

Comparação de sensores hiperespectrais para análise do comportamento espectral de folhas de soja**Comparison of hyperspectral sensors to analyze the spectral behavior of soybean leaves**

DOI:10.34117/bjdv6n6-057

Recebimento dos originais: 08/05/2020

Aceitação para publicação: 03/06/2020

Fernando Henrique Iost Filho

Formação acadêmica: Mestre em Entomologia

Instituição: Universidade de São Paulo, ESALQ-USP

Endereço: Av. Pádua Dias, 11 – Agronomia – Piracicaba-SP, Brasil

E-mail: fernandohiost@usp.br

Érica Silva Nakai

Formação acadêmica: Doutora em Engenharia de Biossistemas

Instituição: Universidade de São Paulo, ESALQ-USP

Endereço: Av. Pádua Dias, 11 – Agronomia – Piracicaba-SP, Brasil

E-mail: ericanakai@usp.br

Pedro Paulo da Silva Barros

Formação acadêmica: Doutor em Engenharia de Biossistemas pela Universidade de São Paulo, ESALQ-USP

Instituição: Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil

Endereço: km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, Brasil

E-mail: pedropaulo.barros@ufu.br

Caroline Américo da Silva

Formação acadêmica: Engenheira Florestal

Instituição: Universidade de São Paulo, ESALQ-USP

Endereço: Av. Pádua Dias, 11 – Agronomia – Piracicaba-SP, Brasil

E-mail: caroline.americo.silva@usp.br

Mário Tomazello Filho

Formação acadêmica: Doutor em Fitotecnia

Instituição: Universidade de São Paulo, ESALQ-USP

Endereço: Av. Pádua Dias, 11 – Agronomia – Piracicaba-SP, Brasil

E-mail: mtomazel@usp.br

Peterson Ricardo Fiorio

Formação acadêmica: Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade de São Paulo, ESALQ-USP

Endereço: Av. Pádua Dias, 11 – Agronomia – Piracicaba-SP, Brasil

E-mail: fiorio@usp.br

RESUMO

Sensores hiperespectrais apresentam alta resolução espectral, com centenas de bandas, possibilitando observar comportamentos e variações espectrais dos alvos de forma mais detalhada quando comparada com sensores multiespectrais. Diferentes sensores hiperespectrais estão disponíveis, sendo que cada um possui faixas e intervalos de comprimentos de onda específicos. Diante disso, o objetivo do presente trabalho é avaliar a resposta espectral de folhas de soja, utilizando dois sensores hiperespectrais distintos e, comparar as respostas espectrais dos mesmos. Foram utilizados os sensores FieldSpec®3 e Analisador FIT-NIR Multi-Propósito MPA analisando a faixa compreendida entre 800 e 2210 nm. Depois, foram comparados diferentes acessórios do sensor FieldSpec®3, “Leaf Clip” e “Esfera Integradora”. Para tanto, um trifólio no estágio fenológico V3 foi retirado de cada planta de soja, variedade BRS232 (n=20), e levado ao laboratório para coleta dos dados de absorvância foliar nos sensores. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e Análise de Componentes Principais (ACP). Os sensores apresentaram curvas espectrais com feições semelhantes, mas intensidades diferentes. A ACP diferenciou os sensores sendo as curvas do FieldSpec®3 mais dispersas devido à luz difusa da esfera integradora. Os diferentes acessórios conectados ao sensor FieldSpec®3 resultaram em curva espectral com forma semelhante, mas menor quantidade de variância no acessório “Leaf Clip”.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, FieldSpec®3, Analisador FIT-NIR Multi-Propósito MPA, Agricultura de Precisão, Curva Espectral.

ABSTRACT

Hyperspectral sensors have high spectral resolution, with hundreds of bands, making it possible to observe spectral behaviors and variations of targets in more detail when compared to multispectral sensors. Different hyperspectral sensors are available, each of which has specific wavelength ranges and ranges. Therefore, the objective of the present work is to evaluate the spectral response of soybean leaves, using two different hyperspectral sensors and to compare their spectral responses. FieldSpec®3 sensors and FIT-NIR Multi-Purpose Analyzer MPA were used, analyzing the range between 800 and 2210 nm. Then, different accessories of the FieldSpec®3 sensor, “Leaf Clip” and “Integrating Sphere” were compared. For this purpose, a trifolium in the phenological stage V3 was removed from each soybean plant, variety BRS232 (n = 20), and taken to the laboratory to collect data on leaf absorption in the sensors. The data were submitted to the Shapiro-Wilk normality test and Principal Component Analysis (PCA). The sensors showed spectral curves with similar features, but different intensities. ACP differentiated the sensors with the FieldSpec®3 curves being more dispersed due to the diffuse light of the integrating sphere. The different accessories connected to the FieldSpec®3 sensor resulted in a spectral curve with a similar shape, but less amount of variance in the “Leaf Clip” accessory.

Keywords: Remote Sensing, FieldSpec®3, MPA Multi-Purpose FIT-NIR Analyzer, Precision Agriculture, Spectral Curve.

1 INTRODUÇÃO

Sensoriamento remoto é uma ciência que adquire informações sem que haja contato físico com objeto, área ou fenômeno através de sensores e equipamentos (LILLESAND e KIEFFER, 1994). O avanço da espectroscopia dentro do sensoriamento remoto permitiu análises mais detalhadas de diferentes materiais, como uma técnica não destrutiva e de análise rápida. Destacam-se os espectrômetros, que mensuram a energia eletromagnética incidente em qualquer superfície, a qual

pode reagir de três possíveis maneiras: reflectância, transmitância e absorvância (LILLESAND et al., 2004).

Esses sensores podem ser classificados em multiespectrais e hiperespectrais. Sensores multiespectrais geralmente captam e registram a radiação refletida pelo alvo em poucas bandas (3-12), enquanto sensores hiperespectrais captam respostas em faixas contínuas de centenas de bandas, gerando como produto dados que podem ser transformados num gráfico, que caracteriza o comportamento espectral da energia refletida pela vegetação amostrada (MOREIRA, 2011). Ambos são utilizados na agricultura, nas ciências florestais, ciências do solo, química e ambientais para uma variedade de finalidades, sendo os sensores multiespectrais utilizados em maior escala atualmente.

Knadel et al. (2013) caracterizaram os solos com três diferentes espectrômetros na faixa do visível e do infravermelho. Para esses autores, não houve diferença significativa entre solo orgânico e argiloso. Potůčková et al. (2016) compararam a reflectância da “Esfera Integradora” com o acessório “Contact Probe” entre folhas largas e de coníferas. Zumaeta et al. (2009) utilizaram espectroscopia na região do NIR para prever as propriedades tecnológicas da madeira em espécies florestais. Na agricultura de precisão, essa técnica é difundida para análise dos solos, deficiência de nutrientes e hídrica (Bernardi et al., 2014). Além de permitir a avaliação de falhas de semeadura/plantio, deficiência nutricional, estresse biótico e abiótico, maturação da lavoura, estimativa de produtividade entre outros (MULLA, 2013; NANSEN e ELLIOTT, 2016; PRABHAKAR et al., 2012).

Uma cultura de grande relevância para agricultura brasileira é a soja, por expandir a agroindústria nacional, sendo cultivada, na safra 2019/2020, em aproximadamente 36,82 milhões de hectares de terras (CONAB, 2020). A produção brasileira foi em torno de 115 milhões de toneladas na última safra concluída, 2018/2019 (CONAB, 2020). Além disso, o Brasil assumiu recentemente a posição de maior produtor de soja e seus derivados. Dessa forma, esse grão vem tomando proporções expressivas no agronegócio brasileiro desde a década de 70 (GASQUES et al., 2018).

Batista et al. (1989) verificaram que a resposta espectral da soja foi significativamente correlacionada para estimar a biomassa verde da soja. Crusiol et al. (2018) analisaram a assinatura espectral da soja submetidos a diferentes níveis de disponibilidade hídrica e utilizaram um sensor hiperespectral para discriminar os cultivares de soja tanto em áreas afetadas por seca, quanto em áreas com boa disponibilidade hídrica. Santos Junior et al. (2001) estudaram o comportamento da soja infestada por um nematóide e houve uma relação direta da assinatura espectral com diferentes densidades populacionais de *Meloidogyne javanica*. Silva Junior et al. (2018) utilizaram um sensor hiperespectral não-imageador para discriminação de variedades de soja.

Uma das bases para a adoção em larga escala de técnicas de sensoriamento remoto é a repetitividade dos dados. Para tanto, é necessário estudar e comparar as respostas obtidas por diferentes sensores em relação a um mesmo alvo. Alguns trabalhos foram desenvolvidos para comparar a resposta de diferentes sensores em relação ao mesmo alvo (BEN-DOR et al., 2008; ROMERO et al., 2018). Entretanto, ensaios comparando diferentes equipamentos ainda são raramente relatados na literatura.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a resposta espectral de folhas de soja, utilizando dois sensores hiperespectrais distintos e, comparar as respostas espectrais dos mesmos. Além disso, buscou-se avaliar a resposta obtida por diferentes acessórios de espectrometria com sensor hiperespectral FieldSpec®3.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos na Universidade de São Paulo, no campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba-SP. Plantas de soja, variedade BRS232, foram cultivadas em casa de vegetação, em vasos de 8 litros, contendo solo como substrato. Aproximadamente seis semanas após a semeadura, um trifólio foi retirado de cada planta ($n = 13$) e, levado ao laboratório para coleta dos dados de absorvância foliar em dois sensores.

2.1 ANÁLISE DA ABSORTÂNCIA FOLIAR DE SOJA EM DOIS SENSORES HIPERESPECTRAIS

O primeiro sensor utilizado foi o espectroradiômetro FieldSpec®3 da Analytical Spectral Device (ASD, CO, EUA) (Figura 1). Esse sensor registra o sinal na região do VIS-NIR (350-1000 nm) e duas regiões do SWIR (1001-1800 nm e 1801-2500 nm), com intervalo de amostragem espectral de 1,4 e 2 nm, e resolução espectral (Full Width at Half Maximum - FWHM) de 3 nm e 10 nm, respectivamente (ASD, 2010).



Figura 1. Sensor hiperespectral FieldSpec®3 (Fonte: autores)

As medidas de reflectância e transmitância são obtidas no sensor com uso do acessório “Esfera Integradora” (Figura 2). Na “Esfera Integradora”, a fonte de luz halógena ASD CL-10 colimada de 10 W é utilizada para iluminar a amostra com um feixe direto. A energia radiante dentro da esfera é coletada com um cabo de fibra ótica do espectrômetro ligado ao topo da esfera. Esse acessório tem um campo de visada de 180°, devido a parede da esfera ser aproximadamente 100% reflexiva, assim a luz é refletida em todos os ângulos da superfície da amostra. O software ViewSpecPro (ASD, CO, EUA) foi utilizado para transformação dos dados coletados sendo que a partir da reflectância e transmitância, foi calculada a absorvância.



Figura 2. Configuração do acessório “Esfera Integradora” (Fonte: Autores).

O segundo sensor utilizado foi o Analisador FIT-NIR Multi-Propósito MPA (Bruker Corp., MA, EUA), um espectrofotômetro que registra o sinal da região NIR-MIR (800-2778 nm). Esse espectrofotômetro (Figura 3) foi desenvolvido para análise de reflectância de sólidos com uma esfera integradora. A aquisição foi realizada com 8 cm de resolução espectral. Um padrão de ouro sinterizado foi utilizado como superfície de background.



Figura 3. Analisador FIT-NIR Multi-propósito MPA (BRUKER, 2018).

Os dados coletados no MPA foram transformados no software OPUS (Bruker, MA, EUA). Nesse sensor, os dados de absorvância foram obtidos automaticamente.

Os dados do sensor MPA foram reajustados para obter a mesma resolução espectral do FieldSpec®3 (1 nm), sendo assim analisada nesse trabalho a faixa compreendida de 800 a 2210 nm.

2.2 ANÁLISE DA REFLECTÂNCIA FOLIAR DE SOJA EM DOIS ACESSÓRIOS ACOPLADOS A UM SENSOR HIPERESPECTRAL

Com o intuito de comparar a resposta de diferentes acessórios conectados ao sensor FieldSpec®3, foram coletadas respostas das folhas de soja com o sensor conectado ao acessório “Leaf Clip”, que possui uma fonte de luz halógena de 4,5 W, com um ângulo de 45° de incidência sobre a amostra, através de um cabo de fibra óptica (Figura 4). Esse acessório permite a medição da reflectância direcional da luz diretamente na amostra. Ainda, foi avaliado o acessório “Esfera integradora”, também conhecida como esfera de integração de reflectância e transmitância, descrita no item anterior.



Figura 4. Configuração do acessório “Leaf Clip” (Fonte: Autores).

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e, uma análise multidimensional foi utilizada Análise de Componentes Principais (ACP), que tem como objetivo resumir a maior parte da informação original a um número mínimo de fatores para fins de detecção da variabilidade dos dados. A análise estatística foi realizada no software XLSTAT.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DA ABSORTÂNCIA FOLIAR DE SOJA EM DOIS SENSORES HIPERESPECTRAIS

Os dois sensores apresentaram curvas espectrais de absorvância semelhantes no que diz respeito ao padrão das curvas (Figura 5). No entanto, a intensidade da resposta foi diferente, sendo a intensidade da absorvância menor no sensor FieldSpec®3. Além disso, a esfera integradora apresentou ruído a partir de 1800 nm.

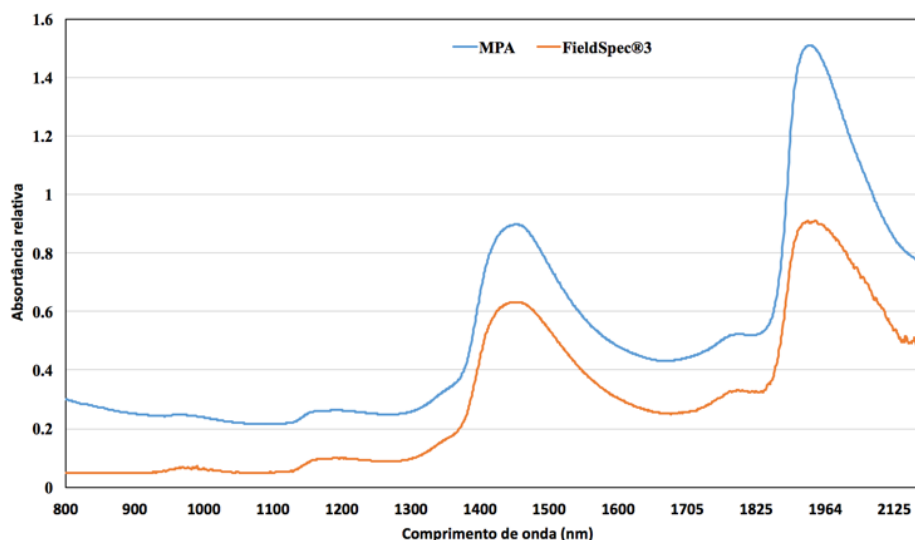


Figura 5. Curvas de absorvância de folhas de soja (n = 13) medidas em dois sensores hiperspectrais.

Essa dispersão da resposta espectral do sensor FieldSpec@3 pode ser decorrente de instabilidade do próprio equipamento acoplado à esfera integradora, como observado por Ben-Dor, Ong e Lau (2015), na aplicação da radiometria para análise de solos em laboratório.

O tipo de iluminação utilizada explicou a diferença na intensidade da resposta, devido ao feixe de luz que refletiu nas amostras para obtenção dos dados de absorvância. Na esfera integradora, a luz é mais difusa em relação ao espectrofotômetro.

Os resultados dos scores do CP1 e CP2 para todo o conjunto de dados em estudo, foram apresentados em forma de gráfico de dispersão (Figura 6) explicando 98,64% da variabilidade dos dados. A análise dos componentes principais demonstrou que houve diferença entre a resposta dos sensores.

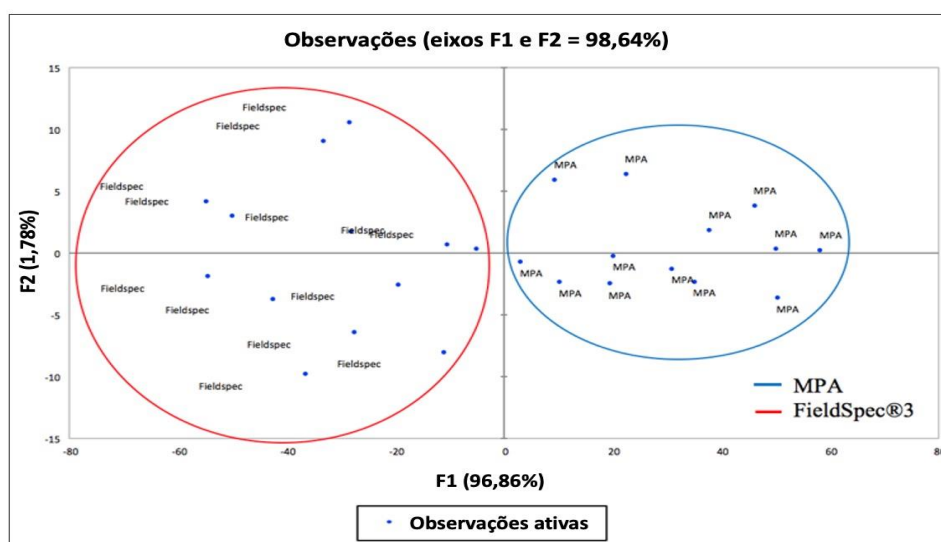


Figura 6. Análise dos componentes principais dos dados de absorvância de folhas de soja (n = 13) obtidos em dois sensores hiperspectrais.

3.2 ANÁLISE DA REFLECTÂNCIA FOLIAR DE SOJA EM DOIS ACESSÓRIOS ACOPLADOS A UM SENSOR HIPERESPECTRAL

Os resultados das curvas espectrais foram bem semelhantes, principalmente nos espectros do visível e infra-vermelho. No entanto, as curvas obtidas no acessório “Leaf Clip” (figura 7) apresentaram uma maior intensidade de reflectância quando comparadas às curvas obtidas no acessório “Esfera Integradora” (figura 8), onde foi verificado maior ruído a partir de 1600 nm.

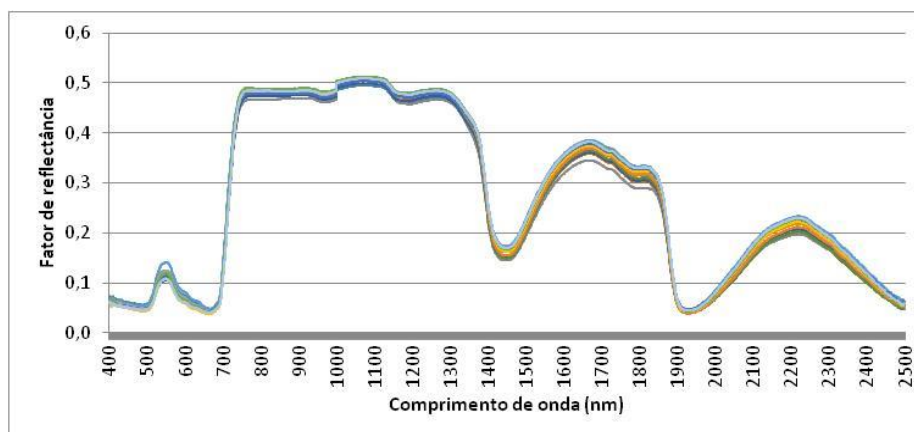


Figura 7. Curvas espectrais de folhas de soja (n = 13) obtidas no acessório “Leaf clip” acoplado a um sensor hiperespectral.

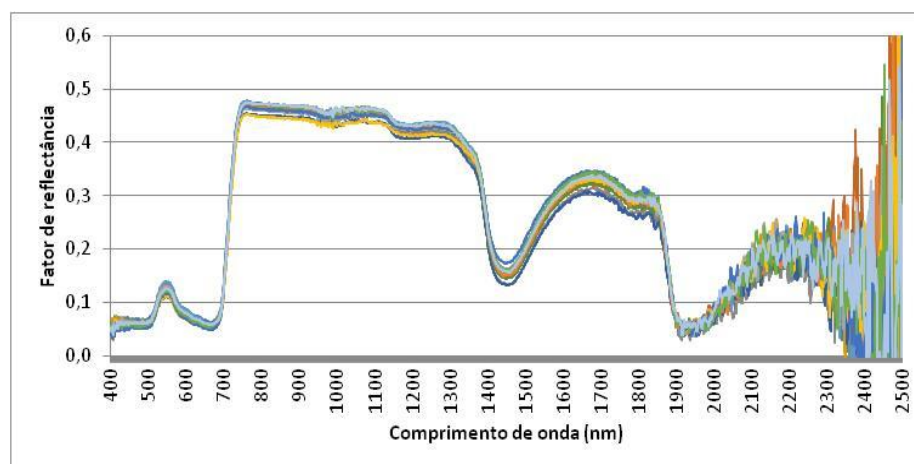


Figura 8. Curvas espectrais de folhas de soja (n = 13) obtidas no acessório “Esfera integradora” acoplado a um sensor hiperespectral.

Não houve diferença estatística entre os acessórios. Na análise dos componentes principais, foi possível diferenciá-los nos eixos F1 e F2 (figura 9).

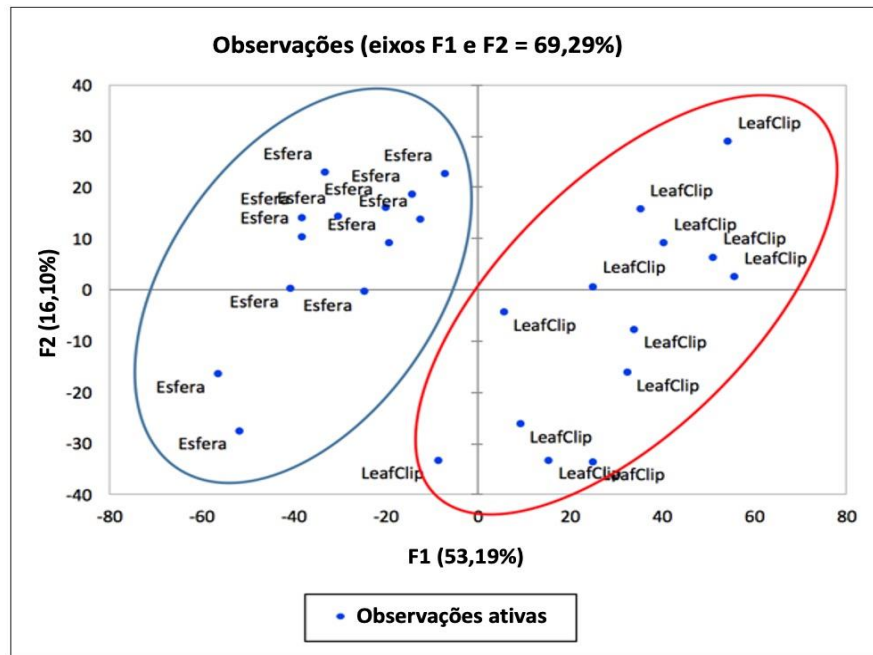


Figura 9. Análise dos componentes principais dos dados de reflectância de folhas de soja ($n = 13$) obtidos em dois acessórios acoplados a um sensor hiperespectral.

A comparação da reflectância de folhas de soja obtidas por diferentes acessórios acoplados ao sensor hiperespectral FieIdSpec[®]3 indicou semelhança das curvas espectrais, estando de acordo com estudos anteriores realizados com solos (BEN-DOR et al., 2010; GE et al., 2011; ROSERO-VLASOVA et al., 2016). O uso da “Esfera Integradora” também apresentou ruído nas regiões espectrais do infravermelho médio, devido à lâmpada da esfera refletir uma luz mais difusa em relação ao “Leaf Clip”.

Resultado semelhante foi obtido no estudo que também comparou o acessório “Contact Probe” com esfera integradora com folhas largas e estreitas de coníferas (POTŮČKOVÁ et al., 2016).

Novos estudos são necessários com um maior número de amostras, além da necessidade de uma padronização dos procedimentos de medição para obtenção de uma biblioteca espectral de folhas robusta e confiável.

4 CONCLUSÃO

Foi observada diferença da resposta de absorvância de folhas de soja visualmente e estatisticamente entre os sensores. Houve maior dispersão nos dados do sensor FieldSpec[®]3 na análise de componentes principais, devido à luz difusa da esfera integradora.

Além disso, a comparação da reflectância de folhas de soja obtidas por diferentes acessórios acoplados ao sensor FieldSpec[®]3 indicaram que a curva espectral foi semelhante, com menor quantidade de variância no acessório “Leaf Clip”, indicando que a aplicabilidade do acessório “Esfera Integradora” pode ser limitada, de acordo com a faixa espectral que se deseja estudar.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a “Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo” (FAPESP), pelo apoio no projeto número 2013/22435-9, do qual essa pesquisa faz parte.

REFERÊNCIAS

ASD. FieldSpec® 3 User Manual, ASD Document 600540. Boulder: ASD Inc 2010.

BATISTA, G.T.; RUDORFF, B. F. T.; OVIEDO, A. F. P. **Resposta espectral da soja e sua relação com parâmetros agronômicos**. São José dos Campos: INPE, 1989.

BEN-DOR, E., PIMSTEIN, A., & NOTESCO, G. Variation and stability of soil reflectance measurements with different ASD spectrometers under different conditions. Proceedings of the ASD and IEEE GRSS; art, science and applications of reflectance spectroscopy symposium. Boulder, CO, USA, 2010.

BEN-DOR, E.; HELLER, D.; CHUDNOVSKY, A. A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. Soil Science Society of America Journal, 72, n. 4, p. 1113-1123, 2008.

BEN-DOR, E.; ONG, C.; LAU, I. C. Reflectance measurements of soils in the laboratory: Standards and protocols. **Geoderma**, 245, p. 112-124, 2015.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim Grãos Abril 2020**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 07 de maio de 2020.

CRUSIOL, L. G. T.; NANNI, M. R.; FURLANETTO, R. H.; CEZAR, E. SIBALDELLI, R. N. R., MERTZ-HENNING, L. M.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. FARIAS, J. R. B. Assinatura espectral de cultivares de soja submetidas a diferentes níveis de disponibilidade hídrica. **Anais VIII Congresso Brasileiro de soja**, p. 293-295, 2018.

GASQUES, J.G.; BACCHI, M.R.P.; BASTOS, E. T. Crescimento e produtividade da agricultura brasileira de 1975 a 2016. **IPEA**, 38, p.1-9, 2018.

GE, Y., MORGAN, C. L.; GRUNWALD, S.; BROWN, D. J.; SARKHOT, D. V. Comparison of soil reflectance spectra and calibration models obtained using multiple spectrometers. **Geoderma**, 161, n. 3, p. 202-211, 2011.

KNADEL, M.; STENBERG, B.; DENG, F.; THOMSEN, A. et al. Comparing predictive abilities of three visible-near infrared spectrophotometers for soil organic carbon and clay determination. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, 21, n. 1, p. 67-80, 2013.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3rd. ed. New York: John Wiley and Sons, 750 p., 1994.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. Hoboken, USA: Wiley, 2004.

MOREIRA, M. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 2011.

MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, 114, n. 4, p. 358-371, Apr 2013.

NANSEN, C.; ELLIOTT, N. Remote Sensing and Reflectance Profiling in Entomology. **Annual Review of Entomology**, 61, p. 139-158, 2016.

POTŮČKOVÁ, M.; ČERVENÁ, L.; KUPKOVÁ, L.; LHOTÁKOVÁ, Z.; LUKEŠ, P.; HANUŠ, J.; NOVOTNÝ, J.; ALBRECHTOVÁ, J. Comparison of reflectance measurements acquired with a contact probe and an integration sphere: implications for the spectral properties of vegetation at a leaf level. **Sensors**, v. 16, n. 11, p. 1801, 2016.

PRABHAKAR, M.; PRASAD, Y. G.; RAO, M. N. **Remote Sensing of Biotic Stress in Crop Plants and Its Applications for Pest Management**. In: **Crop stress and its management: Perspectives and strategies**. Netherlands: Springer, 2012. p. 517-545.

ROMERO, D. J.; BEN-DOR, E.; DEMATTÊ, J. A.; E SOUZA, A. B. et al. Internal soil standard method for the Brazilian soil spectral library: Performance and proximate analysis. **Geoderma**, 312, p. 95-103, 2018.

ROSETO-VLASOVA, O. A.; PÉREZ-CABELLO, F; LLOVERÍA, R. M.; VLASSOVA, L. Assessment of laboratory VIS-NIR-SWIR setups with different spectroscopy accessories for characterization of soils from wildfire burns. **Biosystem engineering**, 152, p. 51-67, 2016.

SANTOS JR., R. F.; RUDORFF, B. F. T.; SANTOS, J. M.; MARCHIORATO, I. A. Comportamento espectral de soja (BRS 133) infestada por *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, 25, n. 1, p. 53-61, 2001.

SILVA JUNIOR, C. A. DA; NANNI, M. R.; SHAKIR, M.; TEODORO, P. E.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. DE; CEZAR, E.; GOIS, G. DE; LIMA, M.; WOJCIECHOWSKI, J.C.; SHIRATSUCHI, L. S. Soybean varieties discrimination using non-imaging hyperspectral sensor. **Infrared Physics & Technology**, 89, página 338-350, 2018.

ZUMAETA, L.E.C. ; TOMAZELLO FILHO, M. ; VIANA, L.C. ; CASTILLO, D. ; ALZA, F.Y. ; TORRES, G. . Uso de la densitometría de rayos X y de la espectroscopia en el infrarrojo cercano para predecir las propiedades tecnológicas de la madera en especies forestales. *Xilema*, v. 1, p. 81-86, 2009.

Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. / Alberto Carlos de Campos Bernardi, [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2014. 596 p. ; II. color. ; 21 cm x 29,7 cm. ISBN 978-85-7035-352-8