

## **Análise dos fatores de reflectância de folhas de cana de açúcar, gerados a partir de dados de espectoradiômetro**

Roberto de Barros Santo<sup>1</sup>  
Pedro Paulo Pinto Holzhausen<sup>1</sup>  
Jansle Vieira Rocha<sup>1</sup>  
Gleyce Kelly Dantas Araújo Figueiredo<sup>1</sup>  
Rubens Augusto Camargo Lamparelli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Avenida Cândido Rondon, nº501, Barão Geraldo, CEP 13083-875 Campinas, SP, Brasil  
ro.barrossan@gmail.com {jansle.rocha gleyce.figueiredo}@feagri.unicamp.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas - Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Rua Cora Coralina, no 330, CEP 13083-896 Campinas, SP.  
rubens.lamparelli@gmail.com

**Abstract.** Remote sensing is a science that aims to study the distance, the behavior of electromagnetic energy in different objects. The study of the interaction of electromagnetic radiation in different targets of interest is important for the identification and classification of various crops. Another important factor is that this study may also help to calibrate remote sensing data and improve them. There are different physical and biological mechanisms in the leaves that influence their reflectance. Thus depending upon the physical circumstances, chemical and biological, which is measured reflectance of the sheet can get different results. The work aimed to obtain reflectance factor curves from different parts of the sugarcane leaf, among the bands of the visible, near infrared and mid-infrared. Like, do a study and evaluation of their spectral behavior based on information present in literature. To achieve these goals we used a espectoradiômetro laboratory (classroom) and sugarcane leaves collected in the field of the Faculty of Agricultural Engineering - Feagri, at Unicamp. Three types of sugar cane leaves were used at different stages of development, such as: sound sheet, sick sheet (senescent) and dry leaf. Also complementing this work, from the sound sheet were measured and evaluated the two sides of the same, that is, front and your back. Thus after processing the data measured and it was found that the spectral signature of sugarcane leaf, showed considerable variations depending on the location of the sheet on which was applied espectoradiômetro.

### **1. Introdução**

Campebell (1987) define sensoriamento remoto como a ciência de obter informações da superfície terrestre a partir de imagens tomadas à distância. E a aquisição dessas informações depende da energia eletromagnética que interage com a matéria.

Na superfície terrestre cada alvo apresenta diferente assinatura espectral, seu conhecimento é importante para a identificação do objeto de interesse Ponzoni e Disperati (1995). Quanto a isso Jensen (2009) relata que o conhecimento sobre como a radiação eletromagnética interage com os alvos, ou seja, o comportamento espectral do alvo, é importante para a interpretação dos dados obtidos por meio de diversos sensores.

O comportamento espectral de uma superfície ou objeto, pode ser descrito através de curvas de fator de reflectância. Esse tipo de curva demonstra a fração de energia eletromagnética refletida por comprimento de onda (Ponzoni et al. 2012).

Uma maneira de se obter as curvas de fator de reflectância é por meio da coleta de dados de reflectância espectral percentual *in situ* utilizando um espectoradiômetro. Esse tipo de

instrumento permite a obtenção de dados com bastante precisão, oferecendo um nível de detalhamento espectral elevado, possibilitando a realização de uma análise minuciosa que pode trazer informações importantes e únicas sobre um determinado alvo.

Segundo Jensen (2009), essas medidas de reflectância são úteis para conhecer as características de reflectância espectral de materiais selecionados; calibrar dados de sensores remotos; e fornecer dados espectrais únicos para aprimorar a extração de informações provenientes de dados de sensores remotos multiespectrais e hiperespectrais.

De acordo com Labus et al. (2002) o sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta valiosa no monitoramento agrícola devido a sua habilidade de “enxergar” em diversos comprimentos de onda. Sendo que há mais de 35 anos pesquisadores vêm estudando o potencial de seu uso aplicado à agricultura, e ainda investigando as características morfológicas de culturas e suas propriedades espectrais (Allen et al., 1969; Gausman et al., 1969).

Para Moreira (2001), os três principais mecanismos biológicos que influenciam a reflectância das folhas são: pigmentos, quantidade de água e estrutura celular, além de fatores físicos como o ângulo de incidência da radiação, ângulo de visada e arquitetura da planta. Os mecanismos biológicos respondem de forma distinta de acordo com a disponibilidade de água no ambiente, saúde e idade da planta.

Assim, este trabalho teve como objetivo obter curvas de fator de reflectância de diferentes partes da folha da cana-de-açúcar, dentre as faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Assim como, fazer um estudo e avaliação de seu comportamento espectral baseados em informações presentes em literatura.

## 2. Metodologia de Trabalho

Para este trabalho, foram coletadas três folhas de cana-de-açúcar provenientes de um canal situado nas imediações de Campinas (SP), sendo uma delas sadia, uma doente e outra seca. Nas folhas doente e seca, foi extraído um pedaço de cerca de 6 cm de comprimento da faixa do meio da mesma. Na folha sadia, foram extraídos três pedaços de aproximadamente 6 cm de comprimento, um proveniente da ponta, outro do meio e outro da base da folha. A Figura 1 exibe as amostras sadias, doente e seca selecionadas. A Figura 2 mostra a folha sadia que foi selecionada para a obtenção dos valores de reflectância no momento de aferição.

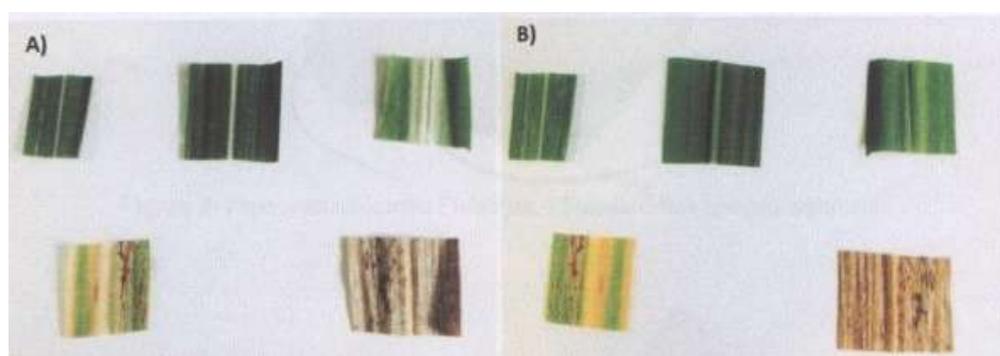


Figura 1: a) Amostras da parte da frente da folha de cana-de-açúcar, primeira fileira da esquerda pra direita: ponta, meio e base. Segunda fileira: doente e seca. b) Amostras da parte do verso da folha de cana-de-açúcar, primeira fileira da esquerda pra direita: ponta, meio e base. Segunda fileira: doente e seca.

Os dados de fator de reflectância espectral foram obtidos com o FieldSpec 4 Standard-Res Spectroradiometer (Figura 3). Esse espectroradiômetro possui alcance espectral de 350-2500 nm, resolução espectral de 3  $\mu\text{m}$  em 700 nm e 10 nm em 1000/2500 nm e intervalo de

amostragem de 1,4nm em 350-1050 nm e 2 nm em 1000-2500 nm.



As leituras das reflectâncias foram feitas por meio de uma sonda de contato com feixe de visada de 10 mm, posicionada em ângulo ortogonal em relação a superfície da amostra e com o campo de visada tomado pelo material (Figura 4). Esse acessório permite obter os espectros em condições idênticas, sem interferência significativa da atmosfera e sem interferências de fontes externas de iluminação. Um bulbo halógeno de quartzo tungstênio acoplado no interior da sonda de contato, foi utilizado como fonte emissora de radiação eletromagnética. Também foi acoplado na sonda, em ângulo de 45°, um cabo de fibra óptica com campo de visada de 25". Essa fibra é responsável por levar a radiação eletromagnética até o sensor.

Uma placa de sulfato de bário foi utilizada como padrão de referência de alta reflectância difusa. Antes de cada aferição a sonda foi posicionada sobre essa placa (Figura 5), obtendo os valores máximos de reflectância, necessários para o cálculo do fator de reflectância bidirecional.

Uma superfície negra esponjosa de poliuretano (Figura 6) foi utilizada para apoiar as amostras no momento de cada aferição, garantindo que a radiação eletromagnética incidente não refletisse na superfície debaixo e voltasse para o sensor, ocasionando a reflexão aditiva que inseriria ruído na radiação captada.



Considerando que há diferença entre os lados das folhas, na folha sadia, foram obtidos dados tanto na parte frontal quanto posterior nas regiões da base, meio e ponta da folha. Na folha doente e seca, foram obtidos dados apenas na parte frontal da região do meio da folha. A leitura espectral foi realizada muitas vezes para cada amostra de forma automática e os dados de fator de reflectância foram obtidos através da média dos valores obtidos nas leituras em cada comprimento de onda. Esse processamento foi feito automaticamente no computador,

por meio do software que acompanha o Fieldspec. Os dados resultantes após o processamento foram salvos em um arquivo.

Foram gerados 7 gráficos por meio do D3.js Bostock (2015) para comparar as curvas de fator de reflectância das diversas amostras. Foram feitas comparações entre todas as curvas; entre as curvas das amostras de folha doente, seca e da parte frontal do meio da folha sadia; da frente das regiões da ponta, meio e base da folha sadia; do verso das regiões da ponta, meio e base da folha sadia; e da frente e do verso para cada região da folha sadia (ponta, meio e base). Em cada um dos gráficos gerados, para facilitar a análise, traçou-se linhas verticais nos comprimentos de onda de 0,4  $\mu\text{m}$ , 0,72  $\mu\text{m}$  e 1,3  $\mu\text{m}$ , destacando assim, as regiões espectrais do visível (0,4 - 0,72  $\mu\text{m}$ ), do infravermelho próximo (0,72 - 1,3  $\mu\text{m}$ ) e do infravermelho médio (1,3 - 3,2  $\mu\text{m}$ ).

A interpretação dos gráficos foi feita visualmente majoritariamente com apoio de informações obtidas nas obras de Ponzoni et al. (2012) e Jensen (2009).

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 7 apresenta todas as curvas de fator de reflectância, geradas a partir do processamento dos dados do espectrorradiômetro.

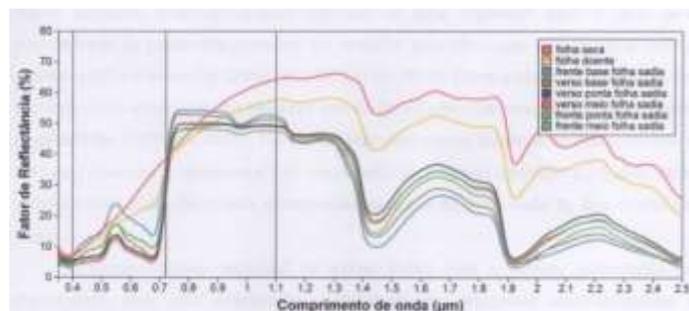


Figura 7: Comparação entre todas as curvas de fator de reflectância.

As curvas das folhas doente e seca apresentaram assinaturas espectrais diferente das demais amostras, caracterizando-se pelo crescimento constante do fator de reflectância na faixa do visível e infravermelho próximo em direção aos maiores comprimentos de onda. Também é possível notar na região do visível elevados valores de fator de reflectância na curva da folha sadia na face frontal da base, quando comparada a outras amostras de folha sadia.

Na Figura 8 é possível visualizar a comparação entre as curvas das folhas sadia, doente e seca.

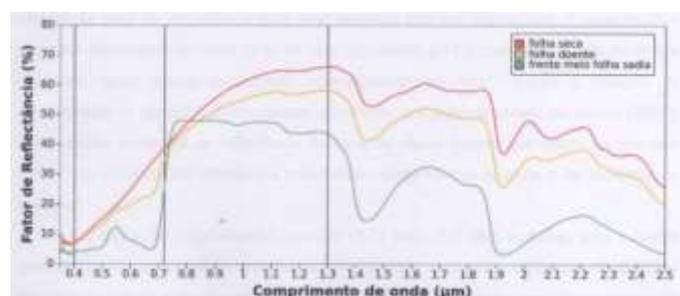


Figura 8: Curvas de fator de reflectância das folhas doente, seca e sadia.

Na faixa visível (0,4 - 0,72  $\mu\text{m}$ ), o comportamento espectral das folhas seca e doentes foi significativamente diferente da sadia.

O comportamento apresentado pela folha sadia pode ser explicado pelo fato de que nessa região espectral, o comportamento de uma vegetação sadia é dado pela concentração de

pigmentos presentes no mesófilo paliádico, que são: clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%) (Ponzoni et al. 2012). Como a clorofila geralmente é o pigmento mais abundante, sua presença tem maior influência no comportamento espectral de uma folha (Jensen 2009). Como esse pigmento possui absorção no azul (próximo a  $0,45 \mu\text{m}$ ) e vermelho (próximo a  $0,65 \mu\text{m}$ ) e reflexão no verde (próximo a  $5,5 \mu\text{m}$ ), essas características foram facilmente identificadas na curva da folha sadia na face frontal do meio.

O comportamento espectral de ambas folhas seca e doente, apresentado no experimento, pode estar relacionado a degradação dos pigmentos fotossintetizantes e proteínas devido a perda de água, que segundo Ponzoni et al. (2012), faz com que as folhas fiquem menos aptas a absorver radiação na faixa na região do visível, portando, apresentando maior reflectância em relação as folhas saudias.

Quando comparada a folha doente com a seca na região do visível (Figura 8), é possível notar que na região do vermelho (próximo a  $0,65 \mu\text{m}$ ), os valores de fator de reflectância da folha doente são inferiores ao da folha seca. Isso pode estar relacionado ao fato de que a folha doente ainda possui certa quantidade de clorofila que dos pigmentos majoritários, é o que mais absorve radiação eletromagnética nessa faixa (Ponzoni et al.2012), logo como a folha doente ainda apresenta alguma concentração desse pigmento, os valores do fator de reflectância para esse intervalo têm um decréscimo. A característica espectral apresentada também pode ter sido ocasionada pelo aumento da influência de um pigmento, antes pouco perceptível espectralmente no local, devido a redução da concentração da clorofila. É interessante mencionar, que segundo consta em Jensen (2009), essa redução acentuada na reflectância da curva da planta doente, que ocorre no intervalo de  $0,65 \mu\text{m}$  a  $0,7 \mu\text{m}$  em direção aos mais baixos comprimentos de onda, é um indicador de estresse.

Na região do infravermelho próximo ( $0,72 \mu\text{m}$  -  $1,3 \mu\text{m}$ ), as folhas seca e doente apresentaram comportamento semelhante, que foi curva ascendente no sentido do aumento do comprimento de onda. A curva da folha sadia, apresentou comportamento ascendente de  $0,72 \mu\text{m}$  até aproximadamente  $0,74 \mu\text{m}$ , e a partir desse último ponto apresentou curva levemente descendente no sentido do aumento do comprimento de onda. No infravermelho próximo, a alta reflectância é ocasionada pelo considerável valor de espalhamento da radiação no mesófilo esponjoso foliar. Geralmente, quanto mais lacunosa for a estrutura interna da folha, maior serão os valores dos fatores de reflectância (Ponzoni et al. 2012). A alta reflexão nessa faixa espectral é uma maneira da folha se proteger do superaquecimento, pois como este intervalo apresenta elevada quantidade de energia, a elevada absorção danificaria a folha Jensen (2009). Os altos valores de fator de reflectância das folhas seca e doente do experimento no infravermelho próximo, podem ter sido ocasionados pela alteração na estrutura das células devido a saída de água, tomando-as mais prismáticas, e devido a isto, mais propensas a refletir a radiação eletromagnética.

Na região do infravermelho médio ( $1,3 \mu\text{m}$  -  $3,3 \mu\text{m}$ ), o comportamento espectral é dado pelo conteúdo de água foliar. Quanto maior for a concentração de água na folha, menor serão os valores de fator de reflectância obtidos (Ponzoni et al. 2012). Outra característica marcante dessa faixa, é a presença de forte absorção nos comprimentos de onda de  $1,45 \mu\text{m}$ ,  $1,94 \mu\text{m}$  e  $2,7 \mu\text{m}$  (Jensen 2009). Como pode ser visto na Figura 8, a folha seca que apresenta a menor concentração de água possui a curva com maior porcentagem de reflectância; a folha doente, como apresenta um pouco mais de água tem valor intermediário; e a folha sadia como possui maior concentração de água, possui os menores valores de reflectância no infravermelho médio. Os pontos de forte absorção pela água podem ser vistos claramente nas três curvas, nos comprimentos de onda  $1,45 \mu\text{m}$  e  $1,94 \mu\text{m}$ .

A Figura 9 apresenta a comparação entre as curvas de fator de reflectância para as partes da base, meio e ponta da frente de uma folha sadia.

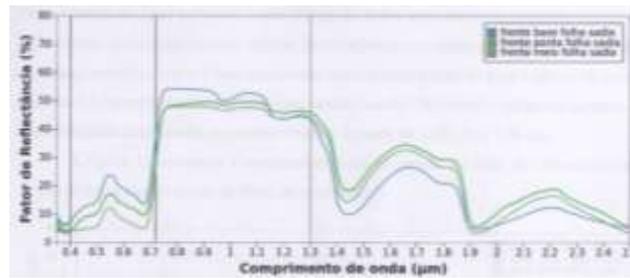


Figura 9: Curvas de fator de reflectância para a base, meio e ponta da frente de uma folha sadia.

Na região do visível, a parte da base da folha sadia obteve valores superiores a 10% de reflectância por toda extensão da faixa, com uma grande acentuação na faixa do verde (0,5 µm - 0,6 µm) com valores superiores a 20%. O meio da folha sadia, obteve os valores mais baixos de fator de reflectância, tendo pico na faixa do verde com aproximadamente 12% de fator reflectância. A ponta da folha sadia, obteve valores intermediários de fator de reflectância em comparação com a base e o meio.

O comportamento espectral visualizado indica que para o experimento, a amostra do meio da face frontal da folha sadia apresentou maior quantidade de clorofila, visto que apresenta menores valores de reflectância no azul (0,4 µm - 0,5 µm) e vermelho (0,6 µm - 0,7 µm), faixas em que a clorofila apresenta elevados valores de absorção. O valor demasiadamente elevado de reflectância, encontrado na parte da base pode ser justificado pelo fato de que a medição por meio da sonda, foi sob a nervura central da folha. Como essa estrutura é maior na base, e essa região apresenta menor concentração pigmentos fotossintetizantes, que são responsáveis pela absorção dos comprimentos de onda do visível para a realização da fotossíntese, logo possui maior fator de reflectância.

Na faixa do infravermelho próximo, a base da folha sadia obteve os maiores valores para fator de reflectância, seguida respectivamente da parte da ponta e do meio. Isso indica que essa amostra apresentou uma estrutura mais lacunosa e suscetível a reflectância interna do que as duas outras amostras. Ainda na Figura 9, é possível visualizar com maior facilidade, faixas de forte absorção da radiação eletromagnética pela água, nos comprimentos de onda de 0,97 e 1,2 µm, caracterizadas por um forte declive na curva.

No infravermelho médio, como a característica espectral da vegetação é dada pela concentração de água na folha, como a base da folha apresentou os menores valores de reflectância o meio apresentou valores intermediários e a ponta apresentou valores mais elevados, concluiu-se que a base apresentou maior concentração de água seguida do meio e a ponta..

A figura 10 apresenta a comparação entre as curvas de fator de reflectância dos versos da base, meio e ponta da folha de cana sadia.

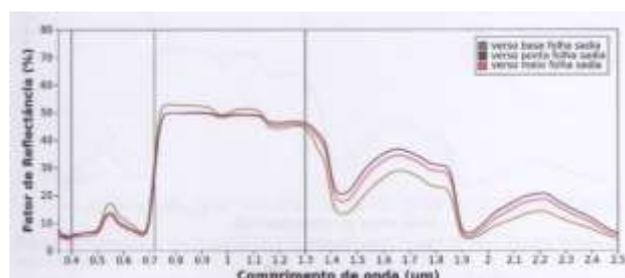


Figura 10: Curvas de fator de reflectância para a base, meio e ponta do verso de uma folha sadia.

Os valores de fator de reflectância da ponta e do meio do verso da folha, foram bastante próximos até o início do infravermelho médio, faixa onde o conteúdo de água foliar influencia mais o comportamento espectral, indicando diferenças na quantidade de água na parte do meio e da ponta da folha.

A amostra da base, apresentou maiores valores de reflectância no verde (0,5  $\mu\text{m}$  0,6  $\mu\text{m}$ ) e apresentou reflectância semelhante às outras amostras nos demais comprimentos de onda da região do visível. A aplicação para esse acontecimento se sustenta nos mesmos argumentos apresentados para a parte frontal da base.

Ainda considerando o comportamento espectral da parte do verso da base da folha de cana-de-açúcar essa amostra apresentou valores mais elevados na região do infravermelho próximo, indicando que nessa parte a estrutura celular é mais lacunosa e propicia a refletir a radiação eletromagnética do que a das outras amostras. Na região do infravermelho médio, a amostra da base obteve os menores valores, indicando possuir maior conteúdo de água que as outras amostras.

As Figuras 11, 12 e 13, apresentam comparações das curvas de reflectância da frente e do verso de uma mesma parte da folha, verificando-se diferenças entre a assinatura espectral da frente e do verso de uma folha de cana-de-açúcar, porém, a comportamento espectral característico da vegetação sadia é a mesma para todas as amostras.

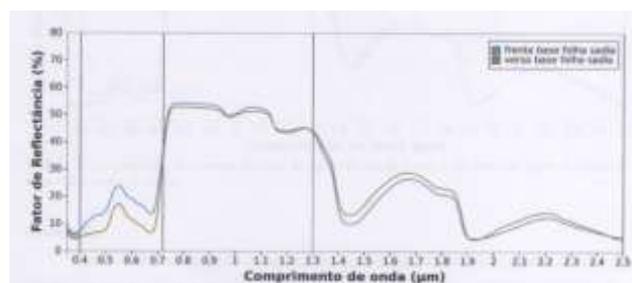


Figura 11: Curvas de fator de reflectância da frente e do verso da base de uma folha sadia

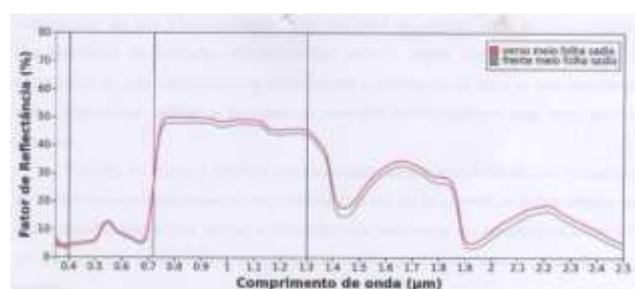


Figura 12: Curvas de fator de reflectância da frente e do verso do meio de uma folha sadia.

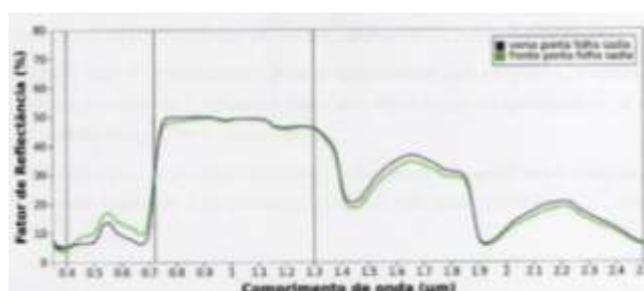


Figura 13: Curvas de fator de reflectância da frente e do verso da ponta de uma folha sadia

#### 4. Conclusão

Notou-se a necessidade de aprofundamento nos estudos sobre a morfologia da folha da cana-de-açúcar para compreender melhor a interação da radiação eletromagnética com seus tecidos celulares.

Verifica-se que a assinatura espectral da folha da cana-de-açúcar, apresentou consideráveis variações dependendo do local da folha em que foi aplicado o espectralímetro. Isso denota a necessidade de estabelecer um critério para a escolha dos pontos onde serão obtidos os dados para estudo, permitindo uma comparação mais correta.

Por fim, não se conseguiu visualizar um padrão lógico entre os valores de fator de reflectância da frente e do verso da folha de cana, ou seja, não foi possível determinar, por exemplo, se geralmente todo o verso da folha da cana-de-açúcar possui maior reflectância no visível que a frente. Isso se deve a característica morfológica da folha que apresenta nervura mais espessa na base.

#### Referências Bibliográficas

Allen, W. A., H. W. Gausman, A. J. Richardson, and J. W. Thomas (1969), Interaction of isotropic light with a compact plant leaf, *J. Opt. Soc. Amer.*, 59, 1376-1379. Bostok, M. D3.js - Data-Driven Documents. Disponível em: Acesso em: 22 jul. 2014

Campbell, J.B. Introduction to Remote Sensing. New York: Guilford Press, 1987. 550 p. Jensen, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. / tradução da 2ª Edição por José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... et al. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

Jensen, John, R, Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. / tradução da 2ª Edição por José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... et al. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009

Labus, M. P.; Nielsen, G. A.; Lawrence, R. L.; Engel, R.; Long, D. S. Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, London, v.23, n.20, p.4169-4180, 2002. Moreira, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 63-91, 157-166. 250 p. 2001.

Ponzoni, F. J.; Disperati, A. A. Comportamento espectral da vegetação. INPE, 1995. (INPE 5619 pud/065).

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Yosio Edemir. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. 1ed. atualizada e ampliada. São paulo, SP: Oficina de Textos, 2012.