



**Imagens Sentinel-2A e Espectrorradiometria Aplicada a Estudo de Pastagens Degradadas**  
Sentinel-2A Images and Spectroradiometry Applied to Degraded Grassland Study

Erli Pinto dos Santos<sup>1</sup>; Taíse Bomfim de Jesus<sup>1</sup>;  
Ayala de Souza Reis Carneiro<sup>1</sup>; Rosângela Leal Santos<sup>2</sup> & Robson Argolo dos Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana, Laboratório de Geoquímica e Catálise Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Caixa Postal 252 e 294, 44036-900,

Av. Transnordestina, s/n, Feira de Santana – BA, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Tecnologia, Laboratório de Geotecnologias, Caixa Postal 252 e 294, 44036-900, Av. Transnordestina, s/n, Feira de Santana – BA, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, 36570-900, Viçosa – MG, Brasil

Emails: erlitec.agri@hotmail.com; taísebj@hotmail.com;  
ayala.reis@hotmail.com; rosangela.leal.uefs@gmail.com; argolo.agro@gmail.com

Recebido em: 04/04/2018 Aprovado em: 27/06/2018

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_2\\_141\\_151](http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_141_151)

## Resumo

Este estudo tem como objetivo distinguir, nos dados de sensoriamento remoto, pastagens com diferentes estádios de conservação utilizando análise laboratorial, imagens orbitais e a espectrorradiometria de campo, comparando os métodos de campo e laboratório. Foram estudadas duas áreas de pastagem cultivada com *Brachiaria decumbens*, a área 1 sem degradação e a área 2, degradada. O sensor orbital escolhido foi o Sentinel-2A MSI, e suas imagens foram usadas na estimativa do índice de área foliar (IAF) e na obtenção da refletância dos dosséis, bem como usando um espectrorradiômetro de campo. O teor de clorofila foi quantificado, onde a área degradada apresentou menores valores, denotando baixo vigor. O computo do IAF foi eficiente na separação da área degradada, que apresentou menor IAF, entretanto os dados de refletância por satélite não resultaram como esperado, pois a área degradada refletiu menos energia no vermelho, contudo o reconhecimento de padrões de cobertura foi observado principalmente na área sem degradação. Os teores de clorofila nos dosséis foram comparados com a refletância obtida com espectrorradiômetro em campo, e nos gráficos de refletância apresentaram feições características. No entanto, os espectros de refletância foram mais bem analisados após aplicação das técnicas de extração de informações, nas quais a derivada espectral e a remoção do contínuo foram eficientes para diferenciar as áreas, confrontando com os dados químicos.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto hiperespectral; clorofila-a; *Brachiaria decumbens*; refletância

## Abstract

The goal of this study is distinguish on remote sensing data, different conservation stage from pasture areas, using laboratorial analysis, orbital images and field spectroscopy, comparing field and laboratory methods. Was studied two pasture areas with grass *Brachiaria decumbens*, the area 1 without degradation and the area 2 degraded. The orbital sensor changed chosen was Sentinel-2 MSI, and yours images was used on Leaf Area Index (LAI) estimative and in obtaining the reflectance of the canopies, as well as using a field spectrometer. The concentration of chlorophyll was quantified, where the degraded area presented lower values, denoting low force. The LAI computation was efficient in the separation of the degraded area, which presented lower LAI, however the satellite reflectance data did not result as expected, because the degraded area reflected less energy in the red, however the recognition of coverage patterns was observed mainly in area without degradation. The chlorophyll content in the canopies was compared with reflectance obtained with the field spectrometer, and in the reflectance graphics presented particular features. However, the reflectance spectra were better analyzed after applying the information extraction techniques, in which the spectral derivative and the removal of the continuum were efficient to differentiate the areas, confronting with the chemical data.

**Keywords:** hyperspectral remote sensing; chlorophyll-a; *Brachiaria decumbens*; reflectance

## 1 Introdução

Segundo Francisco *et al.* (2017), os sistemas de produção pecuária no Brasil apresentam grande diversidade de espécies, considerando-se que 45 % e 55 % são compostos de pastagens nativas e cultivadas, respectivamente, e que aproximadamente metade delas encontra-se em algum nível de degradação. A principal causa da degradação das pastagens é o empobrecimento do solo, em razão do esgotamento dos nutrientes perdidos no processo produtivo, quer seja por exportação para o corpo dos animais, erosão, lixiviação, volatilização, fixação e/ou acúmulo nos malhadouros, e que não foram repostos ao longo dos muitos anos de exploração (Vasconcelos, 2006). O magnésio é o componente central da molécula de clorofila, que influencia diretamente o processo fotossintético e o metabolismo energético vegetal, assim como o nitrogênio. Logo, mesmos em plantas consideradas jovens, expostas a um ambiente com deficiência desses elementos, nota-se a diminuição na concentração de clorofila e, conseqüentemente, uma menor absorção da energia luminosa (Moreira, 2005).

Muitos autores estudaram níveis de qualidade de pastagem, correlacionando respostas radiométricas de dosséis com o conteúdo foliar de compostos bioquímicos como: clorofila, carotenóides, conteúdo de água, proteína bruta, lignina e quantidade de biomassa, dentre outros (Mutanga *et al.* 2003; Mutanga *et al.*, 2004; Starks *et al.*, 2004; Franco & Rosa, 2004; Beeri *et al.*, 2007; Guo *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2013; Silva Júnior *et al.*, 2013; Lugassi *et al.*, 2015; Ali *et al.*, 2016; Pullanagari *et al.*, 2016), todos esses trabalhos buscaram estimar estes compostos e mapear a qualidade da pastagem, partindo do princípio de que, pastagens com diferentes níveis de nutrientes refletem diferentemente comprimentos de onda específicos (Mutanga *et al.*, 2003).

O uso de sistemas sensores, à nível do solo, para obter dados da radiação refletida e/ou emitida pelos alvos da superfície terrestre é, sem dúvida, muito importante para entender o comportamento espectral desses alvos (Moreira, 2005), bem como as observações de sensoriamento remoto da Terra, a partir de sensores aéreos e espaciais, em sinergia

com medições *in situ* e manuais, que fornecem a base para o mapeamento de atividades humanas e naturais (Chen *et al.*, 2016).

Assim, o objetivo deste trabalho é diferenciar entre os dados obtidos por sensores orbitais, e os de espectrorradiometria de campo, as pastagens com diferentes estados de conservação, caracterizadas pela análise laboratorial do conteúdo de clorofila das folhas do dossel, comparando com os dados dos sensores com as concentrações de clorofila encontradas.

## 2 Metodologia

### 2.1 Área de Estudo

O ambiente escolhido para o estudo foram duas áreas de pastagem cultivadas com capim *Brachiária decumbens* no Centro de Agroecologia Rio Seco, da Universidade Estadual de Feira de Santana, no município de Amélia Rodrigues – BA. As coletas foram realizadas nos meses de fevereiro, junho e julho de 2017.

As áreas de estudo foram diferenciadas em: área 1 com cobertura uniforme da gramínea, bom porte das plantas e ausência de plantas invasoras; e área 2 com a presença de plantas invasoras, baixo porte de gramíneas e apresentando solo exposto. A área 1 e área 2 possuem 858,53 e 1.023,1 m<sup>2</sup> respectivamente (Figura 1).

### 2.2 Extração da Clorofila

Para diferenciar as pastagens estudadas foi analisado o pigmento fotossintetizante clorofila (**a** e **b**), pois estes refletem o estado nutricional das plantas, denotando tanto o seu vigor quanto sua degradação, além de ser o componente opticamente ativo (COA) mais empregado em estudos de sensoriamento remoto. Foram coletadas folhas jovens, de acordo com metodologia de Silva (2009), e durante todo o processo de extração o laboratório foi mantido escuro. A determinação da clorofila na matéria vegetal fresca foi realizada pelo método de Arnon (1949) com uso da acetona 80% como reagente, e a extração dos pigmentos ocorreu como apresentado no fluxograma (Figura 2).

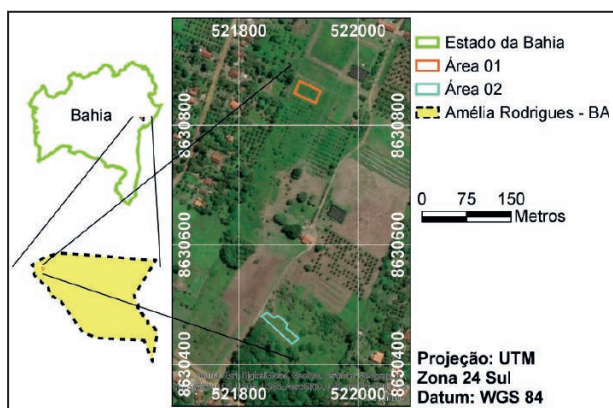


Figura 1 Localização da área de estudo.

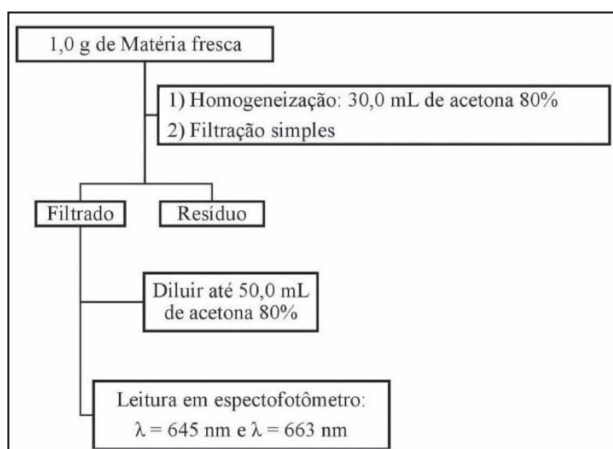


Figura 2 Fluxograma de etapas do processo analítico de extração de clorofila em tecido vegetal.

Após a leitura de absorvância em espectrofotômetro, os valores foram usados nas equações (1) para concentração de clorofila **a**, (2) para concentração de clorofila **b** e (3) para clorofila total.

$$\text{Clorofila } a (\mu\text{g.gMF}^{-1}) = 12,7 A_{663} - 2,69 A_{645} \quad (1)$$

$$\text{Clorofila } b (\mu\text{g.gMF}^{-1}) = 22,9 A_{645} - 4,68 A_{663} \quad (2)$$

$$\text{Clorofila total } (\mu\text{g.gMF}^{-1}) = 20,2 A_{645} + 8,02 A_{663} \quad (3)$$

### 2.3 Imagens Sentinel-2A MSI

A escolha desse sensor foi determinada pela resolução espacial das imagens, sendo de 10 metros

nas bandas de interesse, e a sua resolução radiométrica de 16 bits, além da disponibilidade à data de coleta. As imagens do sensor imageador multiespectral (MSI) foram obtidas do portal *Copernicus Open Access Hub* (<https://scihub.copernicus.eu>) da ESA (*European Space Agency*). As imagens do Sentinel-2 foram usadas na estimativa do índice de área foliar e na refletância da pastagem no mês de fevereiro/2017. Os dados foram obtidos como ortoimagens (produtos L1C) e refletância no topo da atmosfera (TOA) e convertidas em radiância e posteriormente em refletância na base da atmosfera (BOA) (produto L2A).

O processamento digital das imagens Sentinel-2 foi realizado por meio da ferramenta Sentinel-2 Toolbox (S2TBX) através do software SNAP (*Sentinel Application Platform*) da ESA. A tabela 1 traz as bandas espectrais do sensor MSI, sendo necessárias neste estudo as bandas 08a, 04 e 03 (infravermelho próximo, vermelho e verde), correspondente a região fotossinteticamente ativa. Entretanto, na correção atmosférica, outras bandas foram necessárias.

Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nm)	Largura da Banda (nm)	Resolução Espacial (m)
B01	Aerossol	443	20	60
B02	Blue	490	65	10
B03	Green	560	35	10
B04	Red	665	30	10
B05	Red Edge 1	705	15	20
B06	Red Edge 2	740	15	20
B07	Red Edge 3	783	20	20
B08a	NIR	842	115	10
B08b	Red Edge4	865	20	20
B09	Water vapor	945	20	60
B10	Cirrus	1380	30	60
B11	SWIR1	1610	90	20
B12	SWIR2	2190	180	20

Tabela 1 Características das bandas espectrais do MSI Sentinel-2. Fonte: Adaptado de Fletcher, 2012.

A correção atmosférica dos produtos L1C para reflectância na base da atmosfera (produtos L2A) foi realizada com algoritmo Sen2Cor (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2016). O método executa a correção atmosférica com base no modelo de transferência radiativa libRadtran (Mayer & Kylling, 2005; Fletcher, 2012).

## 2.4 Estimativa do Índice de Área Foliar

Com o objetivo de caracterizar a cobertura de dossel das áreas de estudo no início do levantamento, foi empregado o Índice de Área Foliar (IAF) para expressar produção de biomassa, e o vigor das plantas do dossel de acordo com as variações espectrais. O IAF é dado pela relação entre área de cobertura de folhas e área ocupada do terreno ( $m^2.m^{-2}$ ). Foi empregada a equação empírica (equação 4) proposta por Allen *et al.*, (2002), amplamente empregada nos estudos com pastagens (Brandão *et al.*, 2012; Andrade *et al.*, 2013; Danelichen *et al.*, 2014; Arruda, 2015). O índice de vegetação usado foi o SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) (Huete, 1988) descrito na equação 5.

$$IAF = \frac{-\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (4)$$

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{L + NIR + RED} \quad (5)$$

Em que NIR é a reflectância na banda do infravermelho próximo, RED é a reflectância na banda do vermelho, e L é o fator de ajuste da equação. O IAF foi calculado para o mês de agosto de 2016 usando uma imagem do sensor MSI do satélite Sentinel-2 de 09/08/2016, com horário de captura (passagem do satélite) às 12h53min.

## 2.5 Espectrorradiometria de Campo

A coleta de dados radiométricos em campo foi realizada nos meses de junho e julho de 2017. O sensor utilizado para obtenção dos dados espectrorradiométricos em campo foi o espectrorradiômetro FieldSpec 4 Hi-Res, com faixa espectral de captura

de sinal de 350 a 2500 nm com 2151 bandas do espectro eletromagnético. Os dados radiométricos das folhas de cada dossel foram coletados com a sonda Leaf Clip, que possui fonte de radiação própria.

## 2.6 Análise Derivativa

Para melhor explorar as curvas de reflectância, foram aplicadas técnicas de extração de informações. A primeira delas foi a derivada espectral, que visa quantificar a variação da reflectância em intervalos de comprimento de onda, por meio do método de aproximação finita. Tsai & Philpot (1998) mostraram que a aproximação finita pode ser usada para estimar derivadas por um plano apropriado de diferença em concordância com uma finita banda de resolução ( $\Delta\lambda$ ). A primeira derivada é estimada pela equação 6, a segunda derivada pela equação 7.

$$\left.\frac{ds}{d\lambda}\right|_i \approx \frac{s(\lambda_i) - s(\lambda_j)}{\Delta\lambda} \quad (6)$$

Em que  $\Delta\lambda$  representa a diferença entre comprimentos de onda, ou separação entre as bandas adjacentes; sendo o intervalo entre as bandas (que é constante); e são valores do espectro na faixa dos comprimentos de ondas  $\lambda_i > \lambda_j$ , respectivamente.

$$\left.\frac{d^2s}{d\lambda^2}\right|_j = \left.\frac{d}{d\lambda}\left(\frac{ds}{d\lambda}\right)\right|_j \approx \frac{s(\lambda_i) - 2s(\lambda_j) + s(\lambda_k)}{(\Delta\lambda)^2} \quad (7)$$

Em que ,

$$\Delta\lambda = \lambda_k - \lambda_j = \lambda_j - \lambda_i, \lambda_k > \lambda_j > \lambda_i \text{®}$$

A derivada espectral foi aplicada usando software Excel®.

## 2.7 Remoção do Contínuo

A técnica de remoção do contínuo consiste numa função matemática empregada que permite isolar uma feição de absorção particular durante a análise de um espectro. A função da técnica é remover feições contínuas do espectro. Foi proposta por Clark & Roush (1984) e sua formulação matemática é explicada pela equação 8.

$$\rho_{CRA\lambda} = \frac{\rho_{Original\lambda}}{\rho_{Contínuo\lambda}} \quad (8)$$

Em que  $\rho_{CRA}$  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. Mediante a isto, os pontos de máxima reflectância de um espectro são ligados por uma reta, a qual define o contínuo espectral para cada feição. A sua remoção é feita dividindo-se o espectro original pela curva do contínuo, para normalizar as bandas de absorção, colocando-as em uma referência comum (Londe, 2008). O espectro do contínuo foi formulado matematicamente pela equação da reta, onde o coeficiente angular (k) é definido pela equação 9 e o coeficiente linear (w) é obtido pela equação 10, podendo ser os limites superiores e inferiores de cada banda ajustados pelo analista.

$$k = \frac{y_2 - y_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (9)$$

$$w = \frac{[y_1(\lambda_2 - \lambda_1)] + [-\lambda_1(y_2 - y_1)]}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (10)$$

Em que  $y_2$  é a  $\rho$  (reflectância) observada no limite superior da banda, e  $y_1$  é a  $\rho$  observada no limite inferior da banda;  $\lambda_2$  é o comprimento de onda do limite superior da banda e  $\lambda_1$  é o comprimento de onda do limite inferior da banda. Para se obter a profundidade de banda (Band deph), utiliza-se a equação 11 (Kokaly & Clark, 1999; Noomem *et al.*, 2005). A profundidade da banda de absorção apresentada por Clarck & Roush (1984) está associada à quantidade de energia absorvida

$$Bd = 1 - \rho_{CRA} \quad (11)$$

O contínuo deve ser removido por subtração quando se tratar de espectros de absorbância, e por divisão quando se tratar de espectros de reflectância, no caso deste trabalho, (Clarck & Roush, 1984; Meer, 2000).

Dessa forma, foi aplicada a técnica de remoção do contínuo em uma banda específica para aná-

lise da clorofila. A escolha dos limites das bandas de absorção foi realizada de modo a ressaltar as feições de absorção dos elementos. Neste trabalho as bandas de absorção e a posição foram obtidas com base na literatura consultada (Curran *et al.*, 2001; Mutanga & Skidmore, 2003; Schmidt & Skidmore, 2003; Shi *et al.* 2004; Galvão *et al.*, 2005) como mostra a tabela 2.

Banda	Limite Inferior ( $\lambda$ )	Limite Superior ( $\lambda$ )	$\lambda$ central	Elemento Associado
1ª banda	550	720	665	Clorofila
2ª banda	950	1015	982	Água
3ª banda	1140	1260	1205	Água

Tabela 2 Bandas de absorção e comprimento de onda de referência.  $\lambda$ : comprimento de onda (nm)

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Índice de Área Foliar

A estimativa do Índice de Área Foliar foi aplicada na imagem Sentinel-2A do mês de agosto de 2016, sendo que foram necessários 9 pixels da imagem para cobrir cada área de pastagem. Seus respectivos valores de IAF constam na Tabela 3. A estimativa do IAF mostra maiores valores para a área 01, área ocupada apenas pela pastagem de *Brachiária*, com boa cobertura e sem presença de plantas invasoras, e menores valores para a área 02, com presença de plantas invasoras e solo exposto.

Pixel	IAF estimado	
	Área I	Área II
01	1,173771	0,839013
02	1,048971	1,136055
03	1,401333	1,048348
04	1,237599	0,987101
05	1,179826	1,145586
06	1,142886	1,159744
07	1,447177	1,162892
08	1,410805	1,154581
09	1,099919	1,055583
	1,238031889	1,076544778

Tabela 3 Valores de IAF encontrados no mês de agosto de 2016.

Embora a diferença de valores seja pequena, a estimativa do IAF mostra uma maior quantidade de biomassa para a área 01. Dessa forma o IAF

variou de acordo com o estágio de degradação das pastagens. Andrade *et al.* (2010) aplicando o mesmo processamento das equações 4 e 5, chegaram a concluir que o índice de área foliar variou de acordo com os níveis de degradação (e com o valor do fator L na equação do SAVI). Acrescentaram também que o alto índice de plantas invasoras com bom porte aéreo foliar pode interferir nos dados estimados por imagens de satélite, elevando os valores de IAF para pastagem, fator observado em alguns valores elevados de IAF para a área 02.

### 3.2 Análise de Clorofila

A tabela 4 apresenta os resultados das análises de clorofila (a, b e total) para os meses de fevereiro, junho e julho de 2017. De acordo com a literatura consultada (Mattos, 2001; Bonfim-Da-Silva, 2005; Costa *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2016) o aumento do teor de clorofila nas folhas é diretamente associado à disponibilidade de nutrientes no solo (especialmente nitrogênio, enxofre e magnésio), e esta análise se aplica aos valores de clorofila da Tabela 4, pois denota o estado nutricional das plantas, em que a área 2 (com degradação) apresenta os menores valores no período em análise, fator este que pode ser associado ao empobrecimento químico do solo ou indisponibilidade de nutrientes.

Mês	Fevereiro/2017		Junho/2017		Julho/2017	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
Clorofila-a (µg/g MF)	62,39	53,89	60,69	37,54	60,98	35,00
Clorofila-b (µg/g MF)	49,07	40,83	22,85	6,41	21,61	9,45
Total (µg/g MF)	111,42	94,69	83,55	43,94	82,59	44,45

Tabela 4 Concentrações de clorofila encontradas.  
 MF: Matéria fresca

### 3.3 Reflectância por Satélite

Além do computo do IAF para as respectivas áreas, foi realizado o processamento digital de imagem MSI do Sentinel-2<sup>a</sup>, para obtenção da reflectância da base da atmosfera (BOA) para o mês de fevereiro de 2017. A coleta de folhas para análise de

clorofila foi realizada no dia 23 de fevereiro de 2017, e a imagem coletada sobre a área é datada do dia 25 de fevereiro de 2017. Foram escolhidas, para extrair a reflectância, as bandas 8A, 4, 3 e 2 (infravermelho próximo, vermelho, verde e azul, respectivamente), e os gráficos encontram-se na Figura 2.

Conforme a tabela 3, a concentração de clorofila total da área 1 é maior do que a área 2, porém os valores de reflectância (Figura 3), não acompanharam esse resultado, pois se esperava que a reflectância da área 1 fosse menor que a área 2. Na figura 3 E, que mostra a média de reflectância, observa-se que a área 2 reflete menos energia que a área 1, especialmente na região de ação da clorofila, região do vermelho em 665 nm. Andrade *et al.* (2010), analisando IAF, mostraram que o alto índice de plantas invasoras com bom porte aéreo foliar pôde interferir nos dados estimados por imagens de satélite, elevando os valores de IAF para pastagem. Como o IAF é proveniente da reflectância das bandas em análise, é possível que a presença de plantas invasoras na área 2 provoque a absorção observada nos gráficos.

Além disso, os valores de reflectância da área 2 (Figura 3 C) apresentam maior desvio padrão, principalmente na banda 8A onde a área 1 (Figura 3 A) aparece com , e a área 2 com . Essa informação é importante ao analisar a relação dos dados com a observação de campo, onde, na figura 3 B referente à área 1, pode-se constatar na pastagem a homogeneidade da cobertura da gramínea, que se reflete na homogeneidade dos dados observado na figura 3 A. Já para a área 2 (figura 3 D), é possível que a variação de espécies na cobertura do solo tenha influenciado na reflectância, apresentando maior variação nos dados (figura 3 C)

### 3.4 Espectrorradiometria de Campo

As curvas espectrais são analisadas no intervalo de comprimento de onda entre 400 e 900 nm, região fotossinteticamente ativa, e os gráficos de reflectância estão dispostos na figura 4. De maneira geral os espectros apresentam características semelhantes e esperadas, como a assinatura espectral característica da vegetação que é o comportamento

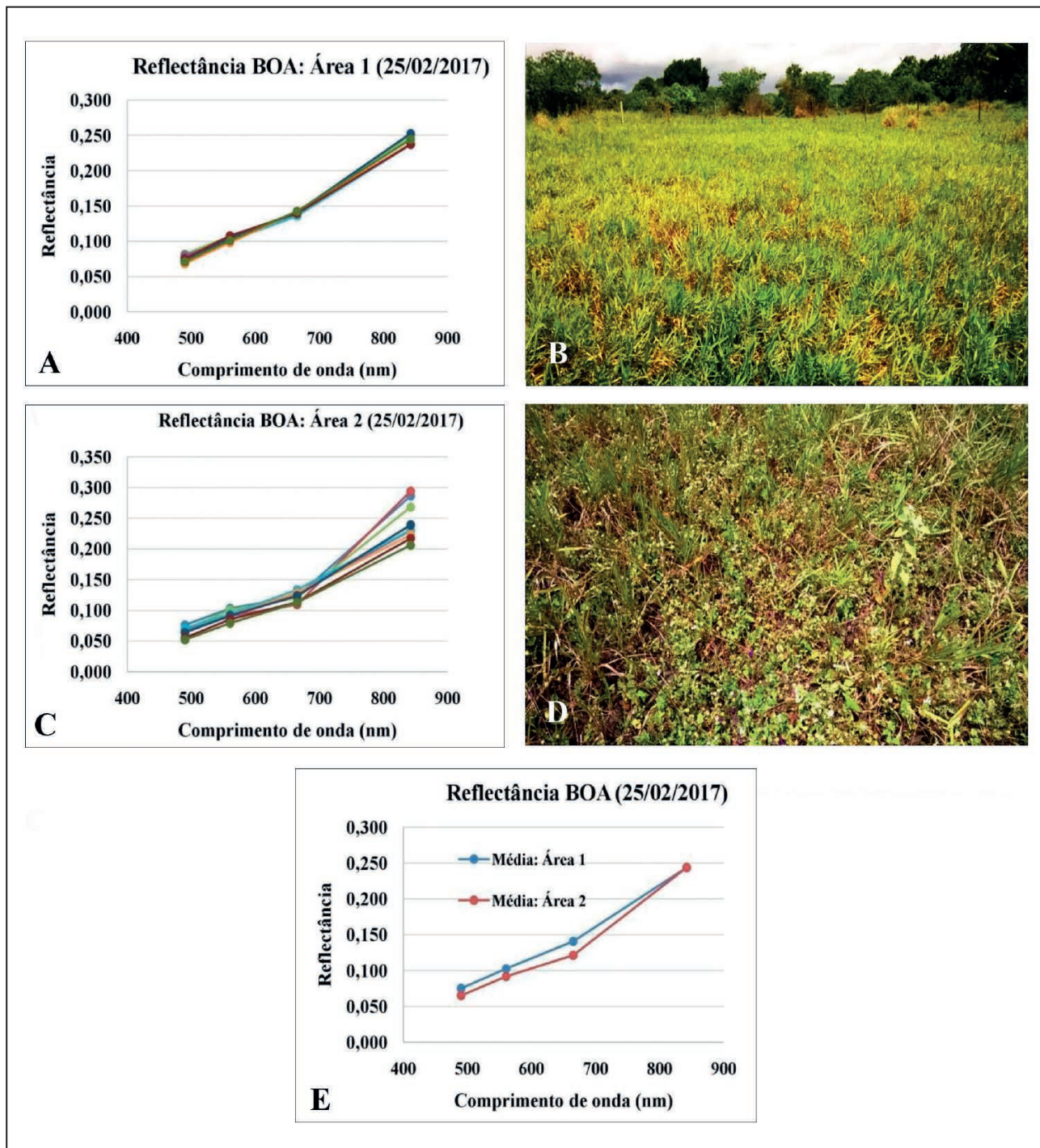


Figura 3 Gráficos de reflectância na base da atmosfera: A, para a área 1; C, para a área 2; E, média de reflectância para áreas 1 e 2; B, figura de no mês de fevereiro de 2017 para áreas 1 e 2 e fotografias de ambas as áreas, ilustrando observação de campo.

antagônico da reflectância: elevada na região do infravermelho próximo e baixa na região do vermelho (Ponzoni & Shimabukuro, 2009). As curvas se assemelham aos resultados obtidos por Paz *et al.* (2009)

para o gênero *Brachiária*, que analisaram respostas radiométricas de gramíneas forrageiras incluindo a espécie *Brachiária decumbens* (além de *B. brizatha*, *B. humidicola*, etc.).

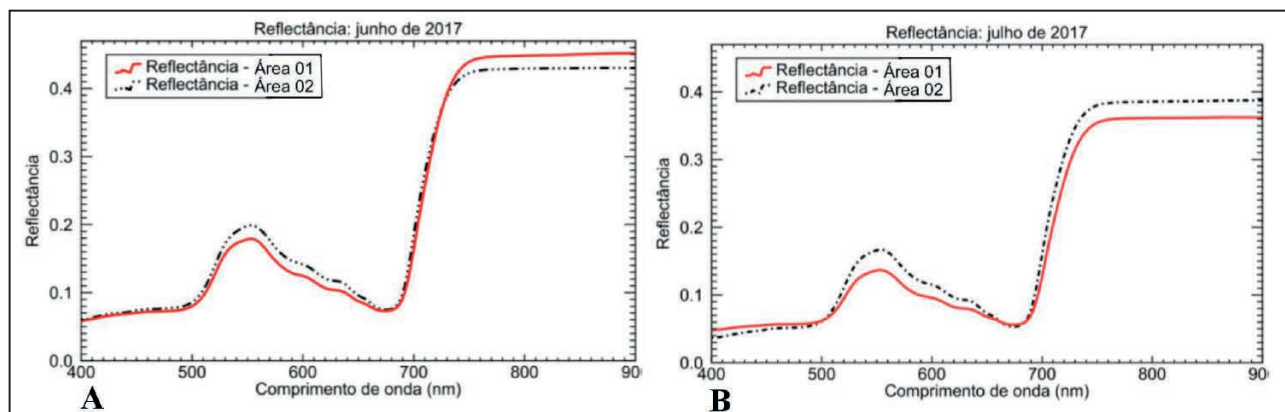


Figura 4 Gráficos de reflectância espectral do dossel das áreas 1 e 2 coletados *in situ* nos meses de junho em A, e julho de 2017 em B.

Franco & Rosa (2004) analisaram níveis de degradação de pastagem *Brachiária* com espectrorradiometria de campo. Entretanto ao filtrarem os dados em 4 bandas do satélite Landsat/TM (450-520; 520-600; 630-690; e 760-900 nm) os autores concluíram que na região do vermelho, onde a reflectância é influenciada pela ação dos pigmentos fotossintetizantes, a reflectância de uma pastagem degradada tende a ser maior que em ambientes com menor nível de degradação. Isso ocorre porque numa pastagem vigorosa há intensa atividade fotossintética, visto que são plantas C4 (ciclo de carboxilação), com grande absorção de energia. Neste aspecto os gráficos da Figura 4 corroboram com os autores, exceto, possivelmente, no gráfico do mês de julho (Figura 4 B) onde no comprimento de onda central dessa banda, a curva da área 2 apresenta valores menores que os da área 1, que doravante será mais bem explorado.

Curran *et al.* (1990) tratam do comportamento de folhas verdes e seu respectivo conteúdo de clorofila mostrando que, com o aumento da concentração de clorofila, a reflectância diminui no visível (região do vermelho – 550 a 720 nm), e aumenta no infravermelho próximo. Como foi observada na feição da curva do mês de junho/2017 (Figura 4 A) para a área 01.

### 3.5 Remoção do Contínuo

Mutanga & Skidmore (2003) aplicaram a técnica da remoção do contínuo em bandas específicas para identificar feições características de absorção relacionando a qualidade de pastagem em savanas tropicais na África, e identificaram que no intervalo compreendido entre 550 e 750 nm, esta é uma feição importante relacionada às concentrações de clorofila **a** e **b**, e concentrações de nitrogênio, recorrendo como sendo uma importante feição para o mapeamento de qualidade de pastagens em regiões tropicais.

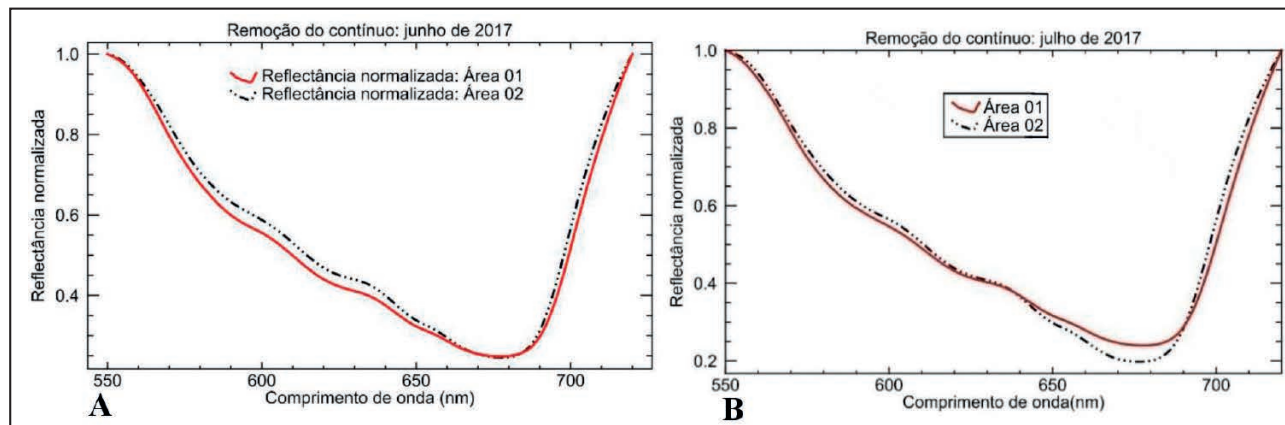


Figura 5 Gráficos de reflectância normalizada dos espectros originais dos meses de junho em A, e em B do mês de julho (2017).



A profundidade da reflectância vermelha nas principais bandas de absorção de Clorofila, a *in vivo* aumenta com o aumento da concentração de clorofila (Ferri, 2002). Considerando toda a banda de absorção, a área 02, com menor concentração de clorofila total nos meses de junho e julho/2017, apresentou maior reflectância nos espectros originais e nos gráficos de remoção do contínuo, exceto quanto mais se aproxima do centro da banda (em 665 nm), apesar da proximidade dos valores nas curvas de reflectância normalizada.

A aplicação da remoção do contínuo sobre os espectros do mês de junho fez com que a curva da área 2, que no espectro original mantém todos os valores do intervalo acima da área 1, apresentasse valores inferiores na região central da banda, denotando reflectância equivalente em 665 nm.

### 3.6 Análise Derivativa

Os gráficos da derivada espectral constam na figura 6. Comparando a aplicação da primeira derivada com a literatura, observou-se semelhança de feições, grande inflexão positiva dos coeficientes de variação, presentes na região de 660 a 780 nm (infravermelho limítrofe) com resultados obtidos por Gürtler *et al.* (2013) que estudaram resposta espectral de *Brachiária brizantha*.

Na curva da segunda derivada é possível observar que, para a área 02, a feição de absorção presente entre 550 a 720 nm, apresentou maior coeficiente de variação que a área 01 em ambos os gráficos de derivada espectral. Tsai & Philpot (1998)

explicam que a segunda derivada mostra feições que estão obscuras nos espectros originais. A diferenciação das pastagens estudadas é mais notável nas curvas de primeira derivada, onde a área 2 tem maior variação observada tanto em inflexões positivas quanto negativas. Esses autores também observam que entre 400 e 500 nm, a característica dos espectros da soja são de absorção, que os valores de segunda derivada são muito próximos de 0,0 e que, a partir desse intervalo, a característica do espectro é de reflectância, apresentando inflexões positivas e negativas. Essa característica pode ser observada neste trabalho. Entretanto, os valores são próximos a 0 em quase todo o espectro estudado em ambos gráficos e isso dificulta a extração de informação, pois denota pouca ou nenhuma variação. Com exceção da feição próxima a 700 nm, onde a curva da área 2 apresenta o maior e o menor pico de variação.

Horler *et al.* (1983) analisando espectros de reflectância de folhas aplicaram a primeira derivada e encontraram forte correlação do conteúdo de clorofila da folha com os coeficientes de variação na região que denominaram “borda vermelha” ou infravermelho limítrofe, situada entre 680 e 750 nm. Essa observação é importante de ser feita, pois, nas curvas da primeira derivada neste intervalo a área 2 apresenta maiores coeficientes de variação que a área 1.

### 4 Conclusão

A aplicação do índice de área foliar com o índice SAVI foi eficiente na diferenciação das classes de pastagens estudadas, como demonstrou os dados

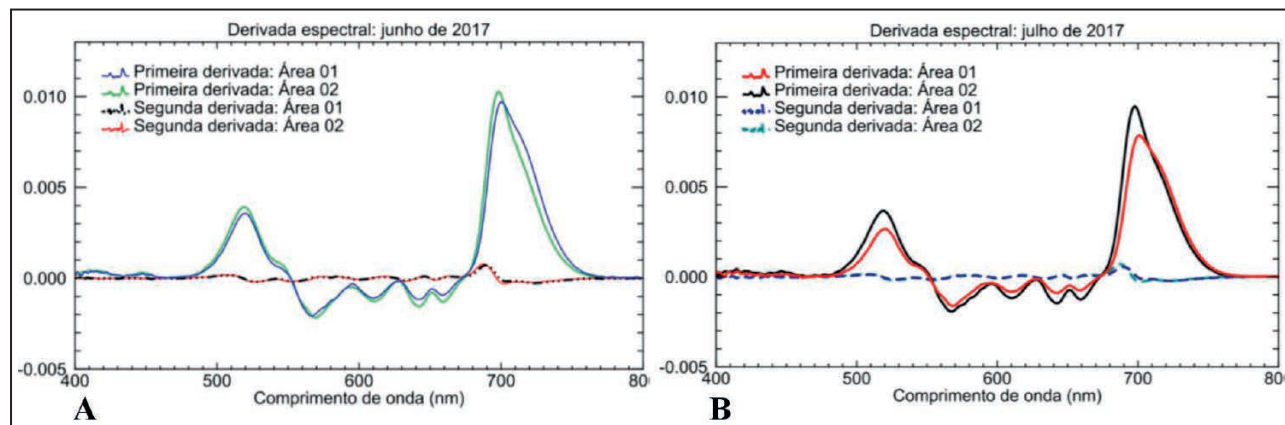


Figura 6 Gráficos de derivada espectral de primeira e segunda ordem para os meses de junho e julho de 2017, em A e B respectivamente.

do IAF. Além disso, a análise de clorofila nas plantas dos dosséis representou o estado de conservação das pastagens estudadas, além do vigor das plantas e seu estado nutricional.

A reflectância na base da atmosfera da imagem Sentinel-2A não se mostrou como o esperado. Entretanto, foi possível verificar nos dados a uniformidade da pastagem da área 1.

A espectrorradiometria de campo se mostrou eficiente na diferenciação das áreas, confrontando com dados químicos, especialmente na análise derivativa que apresentou padrões de separação como maior variação para área degradada.

## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem a toda infraestrutura disponibilizada pela Universidade Estadual de Feira de Santana, no seu Centro de Agroecologia Rio Seco e no Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, bem como a logística. Além da bolsa oferecida pelo CNPq, cujo auxílio financeiro foi fundamental no desenvolvimento deste trabalho.

## 6 Referências

- Ali, I.; Cawkwell, F.; Dwyer, E.; Barrett, B. & Green, S. 2016. Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management. *Journal of Plant Ecology*, 9 (6): 649 – 671.
- Andrade, R.G.; Rodrigues, C.A.G.; Quartaroli, C.F.; Furtado, A.L.S.; Brunini, O. & Sanches, I. I'A. 2010. Estudo do índice de área foliar de pastagem em diferentes níveis de degradação com aplicações de imagens Landsat 5 – TM e dados de campo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 16, *Anais*. Belém, 2010.
- Andrade, R.G.; Rodrigues, C.A.G.; Sanches, D'a.I.; Torresan, F.E. & Quartaroli, C.F. 2013. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. *Engenharia Agrícola*, 21(3): 234 - 243.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24 (1): 1 – 15.
- Arruda, A.G.R. 2015. *Análise de parâmetros biofísicos por sensoriamento remoto em diferentes uso e ocupação no município de Cuiabá - MT*. Curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá, Dissertação de Mestrado, 58 p.
- Beerli, O.; Phillips, R.; Hendrickson, J.; Frank, A.B. & Kronberg, S. 2007. Estimating forage quantity and quality using aerial hyperspectral imagery for northern mixed-grass prairie. *Remote Sensing of Environment*, 110(2): 216 – 225.
- Bonfim-Da-Silva, E.M. 2005. *Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica*. Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado.
- Brandão, Z.N.; Sofiatti, V.; Bezerra, J.R.C. & Ferreira, G.B. 2011. Estimativa da produtividade do algodoeiro através de imagens de satélite. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO & COTTON EXPO*, 8, São Paulo, 2011. *Anais*, p. 1602 - 1609.
- Chen, J.; Dowman, I.; Li, S.; Li, Z.; Madden, M.; Mills, J.; Paparoditis, N.; Rottensteiner, F.; Sester, M.; Toth, C.; Trinder, J. & Heipke, C. 2016. Information from imagery: ISPRS scientific vision and research agenda. *ISPRS Journal of Photogrammetry And Remote Sensing*, 115: 3 – 21.
- Clark, R.N. & Roush, T.L. 1984. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *Journal of Geophysical Research*, 89(B7): p. 6329 – 6340.
- Costa, K.A.P.; Faquin, V.; Oliveira, I.P. de; Araújo, J.L. & Rodrigues, R.B. 2008. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu: II - nutrição nitrogenada da planta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(4): 1601 – 1607.
- Curran, P.J.; Dungan, J.L. & Peterson, D.L. 2001. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: Testing the Kokaly and Clark methodologies. *Remote Sensing of Environment*, 76: 349 – 359.
- Curran, P.J.; Foody, G.M.; Kondratyev, K.Y.; Kozoderov, V.V. & Fedchenko, P.P. 1990. *Remote sensing of soils and vegetation in the USSR*. Nova Iorque, Taylor & Francis.
- Danelichen, V.H.M.; Velasque, M.C.S.; Musis, C.R.; Machado, N.G.; Nogueira, J.S. & Biudes, M.S. 2014. Estimativa de índice de área foliar de uma pastagem por sensoriamento remoto no Pantanal Mato-grossense. *Ciência e Natura*, 36(3): 373 – 384.
- EUROPEAN SPACE AGENCY. 2016. *Sen2Cor Configuration and User Manual*. Disponível em: < [http://step.esa.int/thirdparties/sen2cor/2.3.0/\[L2A-SUM\]%20S2-PDGS-MPC-L2A-SUM%20\[2.3.0\].pdf](http://step.esa.int/thirdparties/sen2cor/2.3.0/[L2A-SUM]%20S2-PDGS-MPC-L2A-SUM%20[2.3.0].pdf) >. Acesso em: 15 mar. 2017.
- Ferreira, L.G.; Fernandez, L.E.; Sano, E.E.; Field, C.; Sousa, S.B.; Arantes, A.E. & Araújo, F.M. 2013. Biophysical Properties of Cultivated Pastures in the Brazilian Savanna Biome: An Analysis in the Spatial-Temporal Domains Based on Ground and Satellite Data. *Remote Sensing*, 5(1): 307 – 326.
- Ferri, C.P. 2002. *Utilização da reflectância espectral para a estimativa de pigmentos fotossintéticos em dosséis de soja [Glycinemax (L.), Merrill]*. Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Tese e Doutorado, 171p.
- Fletcher, K. 2012. *Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*. Tetherlands, ESA Communications. 80p.
- Francisco, E.A.B.; Bonfim-Silva, E.M. & Teixeira, R.A. 2017.

- Aumento da produtividade de carne via adubação de pastagens. *In: Informações Agronômicas*. Piracicaba, INPI, p. 6 – 12. (Número 158).
- Franco, J.B.S. & Rosa, R. 2004. Análise da possibilidade de identificar pastagens degradadas utilizando dados radiométricos de campo. *Sociedade & Natureza*, 16 (31): 37 – 55.
- Galvão, L.S.; Formaggio, A.R. & Tisot, D.A. 2005. Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor hyperion/EO-1. *Revista Brasileira de Cartografia*, 1(57): 7 – 14.
- Guo, X.; Wilmschurst, J.F. & Li, Z. 2010. Comparison of Laboratory and Field Remote Sensing Methods to Measure Forage Quality. *International Journal of Environmental Research And Public Health*, 7(12): 3513 – 3530.
- Gürtler, S.; Sanches, I.D'a; Magalhães, L.A.; Quitério, G.C.M.; Souza Filho, C; R. & Nopper, M.A. 2013. Análise espectral de Brachiaria brizantha cultivada em solo contaminado por diferentes volumes de hidrocarbonetos líquidos. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16, Foz do Iguaçu, 2013. *Anais*, São José dos Campos, INPE, p. 1533 – 1539.
- Horler, D.N.H.; Dockray, M. & Barber, J. 1983. The red edge of plant leaf reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 4(2): 273 – 288.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295 – 309.
- Kokaly, R.F. & Clark, R.N. 1999. Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of absorption features and stepwise multiple linear regression. *Remote Sensing of Environment*, 67: 267 – 287.
- Londe, L.R.; Novo, E.M.L.M. & Calijuri, M.C. 2005. Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12, Goiânia, 2005. *Anais*, São José dos Campos, INPE, p. 389 – 396.
- Lugassi, R.; Chudnovsky, A.; Zaady, E.; Dvash, L. & Goldshleger, N. 2015. Estimating Pasture Quality of Fresh Vegetation Based on Spectral Slope of Mixed Data of Dry and Fresh Vegetation—Method Development. *Remote Sensing*, 7(6): 8045 – 8066.
- Mattos, W.T. De. 2001. *Avaliação de pastagem de capim-braquiária em degradação e sua recuperação com suprimento de nitrogênio e enxofre*. Curso de Doutorado em Agronomia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 108 p.
- Mayer, B. & Kylling, A. 2005. Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5(7): 1855 – 1877.
- Meer, F.V.D. 2000. Spectral curve shape matching with a continuum removal CCSM algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 21(16): 3179 – 3185.
- Moreira, M.A. 2005. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. 3ª ed. Viçosa, Editora UFV, 320 p.
- Mutanga, O. & Skidmore, A.K. 2003. Continuum-removed absorption features estimate tropical savanna grass quality in situ. *In: EARSEL WORKSHOP ON IMAGING SPECTROSCOPY*, 3, Herrsching, 2003. *Proceedings*, p. 542-558.
- Mutanga, O.; Skidmore, A.K. & Van Wieren, S. 2003. Discriminating tropical grass (Cenchrus ciliaris) canopies grown under different nitrogen treatments using spectroradiometry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(4): 263 – 272.
- Mutanga, O; Skidmore, A.K. & Prins, H.H.T. 2004. Predicting in situ pasture quality in the Kruger National Park, South Africa, using continuum-removed absorption features. *Remote Sensing of Environment*, 89(3): 393 – 408.
- Noomem, M.F.; Meer, F.D. & Skidmore, A.K. 2005. Hyperspectral remote sensing for detecting the effects of three hydrocarbon gases on maize reflectance. *In: Internations Symposium of Remote Sensing of Environment*, 31, Saint Petersburg, 2005. *Proceedings*.
- Paz, C.R.; Saquet, D.B.; Ferraz, R.C.; Giroto, J.; Pereira, R.S. & Costa, V.P. 2009. Discriminação de diferentes espécies de pastagens com uso da espectrorradiometria. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14, Natal, 2009. *Anais*, Natal, INPE, p. 1175 – 1181.
- Ponzoni, F.J. & Shimabukuro, Y.E. 2007. *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. São José dos Campos, Parêntese. 135 p.
- Pullanagari, R.R.; Kereszturi, G. & Yule, I.J. 2016. Mapping of macro and micro nutrients of mixed pastures using airborne AisaFENIX hyperspectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117: 1 – 10.
- Schmidt, K.S. & Skidmore, A.K. 2003. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. *Remote Sensing of Environment*, 85: 92 – 108.
- Shi, R.; Zhuang, D. & Niu, Z. 2004. Physical investigation on biochemical prediction using continuum removal. *In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2, Anchorage, 2004. *Proceedings*, Anchorage, IEEE, p. 1463 - 1466.
- Silva Júnior, M.C.; Pinto, F.A.C.; Queiroz, D.M.; Vieira, L.B. & Resende, R.C. 2013. Using an aerial system of remote sensing to detect different nutritional status in Brachiaria decumbens. *Engenharia Agrícola*, 33(5): 1049 – 1062.
- Silva, F.C. 2009. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. Brasília, EMBRAPA. 627 p.
- Starks, P.J.; Coleman, S.W. & Phillips, W.A. Determination of forage chemical composition using remote sensing. *J Range Manage*, 57(6): 635 – 640.
- Tsai, F. & Philpot, W. 1998. Derivative Analysis of Hyperspectral Data. *Remote Sensing of Environment*, 66(1): 41 – 51.
- Vasconcelos, C.N. 2006. *Pastagens: implantação e manejo*. Salvador, EBDA. 177p.