

## ARTIGO TÉCNICO

### **CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA SOJA AO LONGO DO CICLO VEGETATIVO COM IMAGENS LANDSAT 5/TM EM ÁREA AGRÍCOLA NO OESTE DO PARANÁ**

**ERIVELTO MERCANTE<sup>1</sup>, RUBENS A. C. LAMPARELLI<sup>2</sup>, MIGUEL A. URIBE-OPAZO<sup>3</sup>, JANSLE V. ROCHA<sup>4</sup>**

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi estudar as mudanças no comportamento espectral da cultura da soja, por meio dos perfis espectrais temporais dos índices de vegetação NDVI e GVI, expressos em diferentes valores físicos: fator de reflectância bidirecional (FRB) aparente, de superfície e normalizado derivados de imagens Landsat 5/TM. Foi monitorada área de cultura de soja localizada próxima ao município de Cascavel - PR, utilizando cinco imagens da safra de 2004/2005, sendo realizados nessas imagens os procedimentos de transformação radiométrica, correção atmosférica e normalização, determinando valores físicos dos fatores de reflectância bidirecional aparente, de superfície e normalizado, respectivamente. Com o intuito de caracterizar a resposta espectral da biomassa da soja, geraram-se imagens referentes aos índices de vegetação NDVI e GVI. Como resultado, a cultura mostrou-se diferente para os tratamentos dos fatores de reflectância bidirecional aparente, de superfície e de normalização. Por meio dos perfis médios espectrais do NDVI e GVI, foi possível acompanhar todo o ciclo da cultura da soja, caracterizando o seu desenvolvimento. Observou-se, ainda, que os dados provenientes do fator de reflectância bidirecional normalizado descaracterizaram a curva espectral da cultura da soja, principalmente em meio à fase de crescimento vegetativo, na data de 9-12-2004.

**PALAVRAS-CHAVE:** imagens orbitais, correção atmosférica, normalização de imagens.

### **SPECTRAL CHARACTERISTICS OF SOYBEAN DURING THE VEGETATIVE CYCLE WITH LANDSAT 5/TM IMAGES IN THE WESTERN PARANÁ, BRAZIL**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to analyze changes in the spectral behavior of the soybean crop through spectral profiles of the vegetation indexes NDVI and GVI, expressed by different physical values such as apparent bi-directional reflectance factor (BRF), surface BRF, and normalized BRF derived from images of the Landsat 5/TM. A soybean area located in Cascavel, Paraná, was monitored by using five images of Landsat 5/TM during the 2004/2005 harvesting season. The images were submitted to radiometric transformation, atmospheric correction and normalization, determining physical values of apparent BRF, surface BRF and normalized BRF. NDVI and GVI images were generated in order to distinguish the soybean biomass spectral response. The treatments showed different results for apparent, surface and normalized BRF. Through the profiles of average NDVI and GVI, it was possible to monitor the entire soybean cycle, characterizing its development. It was also observed that the data from normalized BRF negatively affected the spectral curve of soybean crop, mainly, during the phase of vegetative growth, in the 12-9-2004 image.

**KEYWORDS:** orbital images, atmospheric correction, image normalization, monitoring.

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor Adjunto, CCET/UNIOESTE, Cascavel - PR, Fone: (0XX45) 3220.3228, eriveltomercante@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Pesquisador, CEPAGRI/UNICAMP, Campinas - SP.

<sup>3</sup> Estatístico, Prof. Associado, CCET/UNIOESTE, Cascavel - PR.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof. Livre-Docente, FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 12-9-2007

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 12-5-2009

## INTRODUÇÃO

São muitas as tentativas de utilização de ferramentas alternativas capazes de prover informações específicas e confiáveis com relação ao estado das lavouras agrícolas. Técnicas ligadas ao sensoriamento remoto surgem como instrumental de elevado potencial, tanto na coleta como no processamento das informações referentes às áreas agrícolas.

A correta utilização dos dados provenientes de imagens de satélites está condicionada principalmente pelas propriedades de reflectância e absorção dos componentes da superfície e pelo comportamento da atmosfera. A atmosfera afeta as imagens em diferentes comprimentos de onda por espalhamento, absorção e refração da luz. Essa interação provoca alterações significativas na propagação da radiação proveniente de um alvo (SONG & WOODCOCK, 2003).

Mesmo depois de muitos anos de operação do satélite Landsat 5, o sensor TM continua a operar de forma satisfatória. Não obstante, o instrumento envelheceu, e suas características alteraram desde o seu lançamento, ocorrendo mudanças no calibrador interno dos instrumentos. O trabalho de CHANDER & MARKHAM (2003) apresenta o desenvolvimento de procedimento para melhorar a calibração do sensor TM, fornecendo aos usuários dos dados do Landsat 5/TM métodos e parâmetros para converter os dados da imagem, números digitais (NDs) para dados úteis, tais como radiância espectral, reflectância no topo da atmosfera (aparente) e estimativas da temperatura. Essas conversões fornecem melhor base para efetuar a comparação entre os dados das imagens adquiridas em diferentes datas.

Com o objetivo de remover os efeitos atmosféricos nas imagens de sensoriamento remoto, ZULLO JÚNIOR (1994) desenvolveu um sistema computacional denominado de Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite (SCORADIS), baseado na teoria e nos parâmetros atmosféricos calculados pelo MODELO 5S (Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solarie).

Outra técnica utilizada para o tratamento de imagens multitemporais é a normalização, em que imagens são retificadas com relação a uma imagem-referência, devendo parecer como se tivessem sido obtidas pelo mesmo sensor e/ou nas mesmas condições atmosféricas e de iluminação da imagem utilizada como referência, ou seja, compensa as diferenças de calibração entre sensores, ou entre a atmosfera e os diferentes ângulos de iluminação entre as imagens (HALL et al., 1991; YUAN & ELVIDGE, 1996).

NIELSEN et al. (1998) propuseram a utilização de uma técnica automática de detecção de *pixels* invariantes em série de imagens adquiridas em diferentes datas, chamada de MAD (Multivariate Alteration Detection). A técnica MAD foi utilizada com sucesso no método de normalização de CANTY et al. (2004), adotando conjuntamente a técnica MAD e a regressão ortogonal em vez da regressão linear, comumente utilizada por outros autores, para efetuar a normalização das imagens adquiridas em diferentes datas. Os resultados obtidos com a regressão ortogonal mostraram-se mais satisfatórios para conseguir preservar a resolução radiométrica das imagens após a normalização, fato bastante enfatizado no trabalho de DU et al. (2002).

O monitoramento de culturas agrícolas por imagens de satélites é a utilização dos índices de vegetação, definidos como combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas (MOREIRA, 2000). Entre os diversos índices de vegetação existentes, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) vem sendo amplamente utilizado (ROUSE et al., 1973). CRIST (1985) destaca a importância de uso dos índices resultantes da transformação ortogonal “Tasseled Cap”. Esses índices utilizam as seis bandas não termais do sensor TM e atribuem pesos diferentes para cada uma delas por meio de equações lineares. Como resultado, são geradas três imagens-síntese: “brightness”, “greenness” e “wetness”, sendo a imagem “greenness” ou o índice de vegetação GVI (Greenness Vegetation Index) gerado para o sensor TM do satélite Landsat 5.

O objetivo do trabalho foi estudar as mudanças no comportamento espectral da cultura da soja por meio dos perfis espectrais temporais dos índices de vegetação NDVI e GVI, expressos pelos

diferentes valores físicos dos fatores de reflectância bidirecional (FRB) aparente, de superfície e normalizado, provenientes de imagens do Landsat 5/TM.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foi monitorada área agrícola comercial localizada na região oeste do Paraná, próxima ao município de Cascavel, com aproximadamente, 57 ha e coordenadas centrais latitude 24°57'30" S e longitude 53°34'20" W, e altitude média de 650 m.

O clima da região estudada apresenta-se como temperado mesotérmico e superúmido, tipo climático Cfa - Köppen, com temperaturas moderadas, chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno, a temperatura média é inferior a 16 °C, e nos meses de verão, as máximas superam 30 °C, com temperatura média anual de 21 °C. A região está sujeita a geadas, embora não sejam frequentes. O solo na área monitorada é classificado como Latossolo Vermelho distroférico. A variedade de soja cultivada foi a COODETEC 216 (CD 216), caracterizada como do grupo de maturação precoce, com ciclo total médio de 112 dias.

Foram utilizadas imagens Landsat 5/TM que possuem as seguintes características: resolução temporal de 16 dias, resolução radiométrica de 8 bits (256 níveis de cinza), resolução espectral com três bandas, cobrindo a região do espectro visível (Bandas 1; 2 e 3), uma banda cobrindo o infravermelho próximo - IVP (Banda 4), duas bandas cobrindo o infravermelho médio - IVM (Bandas 5 e 7), todas com 30 m de resolução espacial, e uma banda termal (Banda 6), com 60 m de resolução espacial. A órbita do satélite é polar descendente e sol-síncrona. As imagens foram adquiridas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, no formato GeoTif, com nível de correção L1g e calibração relativa, utilizando-se do coeficiente CCRS-CPF para todas as imagens. Foram usadas cinco imagens nas datas de 23-11-2004, 12-12-2004, 25-12-2004, 26-1-2005 e 11-2-2005, selecionadas de forma a abranger todo o período do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja para a safra 2004/2005 da área monitorada. A imagem do dia 10-1-2005 não foi adquirida, devido à presença de nuvens, tornando-a inviável para o trabalho.

Para o processamento e a análise das imagens, foram utilizados os programas IDRISI Kilimanjaro (EASTMAN, 2003), Envi 4.0 (SULSOFT, 2006) e SCORADIS (ZULLO JÚNIOR, 1994). O monitoramento da cultura foi realizado por meio de imagens visando a cobrir as fases de emergência, florescimento e pico vegetativo da cultura. Para a utilização das imagens de forma multitemporal, necessitou-se realizar alguns procedimentos de correção, devido aos fatores que podem modificar os valores dos NDs (Figura 1).

A transformação ou calibração radiométrica visa, principalmente, à redução de distorções acarretadas pela defasagem dos sensores. É realizada quando há necessidade de converter o sinal que é captado pelo sensor, em radiância ou FRB dos alvos, para que os dados da imagem possam ser relacionados com medições realizadas nos alvos da superfície terrestre. O primeiro passo realizado foi a conversão do ND para valores de radiância e, posteriormente, esses dados foram transformados em FRB aparente (topo da atmosfera), de acordo com CHANDER & MARKHAM (2003).

Para efetuar a correção atmosférica nas imagens, a aquisição de informações espectrais foi planejada de modo que se determinassem previamente suas possíveis datas, devido à necessidade de coletar dados referentes às condições atmosféricas, por meio de imagens do sensor MODIS, no mesmo momento da passagem do satélite Landsat 5/TM. Foi utilizado o sistema de correção de imagens de satélite SCORADIS, a partir do qual se estimou o sinal recebido pelo satélite sem a interferência de fatores atmosféricos, como gases e aerossóis. Para a execução do algoritmo de correção do SCORADIS nas imagens dos sensores TM do satélite Landsat 5, foram necessários os seguintes dados de entrada: 1) localização geográfica (latitude e longitude); 2) data e hora de passagem do satélite; 3) tipo e quantidade de aerossóis presentes; 4) modelo atmosférico dos componentes gasosos, principalmente vapor d'água e ozônio. Com esses dados, o programa foi utilizado para processar as imagens e calcular o FRB de superfície.

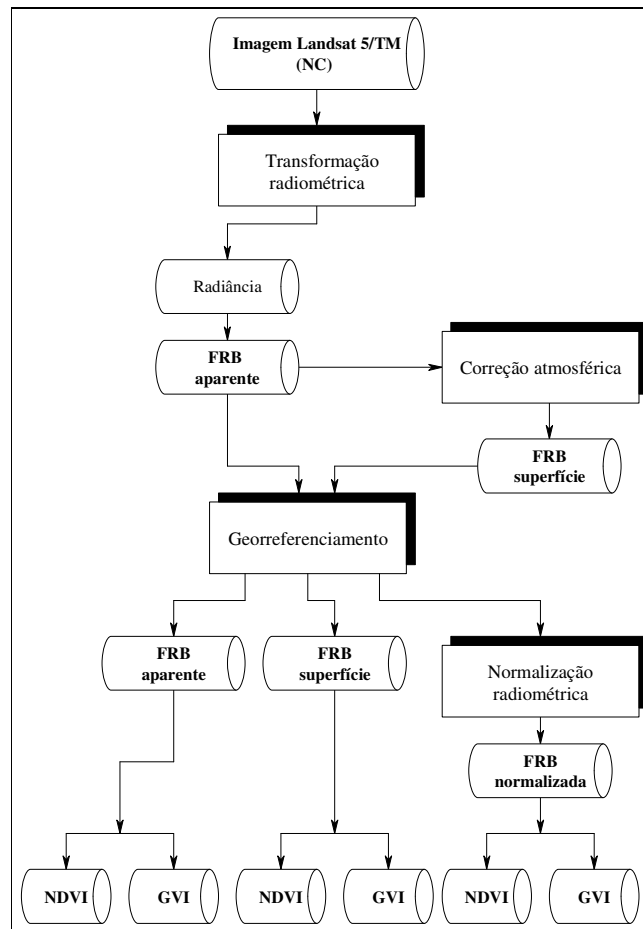


FIGURA 1. Fluxograma do processamento das imagens Landsat 5/TM. **Landsat 5/TM images processing flowchart.**

Os parâmetros atmosféricos necessários para o procedimento de correção atmosférica (espessura óptica dos aerossóis, conteúdo de vapor d'água em  $\text{g cm}^{-2}$  e espessura da camada de ozônio em  $\text{cm atm}^{-1}$ ) foram obtidos por meio do arquivo que contém as coleções de imagens MODIS, com os parâmetros atmosféricos denominados MOD04\_L2: MODIS Level 2 Aerosol over Land and Ocean Product; esse procedimento foi realizado utilizando-se do *software* Envi 4.0 (SULSOFT, 2006). Os valores dos atributos atmosféricos utilizados equivalem à média aritmética de todos os *pixels* válidos das imagens do MODIS, que se encontravam na mesma área de abrangência da cena 223/077 do satélite Landsat 5/TM.

Após as transformações e correções efetuadas, as imagens foram georreferenciadas a fim de que suas informações fossem compatíveis com as informações advindas dos arquivos digitais da área com a cultura da soja. Dessa maneira, as imagens de diversas datas foram registradas em sistema de projeção geográfico único.

Em seguida, foi adotado o método de normalização radiométrica de imagens proposto por CANTY et al. (2004). Esse procedimento realiza a detecção dos *pixels* invariantes de forma automática nas imagens a serem normalizadas. O método normaliza as imagens por regressão ortogonal, utilizando os *pixels* invariantes coletados de forma automática pelo algoritmo. A metodologia do procedimento de detecção de *pixels* invariantes, bem como da técnica de normalização utilizada estão descritas com mais detalhes em CANTY et al. (2004).

Vale destacar que a correção atmosférica efetuada utilizou dados atmosféricos do dia de aquisição de cada imagem, enquanto a técnica de normalização se utilizou de uma imagem de

referência, corrigida atmosféricamente para aquele dia, normalizando, assim, todas as outras imagens a partir dessa, corrigindo todas as imagens pela influência atmosférica do dia da imagem referência.

No intuito de caracterizar a resposta espectral da biomassa da cultura da soja, foram geradas imagens de índices de vegetação. Os índices de vegetação utilizados no trabalho foram de duas abordagens distintas: um baseado na razão de bandas, que é o índice NDVI, e outro na transformação espectral Tasseled Cap, em que se utilizou da componente “Greenness”, denominado índice GVI (Green Vegetation Index).

Os dados espectrais referentes ao NDVI e GVI foram coletados por meio de grade amostral, retirando-se o valor espectral do *pixel* em que a coordenada do local amostrado estivesse localizada. Isso foi realizado a fim de adquirir dados dos “pixels puros”, ou seja, que expressassem unicamente o comportamento espectral da cultura da soja. Foi utilizada grade amostral regular com 100 pontos espaçada de 75 m (Figura 2).

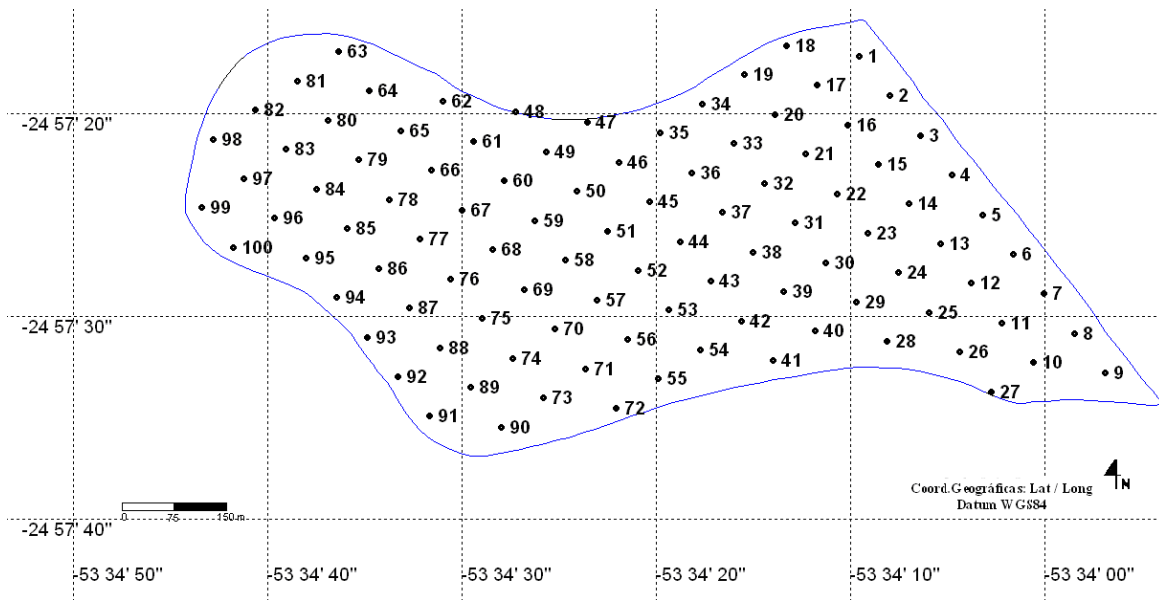


FIGURA 2. Esquema de amostragem sistemática dos dados espectrais na área monitorada. **Spectral data systematic sampling schedule in the monitored area.**

Posteriormente, foram desconsiderados os pontos amostrais que se encontravam na bordadura do talhão, ou seja, que estivessem sob a influência, ao menos parcial, de outras culturas ou estradas que circundam a área. Também foram eliminados os elementos amostrais que estavam contaminados com nuvens, tendo assim, para cada data de imagem, número variável de *pixels* computados.

Foram realizadas análises estatísticas descritivas dos valores dos índices de vegetação NDVI e GVI de todas as imagens, com o objetivo de caracterizar os diferentes valores espectrais: FRB aparente, de superfície e normalizado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a caracterização do comportamento espectral da cultura da soja, expresso a partir das imagens dos FRBs aparente, de superfície e normalizado, foram construídos os gráficos contendo os valores dos FRBs em cada uma das bandas (intervalos de comprimento de onda (Figura 3). Depois de efetuada a correção atmosférica nas cinco imagens, utilizou-se da imagem do dia 23-11-2004 como imagem referência no processo de normalização. Dessa maneira, como essa imagem não

possui valores do FRB normalizado, a escolha dessa imagem deu-se pelo fato de estar totalmente sem interferência de nuvens e boa qualidade visual.

Como é possível observar nos gráficos (Figura 3), para a validação das técnicas de correção atmosférica e de normalização, foram efetuadas as comparações com o comportamento espectral típico da cultura da soja. Percebe-se visualmente que as técnicas de correção atmosférica e de normalização não descaracterizaram o comportamento típico espectral da cultura da soja nas cinco imagens processadas.

Foram verificadas as coerências da correção atmosférica e normalização por bandas em cada uma das imagens. O esperado é que, nas bandas do visível (bandas 1; 2 e 3), haja diminuição nos valores de FRB devido ao espalhamento molecular, enquanto para as bandas do infravermelho (bandas 4; 5 e 7) é esperado aumento no FRB em função da correção, principalmente do vapor d'água (ZULLO JÚNIOR, 1994). Na Figura 3, observa-se que, em todas as datas, a correção atmosférica e/ou a normalização de imagens corrigiu os efeitos de espalhamento das bandas 1; 2 e 3, que aumenta os valores de FRB, comparado com os valores do FRB aparente. Fica evidente, ainda, nessas imagens, uma compensação ou ganho em FRB na banda 4, amenizando o efeito de absorção por gases (que diminuem os valores de FRB dessa banda), conforme VERMOTE & VERMEULEN, 1999). Observa-se, também, tanto para os dados de correção atmosférica como para a normalização, coerência com relação ao comportamento das bandas do visível - banda 1 (azul), banda 2 (verde) e banda 3 (vermelho), sobre o alvo, em que predomina a grande absorção da energia nas bandas 1 e 3, e leve espalhamento na banda 2.

Como foram coletados dados espectrais da cultura da soja das imagens de satélite durante todo o seu ciclo, foi possível evidenciar o crescimento vegetativo da cultura, comprovado, principalmente, pelos respectivos FRB das bandas 4 (faixa do infravermelho próximo que responde sensivelmente ao vigor da vegetação) em cada uma das datas das imagens. Percebe-se claramente, na imagem de 23-11-2004, que os FRB da banda 4 foi de aproximadamente 0,30, para o início do desenvolvimento da cultura, atingindo o máximo na data de 26-1-2005, com FRB de aproximadamente 0,6. Após essa data, a cultura possivelmente entra no período de senescência, assinalado pela queda nos valores dos FRBs da banda 4, conforme pode ser visto na data de 11-2-2005.

Visualmente, as curvas do comportamento espectral da cultura da soja das imagens foram muito semelhantes entre os tratamentos de FRB de superfície e normalizado, ou seja, apresentaram valores mais baixos, principalmente na banda 1, em relação ao FRB aparente, e aumentaram o valor da banda 4 (Figura 3). Entretanto, apresentaram algumas diferenças nos valores em outras bandas para algumas datas das imagens. Isso possivelmente ocorreu devido aos procedimentos distintos que cada técnica utiliza, com o objetivo de amenizar a influência da atmosfera nos dados do FRB.

Os dados de FRB bidirecional aparente, de superfície e normalizado (Tabela 1), apresentaram a mesma tendência temporal; apesar disso, para os três tratamentos (FRB aparente, de superfície e normalizado), os valores médios absolutos dos índices de vegetação NDVI e GVI, em cada uma das datas das imagens, apresentaram diferenças estatísticas a 5% de probabilidade, conforme teste T de comparação de médias, exceto para a imagem do dia 11-2-2005, em que os tratamentos FRB de superfície e normalizado apresentaram-se iguais para o índice NDVI. Os resultados de coeficiente de variação (C.V.) na área apresentam, em todos os casos, homogeneidade dos dados, segundo a classificação de GOMES (2000), indicando uma baixa variabilidade nos valores espectrais representados pelos índices de vegetação NDVI e GVI.

A maior parte das variáveis apresentaram características de normalidade na distribuição dos dados com nível de 5% de significância. Somente as variáveis do NDVI, com FRB superfície e aparente de 26-1-2005, e as FRB de superfície e normalizado de 11-2-2005, não apresentaram características de normalidade na distribuição dos dados.

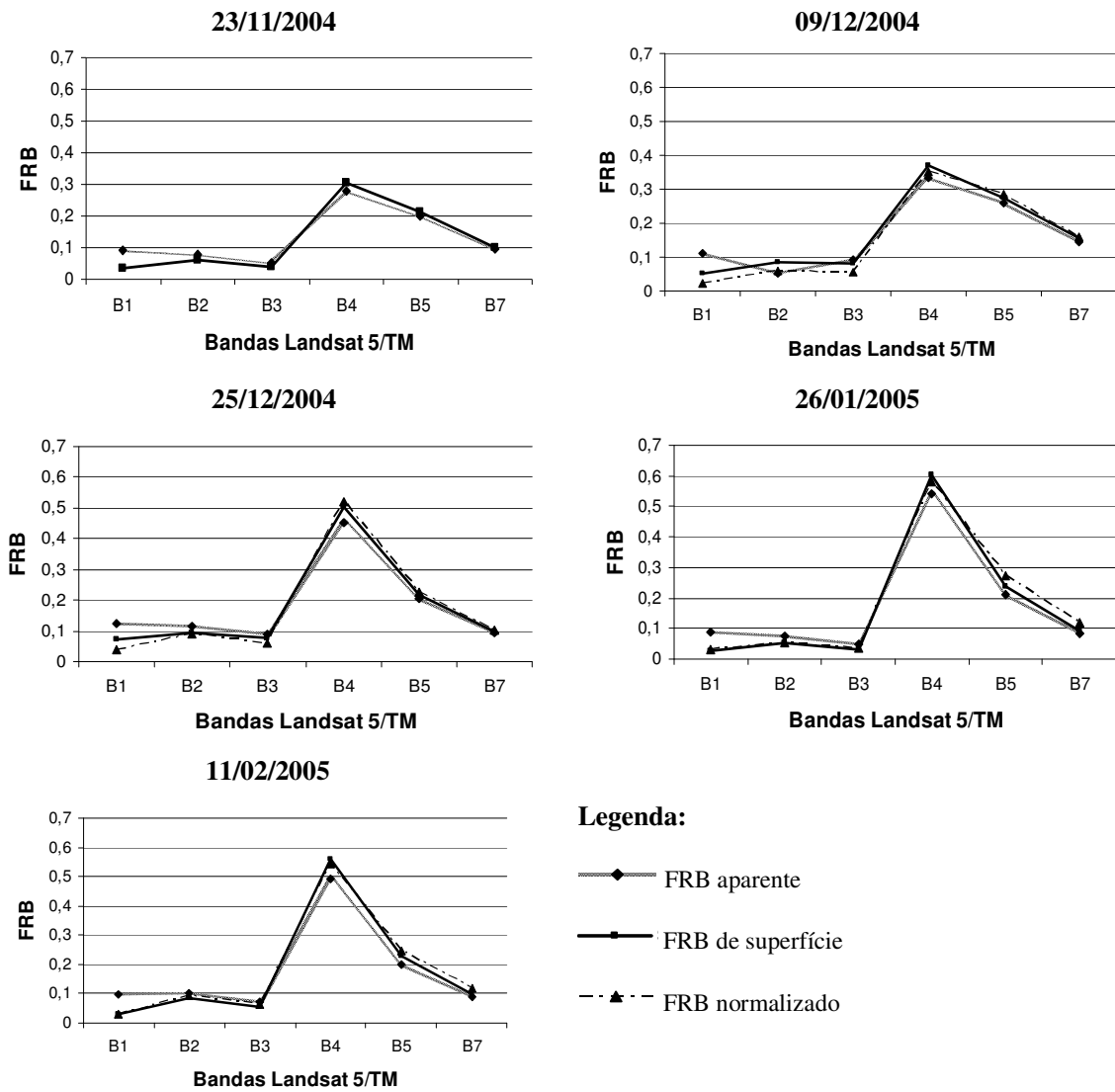


FIGURA 3. Comportamento espectral da cultura da soja para imagens de FRB aparente, de superfície e normalizado. **Spectral behavior of soybean for images of apparent BRF, surface BRF and normalized BRF.**

Evidencia-se, ainda, em todas as imagens, que o FRB de superfície e o FRB normalizado aumentaram os valores médios absolutos dos índices de vegetação NDVI e GVI, em relação ao FRB aparente, registrando valores mínimos em 23-11-2004, e valores máximos em 26-1-2005, possivelmente início e final do ciclo de desenvolvimento vegetativo da cultura.

Para permitir a visualização mais rápida e sintetizada dos dados espectrais da soja, foram gerados os gráficos contendo os perfis espectrais temporais, traduzidos pelos valores dos índices de vegetação NDVI e GVI, construídos para os três tipos de FRB.

TABELA 1. Estatística descritiva dos dados dos índices de vegetação NDVI e GVI, extraída das imagens oriundas dos tratamentos FRB aparente, de superfície e normalizado. **Descriptive statistics of the NDVI and GVI vegetation index data extracted from the images that come from the treatments of apparent BRF, surface BRF and normalized BRF.**

Data	IV	Tratamento	Média	Desvio-Padrão	C.V. (%)	Mín.	Máx.	p-valor
23-11-2004	NDVI	FRB aparente	0,33151 b	0,02114	6,04	0,26420	0,36433	0,136*
		FRB de superfície	0,36642 a	0,02224	5,47	0,29091	0,40187	0,071*
	GVI	FRB aparente	0,06810 b	0,01002	14,55	0,05749	0,07736	0,209*
		FRB de superfície	0,09311 a	0,01088	10,74	0,07875	0,10905	0,457*
9-12-2004	NDVI	FRB aparente	0,56535 c	0,02966	5,33	0,49611	0,61695	0,550*
		FRB de superfície	0,62664 b	0,03887	4,77	0,55877	0,68421	0,602*
		FRB normalizado	0,74480 a	0,02789	4,02	0,67249	0,80339	0,910*
	GVI	FRB aparente	0,15891 c	0,01683	6,33	0,12219	0,19027	0,346*
		FRB de superfície	0,20307 b	0,01958	9,77	0,16250	0,23948	0,627*
		FRB normalizado	0,22385 a	0,01497	4,48	0,18472	0,24965	0,420*
25-12-2004	NDVI	FRB aparente	0,69078 c	0,01010	1,44	0,65393	0,70663	0,343*
		FRB de superfície	0,72742 b	0,01120	1,37	0,68212	0,74324	0,109*
		FRB normalizado	0,78738 a	0,01001	1,27	0,74781	0,80401	0,201*
	GVI	FRB aparente	0,27815 c	0,01111	3,59	0,26390	0,28902	0,257*
		FRB de superfície	0,30638 b	0,01034	3,26	0,28029	0,32862	0,200*
		FRB normalizado	0,34980 a	0,01003	2,85	0,33194	0,36999	0,841*
26-1-2005	NDVI	FRB aparente	0,83719 c	0,01111	1,19	0,82395	0,84895	0,090*
		FRB de superfície	0,89376 a	0,01089	1,12	0,85213	0,90184	0,005
		FRB normalizado	0,86979 b	0,01404	1,15	0,82312	0,88321	0,005
	GVI	FRB aparente	0,35663 c	0,01023	2,80	0,34406	0,36651	0,876*
		FRB de superfície	0,42541 a	0,01084	2,35	0,40852	0,43929	0,829*
		FRB normalizado	0,38504 b	0,01516	5,24	0,36161	0,39997	0,159*
11-2-2005	NDVI	FRB aparente	0,71013 b	0,03456	4,22	0,62921	0,76140	0,015
		FRB de superfície	0,75916 a	0,03560	3,95	0,67123	0,81333	0,005
		FRB normalizado	0,74088 a	0,03762	4,04	0,64414	0,79771	0,098*
	GVI	FRB aparente	0,27133 c	0,02027	7,36	0,22779	0,30192	0,116*
		FRB de superfície	0,32365 a	0,02304	6,17	0,27491	0,35967	0,101*
		FRB normalizado	0,29844 b	0,02001	6,65	0,25662	0,32985	0,234*

Para cada índice de vegetação e em cada data das imagens, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si, segundo o teste de T, a 5% de probabilidade. \* possuem características da distribuição de normalidade a 5% de significância (p-valor: nível descritivo).

Comparando-se os três tratamentos efetuados nas imagens, observa-se que a curva do NDVI (Figura 4) para o FRB normalizado apresenta-se com valores mais elevados em 9-12-2004, mudando relativamente a curva espectral em relação aos NDVIs para o FRB aparente e de superfície. Em analogia, isso não ocorreu com a mesma magnitude para o índice GVI (Figura 5), que apresentou linha de perfil mais acentuada no crescimento vegetativo da cultura (possivelmente ocorrido até a data de 26-1-2005).



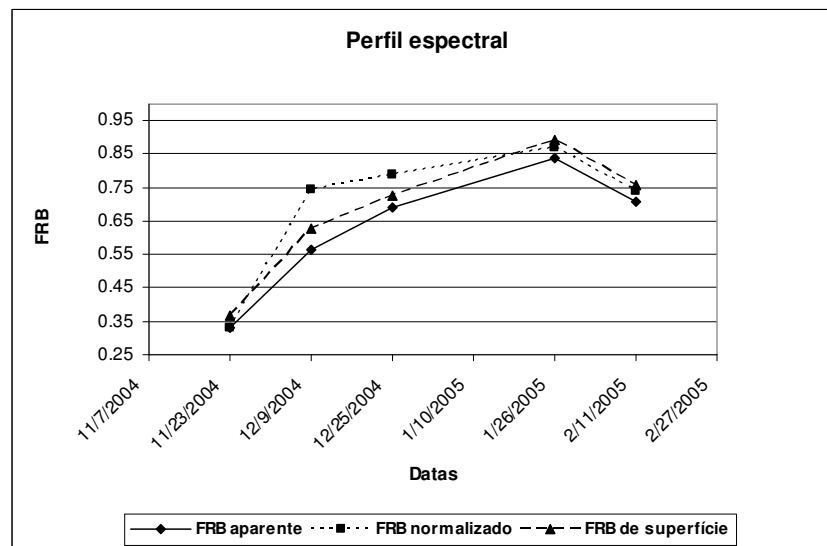


FIGURA 4. Perfil médio espectral da cultura da soja, representado pelo índice de vegetação NDVI das imagens de FRB aparente, de superfície e normalizado. **Average spectral profile of soybean, represented by the NDVI vegetation index of images of apparent BRF, surface BRF and normalized BRF.**

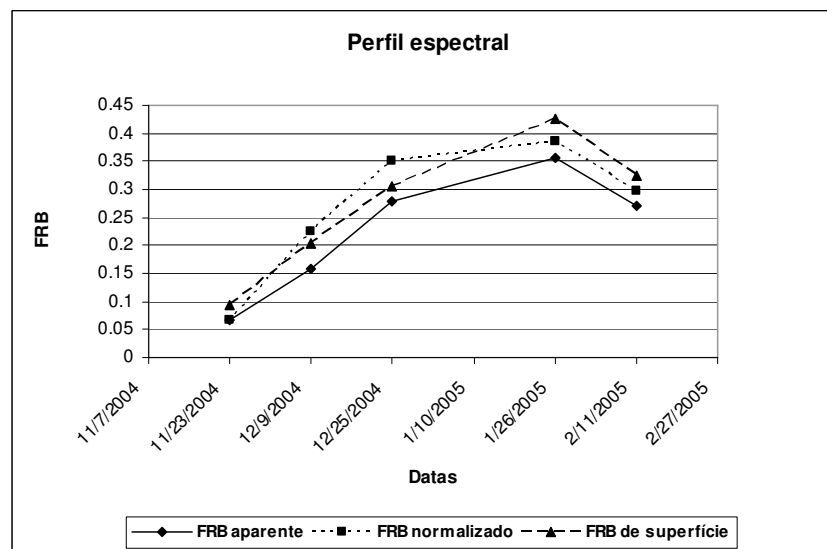


FIGURA 5. Perfil médio espectral da cultura da soja, representado pelo índice de vegetação GVI das imagens de FRB aparente, de superfície e normalizado. **Average spectral profile of soybean, represented by the GVI vegetation index of images of apparent BRF, surface BRF and normalized BRF.**

Na tentativa de estabelecer uma relação entre os gráficos dos perfis médios espectrais, representados pelos índices NDVI e GVI (Figuras 4 e 5), com o crescimento vegetativo esperado da variedade de soja cultivada nessa área, foi analisado o hábito de crescimento dessa variedade, utilizando-se da variedade CD-216, semeada em 16-10-2004. Segundo COODETEC (2007), essa variedade de soja é considerada precoce, com hábito de crescimento indeterminado, ou seja, pode continuar seu crescimento mesmo depois da formação plena das vagens. Mesmo sem poder contar com os dados da imagem do dia 10-1-2005, ao se analisar os gráficos dos perfis médios espectrais das Figuras 4 e 5, percebe-se aumento dinâmico nas primeiras datas das imagens (23-11; 9-12 e 25-12-2004), mantido esse aumento até atingir o valor máximo em 26-1-2005. Pode ter ocorrido

crescimento até próximo à fase de senescência da planta, provavelmente pelo hábito de crescimento indeterminado, característico dessa variedade.

Ao confrontar as curvas espectrais dos três tipos de FRB, fica evidente que a técnica de normalização causou aumento nos valores dos perfis para todas as datas e para os dois índices de vegetação, principalmente em 9-12-2004, para o NDVI, alterando e descaracterizando a curva espectral da cultura da soja para a área estudada. Essa constatação pode ser uma evidência, não comprovada efetivamente, pois os dados disponíveis não permitem que a normalização, para alvos de ciclo vegetativo curto, possa descaracterizar a curva de crescimento.

Esse resultado não foi semelhante ao encontrado por CANTY et al. (2004) e DU et al. (2002), que utilizaram esse método de normalização em imagens com mais de um ano de espaço de tempo entre elas. Esses autores enfatizam que uma das vantagens do método de normalização utilizado é a preservação do comportamento espectral típico dos alvos existente nas imagens. Entretanto, neste trabalho, a descaracterização da curva espectral da cultura da soja pode ter ocorrido pelo pequeno espaço de tempo de obtenção entre as imagens normalizadas, uma vez que, entre a data da imagem referência (23-11-2004) e a imagem que apresentou maior distorção, passaram-se apenas 16 dias.

## CONCLUSÕES

O comportamento espectral da cultura da soja mostrou-se diferente para as imagens Landsat 5/TM, na comparação dos FRBs aparente com os FRBs de superfície e o normalizado.

As curvas espectrais dos FRBs de superfície e normalizado apresentaram coerência com o comportamento espectral típico de uma vegetação.

A correção atmosférica (FRB de superfície) e a técnica de normalização de imagens implementada (FRB normalizado) aumentaram os valores médios absolutos dos índices de vegetação em relação à FRB aparente (topo da atmosfera). Também foi comprovado que entre as duas técnicas, correção atmosférica e normalização, na maioria das vezes, os resultados foram diferentes estatisticamente.

Os perfis médios espectrais do NDVI e GVI permitiram acompanhar o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja. Foi possível, ainda, observar que o FRB normalizado descaracterizou a curva espectral da cultura da soja, principalmente para o índice NDVI em meio à fase de crescimento vegetativo, na data de 9-12-2004.

Ressalta-se, ainda, a grande importância da obtenção do maior número possível de imagens para estudos que envolvam o acompanhamento temporal de culturas agrícolas, desde o plantio até a colheita, diagnosticando assim qualquer ocorrência que prejudique o desenvolvimento da cultura. No caso do sensor TM utilizado, ocorreu a limitação de dados em certo período do desenvolvimento da cultura pela presença de nuvens na imagem.

## REFERÊNCIAS

- CANTY, M.J.; NIELSEN, A.A.; SCHMIDT, M. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.91, p.441-451, 2004.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat 5/TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, New York, v.41, n.11, p.2.764-2.677, 2003.
- COODETEC. COOPERATIVA CENTRAL DE PESQUISA AGRÍCOLA. *Atividades de pesquisa: soja. NET*, Cascavel, jan.2007. Disponível em: < <http://www.coodetec.com.br/> > Acesso em: 12 fev. 2007.
- CRIST, E.P. A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.95, n 17, p.301-306, 1985.

DU, Y.; TEILLET, P. M.; CIHLAR, J. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution images with quality control for land cover change detection. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.82, n.1, p.123-134, 2002.

EASTMAN, J.R. Idrisi Kilimanjaro - *Guide to GIS and image processing*. Worcester: Clark Laboratory, 2003. 328 p.

GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 14.ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 477 p.

HALL, F.G.; STREBEL, D.E.; NICKESON, J.E.; GOETS, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.35, n.1, p.11-27, 1991.

MOREIRA, R.C. *Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação*. 2000. 114 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

NIELSEN, A.A.; CONRADSEN, K.; SIMPSON, J.J. Multivariate alteration detection (MAD) and MAF processing in multispectral, bitemporal image data: New approaches to change detection studies. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.64, n.1, p.11-19, 1998.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. *Proceedings...* Washington, DC: NASA, 1973. v.1, p.309-317. (NASA SP-351)

SULSOFT. *Guia do ENVI em português*. Version 4.0. NET, nov. 2006. Disponível em: <<http://www.envi.com.br/>> Acesso em: 12 fev. 2007.

SONG, C.; WOODCOCK, C.E. Monitoring forest succession with multitemporal landsat images: factors of uncertainty. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, New York, v.41, n.11, p.280-392, 2003.

VERMOTE, E.F.; VERMEULEN, A. *Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (Mod09)*. Version 4.0. NET, EUA, nov.1999. Disponível em: <[http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod08.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod08.pdf) >. Acesso em: 20 ago. 2004.

YUAN, D.; ELVIDGE, C.D. Comparison of relative radiometric normalization techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, New York, v.94, n.51, p.117-126, 1996.

ZULLO JÚNIOR, J. *Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações*. 1994. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.