

## Aplicação da técnica de remoção do contínuo para a discriminação espectral de diferentes dosagens de Nitrogênio aplicadas ao trigo (*Triticum aestivum*, L. - IAC-370)

Fábio Marcelo Breunig<sup>1</sup>  
Flávio Fortes Camargo<sup>1</sup>  
Marcos Adami<sup>1</sup>  
Luiz Rogério Mantelli<sup>1</sup>  
Mauro Corrêa da Costa<sup>1</sup>  
Flávio Jorge Ponzoni<sup>1</sup>  
José Guilherme de Freitas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{breunig, fortes, mantelli, adami, costa, flavio} @dsr.inpe.br

<sup>2</sup>Instituto Agronômico de Campinas – IAC  
Caixa Postal 28 - 13001 - Campinas - SP, Brasil  
jfreitas@iac.sp.gov.br

**Abstract.** The continuum removal method has been explored to evaluate the spectral characterization of winter wheat exposed to three different amount of nitrogen (N0, N120 and N120 Kg ha<sup>-1</sup>). The continuum removal consist in normalize absorption bands. Three absorption bands on visible and near infrared regions centered on 665, 983 and 1205 nm were studied in terms of band depth, band wide, band area and symmetry. It was possible to differentiate the nitrogen-based wheat canopies through the continuum removal technique in all mentioned absorption bands. Continuum removal was a good technique to assessing different treatment of nitrogen on winter wheat by spectral data obtained *in situ*.

**Palavras-chave:** spectral analysis; band depth; wheat; análise espectral; profundidade de banda; trigo.

### 1. Introdução

Com o advento de sensores hiperespectrais operando nos três níveis de coleta de dados (terrestre, aéreo e orbital), surge a necessidade de desenvolver novas metodologias de análise que considerem feições contínuas e individuais dos espectros (Kruse, 1994; Meer, 2000; Shi et al., 2004a, 2004b). Estas feições, contínuas e individuais, que retratam características intrínsecas dos alvos, podem ser divididas em bandas definidas como um conjunto de medidas de reflectância entre dois comprimentos de onda.

A técnica de remoção do contínuo proposta por Clark e Roush (1984) permite acentuar estas feições, reduzir os efeitos externos e identificar elementos. Segundo Meer (2000) a remoção do contínuo se relaciona à determinação das características das feições de absorção e normaliza o espectro, permitindo melhor detalhamento das feições das bandas de absorção (Mutanga et al., 2003a). Neste sentido, várias melhorias e extensões foram propostas, como a normalização da profundidade de banda por Kokaly e Clark (1999). Além disto, este método permite a determinação das características de absorção de cada banda (Meer, 2000).

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a utilização da técnica de remoção do contínuo para discriminação das variações espectrais nas bandas de absorção dos dosséis de trigo tratados com diferentes dosagens de nitrogênio (N).

### 2. Materiais e métodos

#### 2.1. Obtenção dos espectros de campo

Os dados espectrais utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de um experimento instalado na Fazenda Santa Elisa do Centro Experimental Central do Instituto Agronômico

Campinas (22° 51' 53" S e 47° 04' 52" W), em Campinas-SP. O genótipo de trigo (*Triticum aestivum*, L.) foi tratado com três dosagens de N, 0, 60 e 120 kg N.ha<sup>-1</sup>, denominadas N0, N60 e N120, respectivamente.

Os dados de campo foram coletados no dia 21/07/2006, durante a fase de alongamento do colmo da cultura de trigo. As medidas radiométricas foram feitas aproximadamente às 11:00 horas. O equipamento utilizado foi um espectrorradiômetro portátil de campo FieldSpec Pro FR (Analytical Spectral Device Inc., 2006). Os Fatores de Reflectância Direcional Cônico ( $\rho$ ) foram obtidos conforme a metodologia proposta por Milton (1987).

## 2.2. Técnica de remoção de contínuo

A técnica de remoção do contínuo proposta por Clark e Rough (1984) consiste em remover as feições contínuas dos espectros, onde o contínuo é uma função matemática utilizada para isolar bandas de absorção particulares dos espectros de reflectância, permitindo qualificar a análise espectral.

A formulação matemática para a remoção do contínuo dos espectros de reflectância é apresentada na **Equação 1** (Clark e Rough, 1984; Galvão, 2001; Hong et al., 2004):

$$\rho_{CR\lambda} = \frac{\rho_{Original\lambda}}{\rho_{contínuo\lambda}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde  $\rho_{CR\lambda}$  é o fator de reflectância direcional cônico com o contínuo removido,  $\rho_{Original\lambda}$  é o fator de reflectância direcional cônico original e  $\rho_{contínuo\lambda}$  é o espectro do contínuo. O  $\lambda$  representa o comprimento de onda. Cabe destacar que o espectro do contínuo pode ser formulado matematicamente pela equação da reta, cujo coeficiente angular (k) é definido pela **Equação 2** e o coeficiente linear (w) é obtido por meio da **Equação 3**, ajustada aos limites superiores e inferiores de cada banda de absorção, definidos pelo analista.

$$k = \frac{y_2 - y_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad \text{Eq. 2}$$

$$w = \frac{[y_1 \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)] + [-\lambda_1 \cdot (y_2 - y_1)]}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde  $y_2$  representa  $\rho$  observado no limite superior da banda;  $y_1$  representa  $\rho$  observado no limite inferior da banda;  $\lambda_2$  representa o comprimento de onda do limite superior e  $\lambda_1$  o comprimento de onda do limite inferior.

Para se obter a profundidade de banda  $B_d$ , utiliza-se a **Equação 4** (Kokaly e Clark, 1999; Noomem et al., 2005). A profundidade da banda de absorção apresentada por Clark e Rough (1984) está associada à quantidade de energia absorvida.

$$B_d = (1 - \rho_{CR\lambda}) \quad \text{Eq. 4}$$

O contínuo deve ser removido por subtração quando relacionado ao espectro de absorvância e por divisão quando se trabalha com o espectro da reflectância (Clark e Roush, 1984; Meer, 2000).

A escolha dos limites das bandas de absorção deve ser feita de modo a ressaltar as feições de absorção dos elementos. Há duas maneiras para se definir a posição que representa o  $\lambda$  em que ocorre a absorção que irá formar as bandas. Uma das maneiras consiste em localizar o  $\lambda$  em que ocorreu a maior profundidade. A outra maneira é fixar um  $\lambda$ , com base em estudos, para os cálculos. Neste trabalho, as bandas de absorção e a posição foram obtidas com base em trabalhos de Curran et al. (2001); Galvão et al. (2005); Mutanga e Skidmore (2003);

Schmidt e Skidmore (2003); Shi et al. (2004) e são apresentadas na **Tabela 1**. A profundidade de banda foi calculada para o  $\lambda$  definido com base nas características de absorção de cada elemento.

Tabela 1. Limite superior e inferior das bandas de absorção e  $\lambda$  de referência.

	Limite inferior	Limite superior	$\lambda$	Elementos associados
1 <sup>a</sup> . banda de absorção	550	720	665	Clorofila
2 <sup>a</sup> . banda de absorção	950	1015	982	Água
3 <sup>a</sup> . banda de absorção	1140	1260	1205	Água

As áreas das bandas de absorção foram calculadas através da aproximação numérica (**Equação 5**) que considera a área do trapézio entre cada  $\lambda$  discretizado pelo sensor, para os limites apresentados na **Tabela 1**.

$$A_B = \sum_{i=m}^M \frac{(\rho_i + \rho_{i-1})}{2} \cdot (\lambda_i - \lambda_{i-1}) \quad \text{Eq. 5}$$

Onde  $A_B$  é a área da banda de absorção,  $i$  representa o passo de cálculo que vai de  $m$ , limite inferior da banda a  $M$ , limite superior da banda, apresentados na **Tabela 1**. Cabe ressaltar que o passo de cálculo é função da capacidade do sensor de discriminar o sinal.

A assimetria é obtida pela razão da soma dos canais à direita do  $\lambda$  de referência pela soma dos canais à esquerda. Bandas simétricas tendem ao valor de um. Assimetrias para  $\lambda$  mais curtos do que o  $\lambda$  de maior profundidade são menores que um e para  $\lambda$  superiores tem assimetria maior que um. A magnitude deste valor indica o grau de assimetria (Kruse, 1994).

A largura da banda de absorção é obtida pela determinação das posições anterior e posterior ao  $\lambda$  de maior profundidade referentes à metade do máximo, conforme ilustra a **Figura 1** que representa esquematicamente o efeito da aplicação da remoção do contínuo sobre uma banda de absorção (Schowengerdt, 1997; Pu et al., 2003).

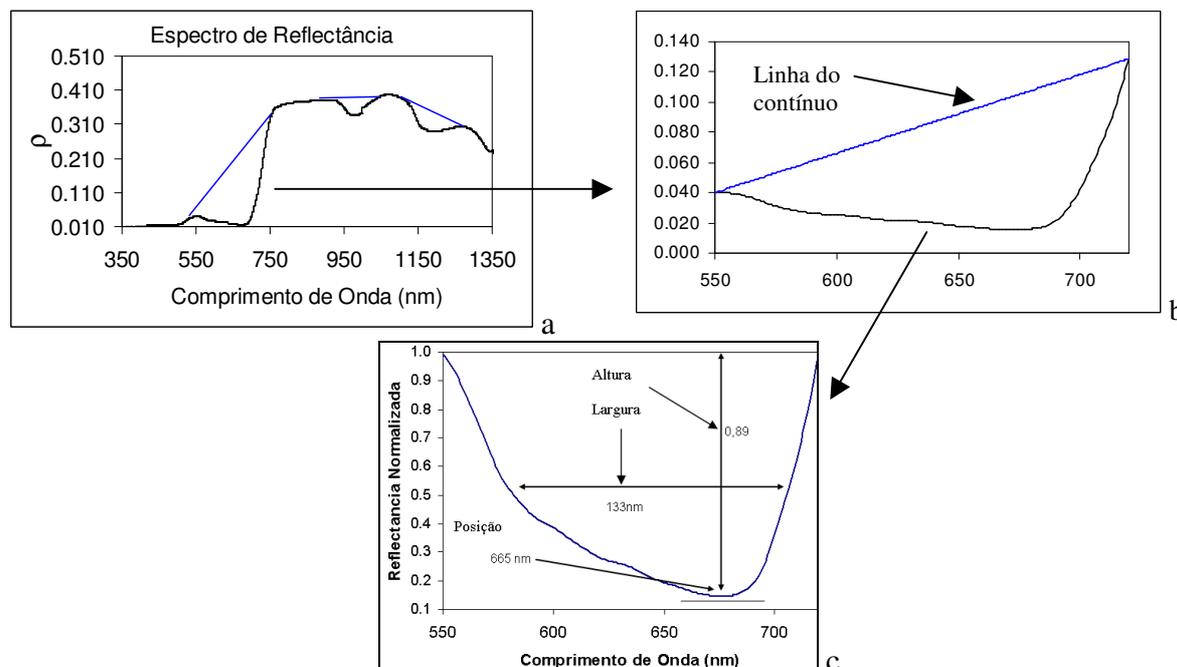


Figura 1 – Representação esquemática da remoção do contínuo. a) Espectro de reflectância com os limites das bandas; b) Banda de absorção antes da remoção do contínuo; e c) Banda de absorção com a remoção do contínuo.

Fonte: Adaptado de Pu et al. (2003)

### 2.3. Análise dos dados

Após a remoção do contínuo das 72 medidas radiométricas nas 3 bandas definidas (**Tabela 1**) e a obtenção dos parâmetros das feições de absorção, os resultados foram dispostos de forma gráfica para permitir a análise

A análise de discriminantes foi aplicada para avaliar as diferenças entre os valores dos parâmetros das bandas de absorção dos espectros dos dosséis submetidos a diferentes dosagens de N.

### 3. Resultados e discussão

A análise das **Figuras 2 e 3** possibilita verificar que os diferentes tratamentos puderam ser identificados nas três bandas de absorção. A banda de absorção entre 550 a 720 nm apresenta maior profundidade com o aumento da adubação nitrogenada. Isto pode estar associado ao maior desenvolvimento ou maior disponibilidade de pigmentos clorofilados, que causam o aumento da absorção da radiação eletromagnética (REM) nesta banda, conforme pode ser visto na **Figura 2** (Curran et al., 2001; Schmidt e Skidmore, 2003). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Mutanga et al. (2003b) que estudaram gramíneas tratadas com 3 dosagens de N e concluíram que a importância desta banda de absorção está relacionada ao fato de ser independente do conteúdo de água. Além do aprofundamento também se verificou um alargamento da banda de absorção, novamente concordando com Mutanga et al. (2003b), Mutanga (2005).

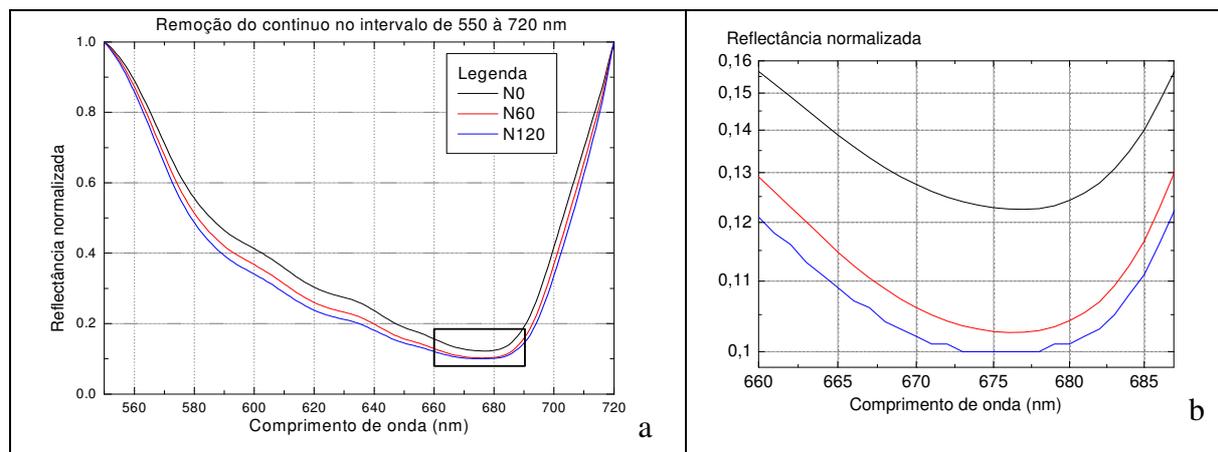


Figura 2 – Espectros médios da remoção do contínuo. a) Para intervalo espectral de 550 a 720 nm; b) Realce para as maiores profundidades e  $\lambda$  de referência.

O resultado da remoção do contínuo das bandas de absorção da água no infravermelho próximo pode ser visto na **Figura 3**. Observa-se uma maior profundidade na banda de absorção entre 1140 e 1260 nm em relação à banda entre 950 e 1015 nm, fato que pode estar associado à influência da estrutura celular e do conteúdo de água presente nos dosséis (Curran et al., 2001; Schmidt e Skidmore, 2003; Sims e Gamon, 2003). Pu et al. (2003) verificaram que existe uma relação linear entre a concentração relativa de água em folhas de carvalho e parâmetros de absorção como a posição, profundidade, largura e área das bandas de absorção nos comprimentos de onda de 975 e 1200 nm.

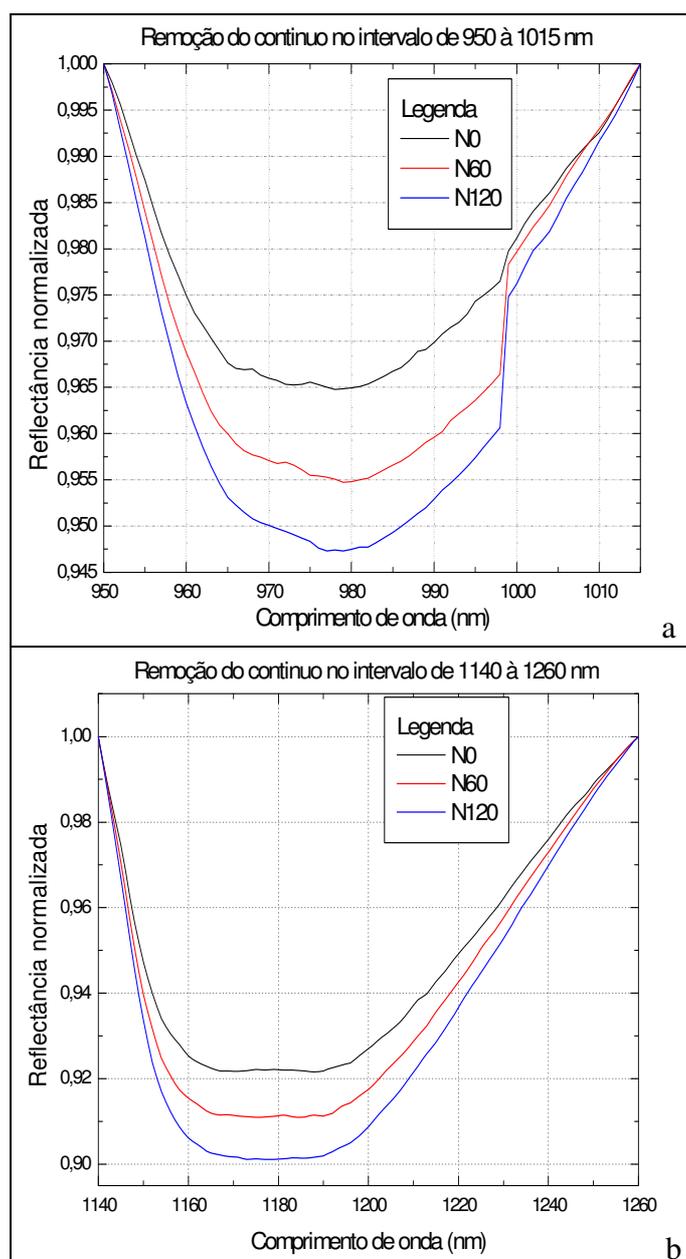


Figura 3 – a) Remoção do contínuo no intervalo espectral de 950 a 1015 nm. b) Remoção do contínuo no intervalo espectral de 1140 a 1260 nm.

A profundidade das bandas de absorção é bastante variável. A banda associada à absorção por pigmentos (550 a 720 nm) possui uma profundidade relativamente maior em relação às bandas associadas à presença de água no infravermelho próximo (Pu et al., 2003).

Em relação à profundidade de banda, nas três bandas de absorção ocorreu um aumento da profundidade nos tratamentos de maior dosagem de nitrogênio, concordando com resultados obtidos por Mutanga et al. (2003b) e Mutanga (2005). A maior amplitude foi verificada na banda entre 550 e 720 nm, mostrando que o efeito dos pigmentos é mais acentuado em detrimento da concentração de água nos dosséis. A largura e a área da banda de absorção também apresentaram aumento indo do menor valor no tratamento N0 para os tratamentos N60 e N120. A assimetria maior que um (>1) indica que ocorreu um deslocamento para comprimentos de onda maiores que o centro da banda de absorção conforme o aumento da dosagem de N. Os resultados para as três bandas de absorção são apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Resultados médios obtidos para diferentes parâmetros nas bandas de absorção.

Parâmetros	N0	N60	N120
Intervalos espectrais de 550 a 720 nm			
Posição ( $\lambda$ )	665		
Profundidade da banda (u.c.)	0,86 a	0,89 a	0,89 b
Largura ( $\lambda$ )	127,29 a	130,87 b	133,46 c
Assimetria	1,85 a	1,87 b	1,89 c
Área (u.a.)	99,20 a	105,04 b	108,19 c
Intervalos espectrais de 950 a 1015 nm			
Posição ( $\lambda$ )	983		
Profundidade da banda (u.c.)	0,03 a*	0,04 b*	0,05 c
Largura ( $\lambda$ )	42,50 a*	42,67 ab*	44,46 b*
Assimetria	1,47 a	1,42 a	1,40 a
Área (u.a.)	1,54 a	1,94 b	2,25 c
Intervalos espectrais de 1140 a 1260 nm			
Posição ( $\lambda$ )	1205		
Profundidade da banda (u.c.)	0,07 a	0,08 b	0,08 c
Largura ( $\lambda$ )	86,87 a	87,04 a	87,33 a
Assimetria	2,30 a	2,33 a	2,32 a
Área (u.a.)	6,26 a	7,08 b	7,85 c

**Observação:** Intervalos de  $\lambda$  com a mesma letra não apresentaram diferença significativa a  $\alpha$  5% e com \* não apresentaram diferença significativa a  $\alpha$  1%.

O parâmetro área foi o único que diferenciou todos os tratamentos em todas as bandas (Tabela 2), concordando com os resultados obtidos por Pu et al. (2003). A profundidade de banda, com exceção dos resultados obtidos para a banda referente ao intervalo de 550 a 720 nm, conseguiu diferenciar os tratamentos.

A análise do parâmetro área para a banda de absorção entre 550 e 720 nm permite inferir que quanto maior a dosagem de N, maior a absorção de energia pelos pigmentos fotossinteticamente ativos. De forma análoga, o parâmetro área indica que o aumento da dosagem de N ocasiona aumento da quantidade de água presente na estrutura foliar do dossel.

Analisando-se os resultados obtidos, percebe-se que a remoção do contínuo é uma técnica que maximiza os efeitos das feições de absorção espectral, conforme colocado por Dehaan e Taylor (2002) e Huang et al. (2004). Desse modo, variações suaves dos espectros de reflectância podem ser diferenciadas (Meer, 2000), ampliando-se as diferenças estatísticas (Schmidt e Skidmore, 2001, 2003).

### 3. Conclusões

Através da técnica de remoção do contínuo foi possível diferenciar os três tratamentos de nitrogênio (N0, N60 e N120). O parâmetro área apresentou os melhores resultados, sendo que diferenciou os tratamentos nas três bandas de absorção analisadas. Além disto, o parâmetro área possibilitou inferir que ocorre um aumento da absorção de energia com o aumento da dosagem de N.

#### 4. Referências

- Aspinall, R.J.; Marcus, W.A.; Boardman, J.W. Considerations in collecting, processing, and analyzing high spatial resolution hyperspectral data for environment investigations. **Journal of Geographical Systems**. v. 4, p. 15-29, 2002.
- Carvalho Jr., O.A.; Carvalho, A.P.F.; Meneses, P.R.; Guimarães, R.F. Análise do posicionamento da banda de absorção: Novo método para o tratamento de imagens hiperespectrais. **Anais: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu, 21-26 de abril, 2001.
- Clark, R. N., Chapter 1: Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. **In: Manual of Remote Sensing, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences**, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons, New York, p 3- 58, 1999.
- Clark, R.N.; Roush, T.L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research**. v. 89, n. B7, p. 6329-6340, July 10, 1984.
- Clark, R.N.; Swayze, G.A. Mapping minerals, amorphous materials, environmental materials, vegetation, water, ice and snow, and other materials: The USGS tricorder algorithm. **Summaries: 5<sup>th</sup> Annual JPL Airborne Earth Science Workshop**, JPL publication. 95-1, p. 39-40, 1995.
- Curran, P.J.; Dungan, J.L.; Peterson, D.L. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: Testing the Kokaly and Clark methodologies. **Remote Sensing of Environment**. v. 76, p. 349-359, 2001.
- Dehaan, R.L.; Taylor, G.R. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization. **Remote Sensing of Environment**. v. 80, p. 406-417, 2002.
- Galvão, L.S. Métodos para análise de espectros de reflectância. **In: Sensoriamento Remoto – reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora da UNB, p.225-247, 2001.
- Galvão, L.S.; Formaggio, A.R.; Tisot, D.A. Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor hyperion/EO-1 **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 1, n.57, p.7-14, 2005.
- Greitāns, M. Spectral analysis based on signal dependent transformation. **Proceedings: International Workshop on Spectral Methods and Multirate Signal Processing SMMSPP 2005**. Riga, Latvia, 20-22 June, 2005.
- Hong, T.; Tao, F.; PengFei, S. Nonlinear Spectral Similarity measure. **Proceedings: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04, 20-24 September**. v. 5, P. 3272-3275 2004.
- Huang, Z.; Turner, B.J.; Dury, S.J.; Wallis, I.R.; Foley, W.J. Estimating foliage nitrogen concentration from HYMAP data using continuum removal analysis. **Remote Sensing of Environment**. v. 93, p. 18-29, 2004.
- Kokaly, R.F.; Clark, R.N. Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of absorption features and stepwise multiple linear regression. **Remote Sensing of Environment**. v. 67, p. 267-287, 1999.
- Kruse, F.A. Imaging spectrometer data analysis: A tutorial. **Proceedings: International Symposium on Spectral Sensing Research '94**. San Diego – CA. 9 July, 1994.
- Meer, F. Van der. Spectral curve shape matching with a continuum removal CCSM algorithm. **International Journal of Remote Sensing**. v. 21, n. 16, p. 3179-3185, 2000.
- Milton, E.J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**. v.8, n.12, p. 1807-1827, 1987.
- Mutanga, O.; Skidmore, A.K. Continuum-removed absorption features estimate tropical savanna grass quality *in situ*. **Proceedings: 3<sup>rd</sup> EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy**. Hirsching, 13-16 May, 2003a.
- Mutanga, O.; Skidmore, A.K.; Kumar, L.; Ferwerda, J. Estimating tropical pasture quality at canopy level using band depth analysis with continuum removal in the visible domain. **International Journal of Remote Sensing**. v. 26, n. 6, p. 1093-1108, 2005.
- Mutanga, O.; Skidmore, A.K.; Wieren, S. Discriminating tropical grass (*Cenchrus ciliaris*) canopies grown under different nitrogen treatments using spectroradiometry. **Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 57, p. 263-272, 2003b.

Noomem, M.F.; Meer, F.D.; Skidmore, A.K. Hyperspectral remote sensing for detecting the effects of three hydrocarbon gases on maize reflectance. **Proceedings**: 31<sup>th</sup> International Symposium of Remote Sensing of Environment. Saint Petersburg, 20-24 June, 2005.

Pu, R.; Ge, S.; Kelly, N.M.; Gong, P. Spectral absorption features as indicators of water status in coast live oak (*Quercus agrifolia*) leaves. **International Journal of Remote Sensing**. v. 24, n. 9, p. 1799-1810, 2003.

Schmidt, K.S.; Skidmore, A.K. Exploring spectral discrimination of grass species in African rangelands. **International Journal of Remote Sensing**. v. 22, n. 17, p. 3421-3434, 2001.

Schmidt, K.S.; Skidmore, A.K. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. **Remote Sensing of Environment**. v. 85, p. 92-108, 2003.

Schowengerdt, R.A. **Remote sensing** – Models and methods for image processing. London: Academic Press, 287-356, 1997

Shi, R.; Zhuang, D.; Niu, Z. Physical investigation on biochemical prediction using continuum removal. **Proceedings**: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04, 20-24 September. v.2., p. 1463-1466, 2004.

Shi, R.; Zhuang, D.; Niu, Z. Effects of spectral transformations in statistical modeling of leaf biochemical concentrations. **Proceedings**: Workshop on Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed Data – IEEE. 27-28 October, p. 263-267, 2003.

Sims, D.A.; Gamon, J.A. Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. **Remote Sensing of Environment**. v. 84, p. 526-537, 2003.a