o autor obteve um perfil espectral semelhante ao mensurado na região para a região do visível.

A presença de concreto e telhas de barro contribuíram para o alto valor de reflectância na região do VIS, aumentando a sua reflectância em função do comprimento de onda. Embora as três curvas espectrais referentes a regiões urbanas distintas não sejam idênticas, comprovou-se que toda a área urbana no município apresentou altos valores de reflectância na região do visível (Figura 8).

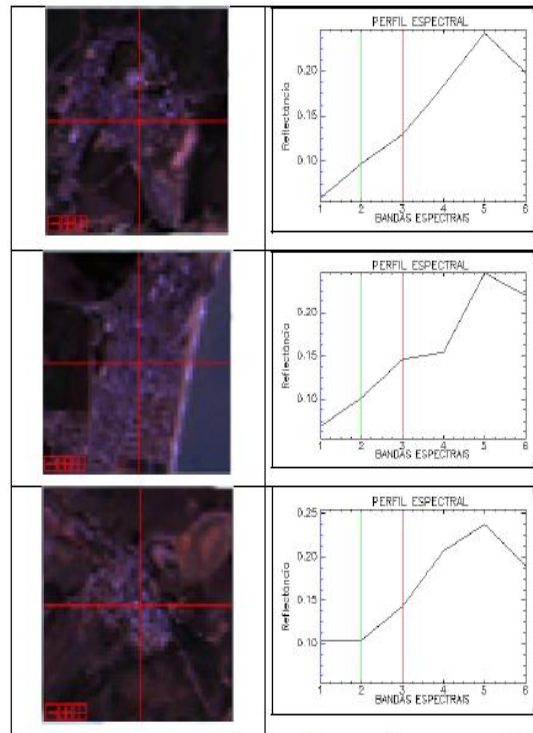


Figura 8. Espectros de reflectância de três localizações diferentes na área urbana do município de Itapemirim, ES.

Justifica-se a alta reflectância na região do vermelho, pela expressiva presença de residências construídas de tijolo com telhado de barro que apresentam uma pigmentação avermelhada.

No entanto, outro fator que pode ter contribuído para o alto valor da reflectância na banda do vermelho, foi influência do solo exposto, ruas e calçadas não pavimentadas que se encontram em diversas partes da área urbana.

Na região do infravermelho próximo a alta reflectância pode estar relacionada com a composição estrutural do material do material utilizado na construção.

Souza e Kux (2005) realizaram um estudo da resposta espectral de diversos objetos presentes na urbanização da cidade de São José dos Campos, SP por meio de imagens CBERS.

Os autores obtiveram altos valores espectrais para região do vermelho. Lombardo e Machado (1996) afirmam que as áreas urbanas não podem ser caracterizadas por um comportamento espectral padrão, pois apresentam enorme heterogeneidade de alvos com distintas características físico-químicas.

Resposta Espectral da Cana-de-Açúcar

Nas aferições do IAF para cana de açúcar com 12 meses, foi mensurado em 2,40 m.m⁻² com desvio-padrão de 0,20 m.m⁻². Já para a cana-de-açúcar com 2 meses de plantio foi apresentado um IAF de 0,7 m.m⁻² com desvio-padrão de 0,22 m.m⁻².

². A assinatura espectral da cana-de-açúcar, variedade SP 83-3250 apresentou o maior valor de reflectância, 0,045 (Figura 9) na região do visível, esse valor encontra-se na região do verde, caracterizando uma cultura sadia, livre de praga e doenças.

A alta absorção na região do vermelho é explicada pela presença de elementos fotossintetizantes, ocorrendo nas duas variedades. Na região do verde (0,5 a 0,6 μm) a variedade SP 83-3250 apresentou menor reflectância do que na variedade RB 86-7515, caracterizando uma maior quantidade de palha seca da variedade, pois a palha pode interferir na reflectância nesta região.

Valores espectrais semelhantes para a cana-de-açúcar foi encontrado no estudo de Fortes (2003). O autor utilizou dados do sensor ETM+ para discriminar 5 variedades diferentes de cana-de-açúcar, no entanto, foi encontrado pouca diferença da resposta espectral na região do visível. Entre os comprimentos de onda obtidos nessa região, evidenciou-se maior reflectância na região do verde.

As variedades de cana-de-açúcar RB 86-7515 e SP 83-3250 apresentaram respostas espectrais semelhantes, com 0,05 na região do vermelho e 0,24 na região do IVP. A melhor distinção ocorreu na região do IVP.

A maior reflectância na região do IVP foi obtida pela variedade RB 86-7515. Como as duas curvas espectrais para as variedades foram distintas

nesta região, a razão para a menor absorção no IVP pode estar relacionado ao espaçamento do plantio, menor presença de folhas verdes e camadas de folhas.

Embasando-se nas curvas espectrais infere-se que as baixas respostas espectrais na

região do azul, vermelho, e alta no IVP caracterizam que as duas variedades de cana-de-açúcar estão em estágio de crescimento, com grande quantidade de pigmentos fotossintetizantes ativos nas folhas.

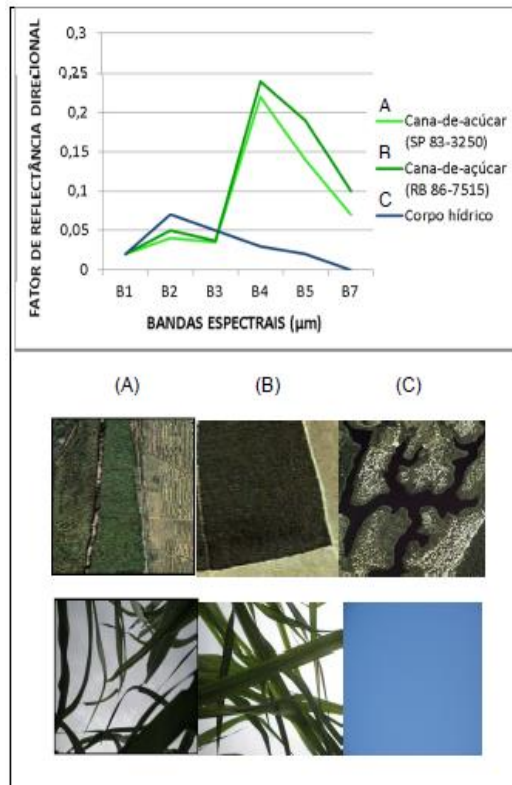


Figura 9. Reflectância espectral média, paisagem e cobertura vegetal representativa da cana-de-açúcar variedade SP 83-3250 e RB 86-7515 e corpo hídrico em Itapemirim, ES: (A) Variedade SP 83-3250; (B) Variedade RB 86-7515 e (C) Corpo hídrico.

Resposta Espectral do Corpo Hídrico

Para o corpo hídrico mensurou uma alta absorção de energia na região do azul. A curva espectral obtida pode ter ocorrido em função da presença de fitoplânctons e algas que apresentam clorofila-a, responsáveis pela absorção da energia eletromagnética na faixa do azul, contribuindo para baixa reflectância.

O perfil espectral obtido para o corpo hídrico não apresentou uma curva típica de uma água pura, apresentando uma elevada resposta espectral nas faixas do verde e vermelho.

Para que este corpo hídrico apresentasse uma curva espectral típica de uma água pura, os valores de reflectância na região do azul apresentariam um valor baixo, com tendência a diminuição da reflectância em função do aumento do comprimento de onda.

Encontrou-se um elevado pico de reflectância na região do verde 0,07. Esse valor

pode ser explicado pela presença de elementos fotossintetizantes, algas com pigmentos e vegetação acima da água e típicas de corpos hídricos em eutrofização (Figura 10).

O menor valor de reflectância foi encontrado na região do vermelho 0,05 devido à presença de sólidos em suspensão provenientes de carreamento de partícula de solo.

Como a imagem foi obtida no verão, em período chuvoso, a presença de sólidos em suspensão carreados pela água de chuva pode ter proporcionado o aumento da turbidez e consequentemente resultado em médios valores de albedo na faixa do vermelho.

Na região do IVP o valor de reflectância apresentou uma diminuição no valor, sendo mensurado em 0,03. Esse baixo valor de reflectância pode estar relacionado à presença de matéria orgânica dissolvida na água.



Figura 10. Imagem fotográfica ilustrativa do corpo hídrico com presença de sedimentos e macrófitas aquáticas.

Ferreira e Pereira Filho, (2009) avaliaram a resposta espectral da água *in loco* em três sub-bacias no município de Santa Maria, RS por meio de espectrorradiometria de campo. Nessa pesquisa os resultados atípicos das curvas espectrais obtidos na região do verde foram atribuídos à presença de sólidos em suspensão e pigmentos fotossintetizantes.

Já Gitelson; Schalles; Hladik, (2007) analisaram as respostas espectrais da água com a presença de clorofila a e fitoplânctons em um corpo hídrico com turbidez aparente situado em Nebraska e Iowa nos Estados Unidos da América. No trabalho os autores obtiveram uma alta correlação espacial quando comparado as respostas espectrais

do corpo hídrico com vegetação nas bandas do visível e na região próxima ao infravermelho próximo. Os perfis espectrais obtidos por estes autores apresentam semelhança com a resposta espectral do corpo hídrico neste trabalho com presença de elementos fotossintetizantes e macrófitas na água.

Para este estudo a alta reflectância na faixa do verde foi atribuída à presença de macrófitas submersas na água. As respostas espectrais dos alvos analisados em Itapemirim, ES estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de Reflectância Bidirecional para os alvos analisados.

Bandas Espectrais	Floresta Estacional Submontana	Floresta Estacional Semidecidual	Área Urbana	Solo Exposto	Corpo Hídrico	Cana de açúcar RB 86-7515	Cana de açúcar SP 83-3250
TM1	0,006	0,004	0,063	0,04	0,02	0,02	0,02
TM2	0,02	0,015	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04
TM3	0,014	0,01	0,13	0,12	0,05	0,037	0,035
IVP	0,18	0,25	0,16	0,17	0,03	0,24	0,22
IVM	0,1	0,11	0,25	0,25	0,02	0,19	0,14
IVD	0,04	0,04	0,21	0,18	0	0,1	0,17

CONCLUSÃO

Perante as condições em que os estudos foram desenvolvidos, a análise dos resultados permitiu apresentar as seguintes conclusões:

Os dados do Sensor TM permitiram a extração de informações espectrais dos alvos analisados, como também a caracterização e discriminação das diferentes formações florestais e variedades de cana-de-açúcar.

Para estudos com maior precisão de resposta espectral de área urbana, sugere-se o uso

de imagens de satélite de alta resolução espacial para coleta do perfil espectral de maneira pontual.

A floresta estacional semidecidual, submontana e a cana-de-açúcar variedade SP83-3250 e RB86-7515 apresentaram respostas espectrais semelhantes na região do VIS. Entretanto, recomenda-se a banda do IVP, para distinção da vegetação e da cana.

Os dados do sensor TM foram eficazes para obtenção e caracterização das curvas

espectrais da vegetação, cana-de-açúcar, solo exposto e corpo hídrico na área em estudo.

Referências

- Affonso, A. G., Valeriano, D. M., Batista, G. T. 2005. 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. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. Disponível: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.21.01/doc/1407.pdf>. Acesso: 29 jan. 2013.
- Aparicio, C., 2007. Análise da Resposta Espectral de Espécies de Macrófitas. Tese (Doutorado). São Paulo, USP.
- Durán, G. B., Prado, D., Pereira, W. 2013. Caracterização da reflectância espectral de materiais urbanos com uso de espectrorradiômetro. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. Disponível: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1289.pdf>. Acesso: 2 jan. 2013.
- Breunig, F. M., Wachholz, F., Pereira Filho, W., Rudorff, C. M. 2007. Análise das propriedades ópticas da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva – Itaara, RS, Brasil, usando dados espectrais de campo e imagens orbitais multiespectrais. *Revista Ambi-Água* 2, 88-102.
- 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. 2011. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/233870655>. Acesso: 23 fev. 2013.
- Carriello, F., Miranda, F. G. P. F. J., Cardoso, P. A., Martins, S. P. Uso da transmitância na caracterização espectral de folhas verdes. 2003 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. Disponível: http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.16.17.10/doc/18_274.pdf. Acesso: 27 dez 2012.
- Chavez, J. P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. 24, 459-479.
- Chander, G., Markham, B. L., Helder, D. L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* 5, 893-903.
- Cicerelli, R. E., Galo, M. L. B. T. 2015. Sensoriamento remoto multifonte aplicado na detecção do fitoplâncton em águas interiores. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental*. 19, 259-265.
- Crósta, A. P. 2002. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. 4 ed. IG/Unicamp. Campinas.
- Dai, X.; Khorrarn, S. 1998. The Effects of Image Misregistration on the Accuracy of Remotely Sensed Change Detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 36, 1566-1577.
- Dalmolin, R. S. D., Gonçalves, C. N., Klamt, E., Dick, D. P. 2005. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural*. 35, 481-489.
- Demattê, J. A. M., Toledo, A. M. A., Simões, M. S. 2004. Metodologia para reconhecimento de três solos por sensores: laboratorial e orbital. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 28, 877-889.
- Ferreira, A. B., Pereira Filho, W. 2009. Avaliação da reflectância espectral de corpos d'água em Santa Maria-RS por meio de espectrorradiometria de campo. *Geoambiente On-line*. 13, 194-207.
- Fonseca, E. L., R, L. M. G., Fontana, D. C. 2002. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37, 365-371.
- Fortes, C. 2003. Discriminação varietal e estimativa de produtividade agroindustrial de cana-de-açúcar pelo sensor orbital ETM+/LANDSAT 7. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, ESALQ.
- Gitelson, A. A., Schalles, J. F., Hladik, C. M. 2007. Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study. *Remote Sensing of Environment*. 109, 464-472.
- Gürtler, S., Luiz, A. J. B., Epiphanyo, J. C. N. 2003. Uniformização de imagens Landsat para previsão de safras agrícolas. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. Disponível: <https://www.embrapa.br/web/mobile/publicacoes/-/publicacao/15115/uniformizacao-de->

- imagens-landsat-para-previsao-de-safras-agricolas. Acesso: 15 jan 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de geografia e Estatística, 2010. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=320280>>. Acesso: 23 jan. 2012.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html. Acesso: 26 jan. 2013.
- Jensen, J. R. 2011. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 3 ed. Parêntese. São José dos Campos.
- Lombardo, M. A.; Machado, R. P. P. 1996. Aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações geográficas nos estudos Urbanos. Revista do Departamento de Geografia. 10, 1-11.
- Madeira Netto, J. S. 2001. Comportamento espectral dos solos. In: Menezes, P. R., Madeira Netto, J. S. Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais. Brasília, 1 ed. EMBRAPA. Brasília.
- Magalhães, I. A. L., Carvalho Junior, O. A., Santos, A. R. 2017. Análise comparativa entre técnicas de sensoriamento remoto para mensuração da vegetação urbana no município de Alegre, ES. Revista Cerrados. 15, 156-177.
- Magalhães, I. A. L., Xavier, A. C., Santos, A. R. 2013. Caracterização da dinâmica espectro temporal florestal e da cana-de-açúcar no município de Itapemirim, ES. Revista Geosul. 28, 183-210.
- Menezes, P. R., Madeira Netto, J. S. 2001. Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais. Brasília, 1 ed. Embrapa. Brasília.
- Menezes, P. R. 2012. Sensores Imageadores Multiespectrais na Faixa Óptica (0,45 – 2,5 µm). In: MENESES, P. R., ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1 ed. Brasília.
- Moreira, M. A.; Galvão, L. S.; Castro, R. M.; 2007. Caracterização da reflectância espectral de materiais urbanos com imagens do sensor HSS. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.10.12.04/doc/6489-6496.pdf>. Acesso: 10 jan 2013.
- Moreira, M. A. 2011. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4 ed. Viçosa.
- Myint, S. W.; Mesev, V.; Lam, N. 2006. Urban Textural Analysis from Remote Sensor Data: Lacunarity Measurements Based on the Differential Box Counting Method. Geographical Analysis. The Ohio State University. 38, 371–390.
- Nanni, M. R. 2000. Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento dos solos. Tese (Doutorado), Piracicaba, ESALQ.
- Novo, E. M. de M. 2010. Sensoriamento Remoto; Princípios e Aplicações. 4 ed. Edgar Blucher, São Paulo.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. 2010. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. 1 ed. Parêntese. São José dos Campos
- Ponzoni, F. J. 2002. Sensoriamento Remoto no estudo da Vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica. 1 ed. INPE. São José dos Campos.
- Ponzoni, F. J., Galvão, L. S., Epiphânio, J. C. N. 2001. Influência da resolução espacial sobre a quantificação de áreas não florestadas em ambiente Amazônico. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2001/oral/043.pdf>. Acesso em: 13 jan 2012.
- Shepherd, K. D., Walsh, M. G. 2002. Development of Reflectance Spectral Libraries for Characterization of Soil Properties. Soil Science Society of America Journal, Madison. 66, 988-998.
- Siqueira, J. D. P., Lisboa, R. S., Ferreira, A. M., Souza, M. R. F., Araújo, E., Lisboa kunior, L., Siqueira, M. M. 2004. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do Estado do Espírito Santo. Revista Floresta. 34, 3-67.
- Silva, E. A., Marangon, G. P., Dessbesell, L., Moraes, W. W., Lippert, D. B., Pereira, R. S. 2012. Caracterização espectral na reflectância de *Eucalyptus grandis*. Floresta, 42, 285 - 292.
- Souza, R. C. A., Kux, H. J. H. 2005. Comportamento Espectral e Alvos Urbanos: simulação com as bandas espectrais do satélite CBERS. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.21.20/doc/1099.pdf>. Acesso: 14 jan 2013.
- USGS. United states geological survey. Landsat Mission. Disponível em: <https://www.usgs.gov/> Acesso: 10 maio 2012.