

Verificação da equivalência de métodos para correção atmosférica por meio da aplicação de índices espectrais de vegetação em dados do sensor AVIRIS

Yuri Roberta Yamaguchi de Paiva ¹
Yuri Botelho Salmona ¹
Gustavo Macedo de Mello Baptista ¹

¹ Universidade de Brasília- UnB/IG
Campus Darcy Ribeiro, ICC/Ala Norte, Caixa Postal 04465, CEP: 70919-970,
Brasília-DF, Brasil
yuri.roberta@gmail.com; yuri@cerrados.org; gmbaptista@unb.br

Abstract. The presence of atmosphere with aerosols and gases alters the reflected signal from the surface, resulting in a decrease in the quality of the hyperspectral image. The assessment of this data requires that these atmospheric effects be removed from the imagery, to retrieve the inherent spectral reflectance of the surface materials, in a process referred to as atmospheric correction. This work examines the use of hyperspectral remote sensing techniques to compare the equivalence of three atmospheric correction methods (Green, FLAASH and QUAC) using two spectral indices that test different regions of the spectrum, around the visible (PSRI) and in the short-wave infrared (CAI), in order to evaluate the hyperspectral reflectance of the Cerrado vegetation canopy. The imagery of the study site was collected by a AVIRIS sensor in august 1996, and refers to a scene from the municipality of São João da Aliança, State of Goiás, Brazil. The obtained resultant images, corrected using both FLAASH and QUAC atmospheric correction algorithms, were compared with the image corrected using the Green method. FLAASH is found to be a better match for Cerrado vegetation samples analysis. The spectral absorption bands in the visible region of the spectrum, tested with the PSRI vegetation index, have found a better equivalence in between the three atmospheric correction methods.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, hyperspectral imagery, Cerrado, sensoriamento remoto, processamento de imagens, sensor hiperespectral, cerrado.

1. Introdução

Imagens de satélite com bandas estreitas situadas em vários canais, chamadas de hiperespectrais, contém ampla informação acerca da superfície terrestre (San e Suzen, 2010). Apesar disso, imagens espectrais nunca retratam a verdadeira radiância da superfície, devido aos efeitos da atmosfera (San e Suzen, 2010), uma vez que diferentes fenômenos de absorção e espalhamento de gases por moléculas e aerossóis afetam o sinal recebido pelo sensor (Florenzano, 2011). Com vistas a reparar estes efeitos e melhorar a precisão dos resultados, os dados espectrais devem passar por um processo de correção atmosférica ou de calibração radiométrica (San e Suzen, 2010).

O aumento da resolução espectral das imagens captadas por sensores hiperespectrais possibilitou um avanço na aplicação das referidas técnicas, ao permitir reconstituir as feições de absorção dos elementos atmosféricos, espacializando sua distribuição (Latorre et al., 2001). No entanto é preciso verificar a validade dos modelos de correção para determinados usos, como aplicação de índices de vegetação. Assim, o propósito do presente estudo foi comparar diferentes técnicas de correção atmosférica: *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* –FLAASH (Boardman, J.W., 1998), *Quick Atmospheric Correction* – QUAC (Bernstein et al., 2012), tendo como referência o método Green, desenvolvido por Robert O. Green e colaboradores, 1993. Para tanto, os métodos foram avaliados a partir da aplicação de índices espectrais para diferenciação de diferentes classes de vegetação presentes numa cena AVIRIS.

Utilizando propriedades de espalhamento e transmissão próprias da atmosfera, a diferença entre a radiação que deixa a Terra e a radiação recebida pelo sensor é modelada por códigos de transferência radiativa (por exemplo, LOWTRAN e MODTRAN), que possuem modelos atmosféricos representativos e tentam reproduzir as condições ambientais e geográficas nas

quais a imagem foi adquirida, o que permite calcular o espectro de radiância pixel a pixel; a reflectância de superfície é obtida pela razão da radiância no sensor com o modelo de irradiância solar (San e Suzen, 2010).

Green e colaboradores (1996) desenvolveram método para aplicação em imagens hiperespectrais obtidas pelo sensor AVIRIS, baseado no modelo MODTRAN 3, na calibração do sensor AVIRIS para a radiância obtida em laboratório e na calibração dos dados de sobrevoo. O objetivo deste método é calcular a reflectância na superfície do terreno, a partir dos dados de radiância total mensurados pelo AVIRIS (Latorre e Dias, 2012).

Já o código de correção atmosférica FLAASH derivou seu algoritmo do MODTRAN 4. Foi desenvolvido para eliminar efeitos atmosféricos causados pelo espalhamento molecular e particulado e pela absorção da radiância no sensor, bem como para obter a reflectância de superfície.

O código denominado Quick Atmospheric Correction (QUAC) realiza a correção atmosférica com base em amostras coletadas na própria cena, necessitando apenas da localização das bandas da imagem no sensor e sua calibração radiométrica; em contraste com outros métodos, que requerem parâmetros físicos da cena, o QUAC não necessita da presença de bandas específicas para corrigir a absorção de água e o espalhamento de aerossóis, sendo capaz de trabalhar com qualquer conjunto de bandas nos espectros do visível e do infravermelho (Bernstein et al., 2012).

2. Material e Métodos

Os processamentos foram realizados sobre imagem de radiância captada pelo sensor AVIRIS (*Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer*) no âmbito da missão SCAR-B, referente ao município de São João da Aliança, Estado de Goiás, obtida em 16 de agosto de 1995 a uma altitude de 20.000 m (Baptista, 2004). O AVIRIS trata-se de um sensor que mede o espectro solar refletido de 400 a 2500 nm, divididos em 224 bandas, a partir de uma aeronave modelo ER-2, da NASA; estes espectros são traduzidos em imagens com resolução espacial de 20 metros quadrados (Green et al., 1996).

Após uma classificação visual feita com apoio de imagem de alta resolução espacial (disponibilizada no *ArcGis Online*), foram separadas oito classes de vegetação presentes na cena: mata de galeria, cerradão, cerrado típico, cerrado ralo, campo cerrado, campo limpo, reflorestamento e pastagem (Figura 1). Foram coletadas trinta amostras em cada uma das classes, a partir dos quais foram feitas as análises estatísticas.

A correção atmosférica pelos métodos FLAASH e QUAC foi conduzida no software ENVI 5.2 ®. Para o FLAASH foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Altitude do sensor – 20 km;
- Elevação – 1 km;
- modelo atmosférico – *Tropical*;
- modelo *aerosol* – *Rural*, com visibilidade inicial de 40 km;
- Feição de absorção da coluna de água – 1135 nm.

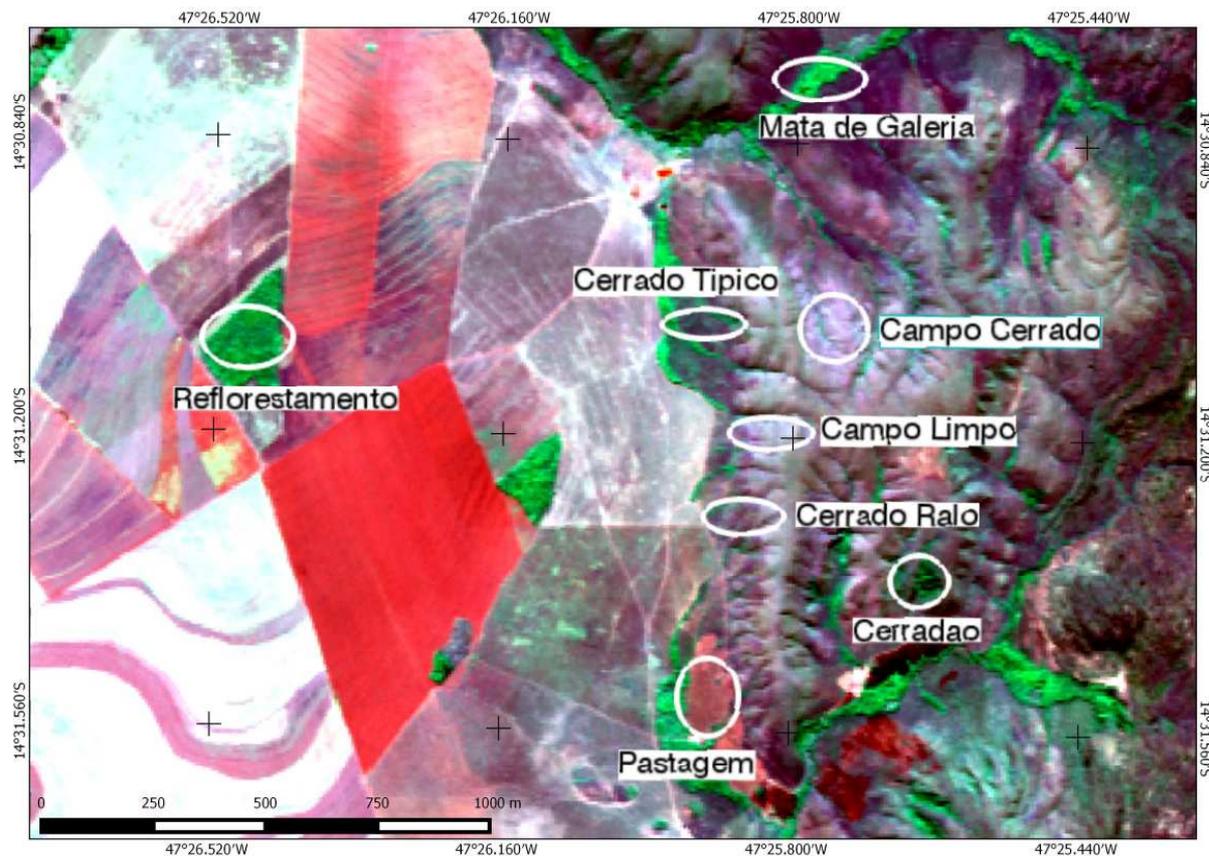


Figura 1 - Imagem hiperespectral AVIRIS na composição R-30 G-60 B-90 da área de estudo, com indicação dos locais de coleta das amostras.

Após o pré-processamento com os métodos de correção atmosférica, foram empregados nas imagens os índices PSRI (*Plant Senescence Reflectance Index*) e CAI (*Cellulose Absorption Index*), que possuem atuação, respectivamente, na região do visível e infravermelho próximo do espectro.

O de PSRI, índice proposto por Merzylak e colaboradores (1999) é suscetível às alterações na reflectância induzidas pela senescência da vegetação, atribuídas ao acúmulo de carotenoides, conforme a Equação 1:

$$PSRI = (R_{678} - R_{500})/R_{750} \quad (1)$$

Onde R_{678} , R_{500} e R_{750} são os comprimentos de onda centrados em 675 nm, 499 nm e 751 nm, respectivamente, em imagem AVIRIS.

A avaliação quantitativa desses eventos se baseia na diferença da transformação da clorofila e dos carotenoides ao longo do processo de senescência. Segundo os autores, a 500 nm, a reflectância é controlada pela absorção combinada de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides; a 680 nm, principalmente pela absorção de clorofila *a* (Figura 2). Com o aumento da diferença entre esses dois valores de reflectância, ocorre um decréscimo do conteúdo de clorofila e um aumento da proporção entre clorofila e carotenoides. Assim, a vegetação verde-escura com alto conteúdo de clorofila apresenta valores negativos de PSRI; ao passo que um leve aumento nos valores do PSRI já é capaz de indicar os estágios iniciais de senescência (Merzylak *et al.*, 1999).

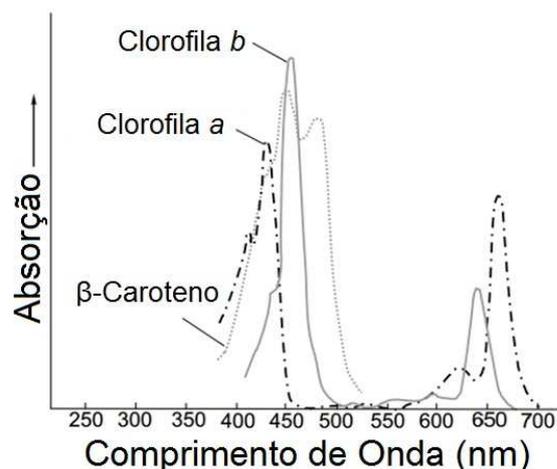


Figura 2 - Comprimentos de onda das curvas de absorção dos pigmentos de vegetação: clorofilas a e b e β -caroteno (Adaptado de Purves et al., 1998 apud Schmidt, 2003).

O índice de absorção de celulose (CAI, ou *Cellulose Absorption Index*) descreve a profundidade da feição de absorção de celulose (centrada em 2100 nm) na região do infravermelho de ondas curtas (2000 a 2200 nm), conforme Equação 2, onde valores positivos indicam a presença de celulose (Nagler et al., 2000):

$$CAI = 0,5 (R_{2000} + R_{2200}) - R_{2100} \quad (2)$$

Onde R_{2000} , R_{2200} e R_{2100} são os comprimentos de onda centrados em 2017 nm, 2206 nm e 2117 nm, respectivamente, em imagem AVIRIS.

O índice CAI objetiva separar solo de resíduos de vegetação, em diferentes estágios de decomposição, devido à presença de celulose, hemicelulose, lignina e outros componentes estruturais da vegetação, já que os componentes não estruturais (açúcares, amido) são prontamente degradados por microrganismos (Nagler *et al.*, 2003). Os índices foram gerados por meio do software ENVI 5.1, utilizando a ferramenta *band math*.

Após calcular os índices sob as imagens com as três diferentes correções, foram coletadas 30 amostras de formação classe, e os valores foram comparados a fim de se avaliar se há diferença significativa entre suas distribuições. Inicialmente, visando determinar quais testes estatísticos seriam adequados, foi realizado teste de normalidade Shapiro-Wilk. Posteriormente foi selecionado o teste adequado para avaliar se há ou não diferença significativa entre os índices calculados sob as diferentes correções, bem como foram gerados boxplots a fim de descrever as distribuições. As análises foram conduzidas no software estatístico *Action Stat*®.

3. Resultados e Discussão

Os resultados da aplicação dos índices nas imagens são apresentados na Figura 3. Com relação ao índice PSRI, as formações vegetacionais mais densas, sem estresse hídrico (Mata de Galeria, Cerradão, Reflorestamento) apresentaram valores menores, próximos a 0 (médias de 0,02, 0,05 e 0,06, respectivamente), o que reflete em tons mais escuros na imagem. Para as regiões com vegetação senescente, os valores médios no Método Green se mostraram mais altos, em especial as amostras de Campo Cerrado (0,36), Campo Limpo (0,31) e Cerrado Ralo (0,31), seguidos da pastagem (0,29) e do cerrado típico (0,25). De acordo com Merzlyak e colaboradores (1999), um aumento no PSRI reflete um incremento no estresse hídrico do dossel. Por essa razão, o índice é frequentemente utilizado para monitorar a vitalidade da vegetação e para detectar seu estresse fisiológico (Lausch *et al.*, 2013).

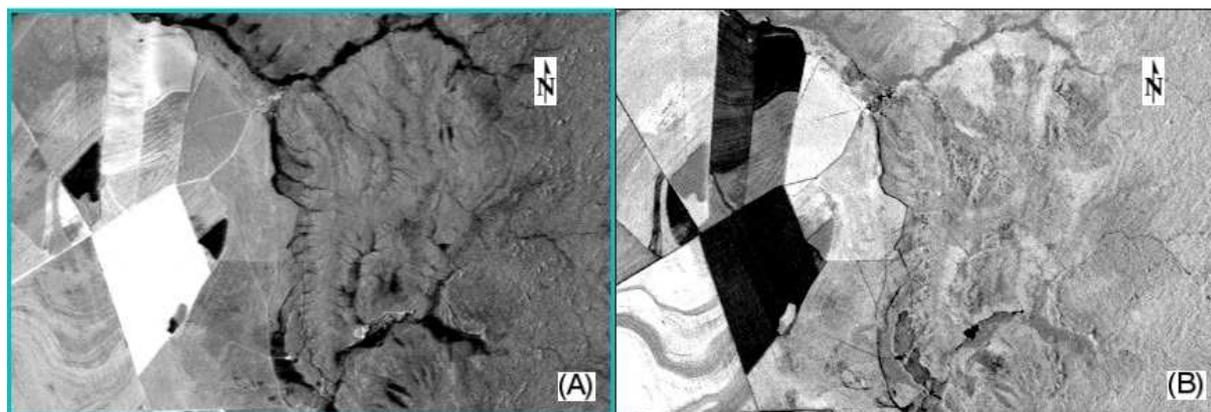


Figura 3 - Resultado da aplicação dos índices: PSRI (a) e CAI (b).

Referente ao índice CAI, o solo apresenta valores negativos (Nagler *et al.*, 2003), o que está representado na imagem em tonalidades escuras (Figura 3). No presente estudo, os pixels das amostras de Cerrado Ralo, Campo Cerrado e Pastagem apresentaram valores que oscilavam entre o negativo e o positivo no método Green; as demais amostras, somente valores positivos. Este fato pode estar relacionado com a própria função do índice CAI, que é a de separar resíduos de vegetação de solo, uma vez que as amostras com escassez de vegetação parecem demonstrar a influência da reflectância do solo. De acordo com Nagler e colaboradores (2003), a feição de absorção centrada em 2100 nm está associada a presença de lignina e celulose na vegetação, mas não é identificável no espectro de solo; já a feição a 2200 nm estaria associada aos minerais relacionados à argila no solo, mas seria ausente no espectro de vegetação.

A partir de um nível de significância $\alpha=5\%$, é possível concluir com um nível de confiança de 95% que as amostras dos valores dos índices selecionados não provêm de uma distribuição normal, todas com p-valor abaixo de 0,05. Sendo assim as amostras foram avaliadas pelo teste Wilcoxon-Mann-Whitney (teste U) para amostras pareadas, com α de 0,05.

Para o teste de Wilcoxon Pareado aplicado sobre os dados do índice PSRI, foram obtidos p-valor abaixo de 0,05, em todos os comparativos de pares de métodos (Green x FLAASH, Green x QUAC e FLAASH x QUAC). Portanto, ao nível de significância de 5% existem evidências de diferenças significativas entre as amostras. No entanto, as distribuições de PSRI sob as correções FLAASH e Green se mostram semelhantes quanto à amplitude, variando de 0,05 a 0,41 na amostra FLAASH, e de 0,02 a 0,36 em Green, bem como tiveram médias aproximadas: 0,25 na amostra FLAASH e 0,21 na amostra Green. Já os valores das amostras da correção QUAC apresentaram grande dispersão em relação às demais, variando de -1 a 25, com média 12,75. A distribuição dos valores amostras pode ser visualizada na Figura 4, bem como os resultados dos testes par a par:

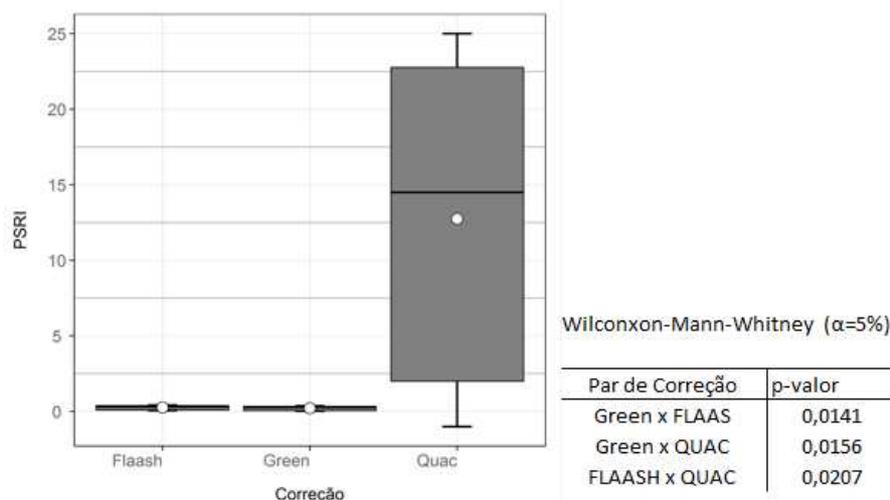


Figura 4 - Boxplot das amostras de PSRI nas diferentes correções e o p-valor na comparação entre os pares de correção.

Assim como nos testes para valores de PSRI, os testes com as amostras de CAI indicaram haver diferença significativa entre os conjuntos de valores de cada correção, quando comparados aos demais conjuntos de correções. As distribuições das amostras apresentam diferenças significativas de amplitude e centro, como pode ser observado na figura 5, bem como os p-valores. Enquanto o método Green apresentou valores concentrados em torno de 518,5, as amostras da correção FLAASH variaram de -18595 a -3205, diferentemente das amostras da correção QUAC, com valores variando de -1478 a 21632.

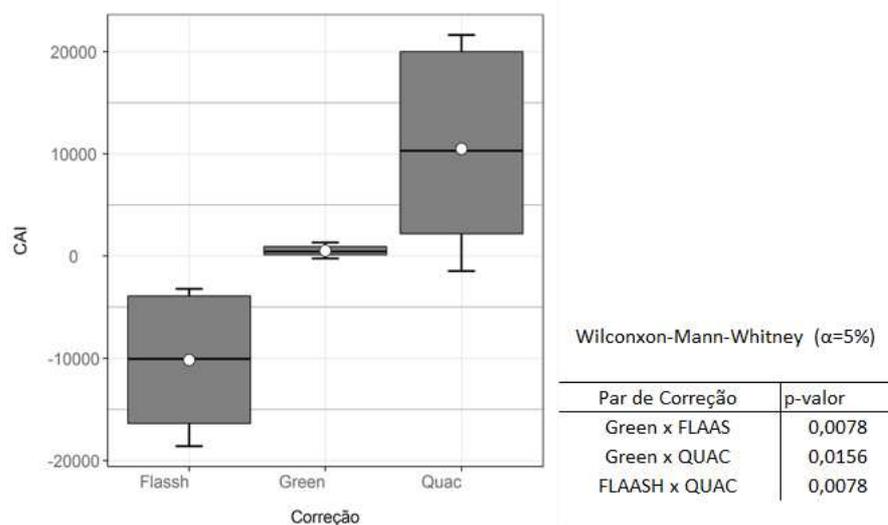


Figura 5 - Boxplot das amostras de CAI nas diferentes correções e o p-valor na comparação entre os pares de correção.

As feições utilizadas pelos índices PSRI e CAI encontram-se destacadas na Figura 6, sob uma amostra de Cerrado Ralo. Ressalte-se a diferença entre as curvas espectrais nos três métodos de correção atmosférica estudados:

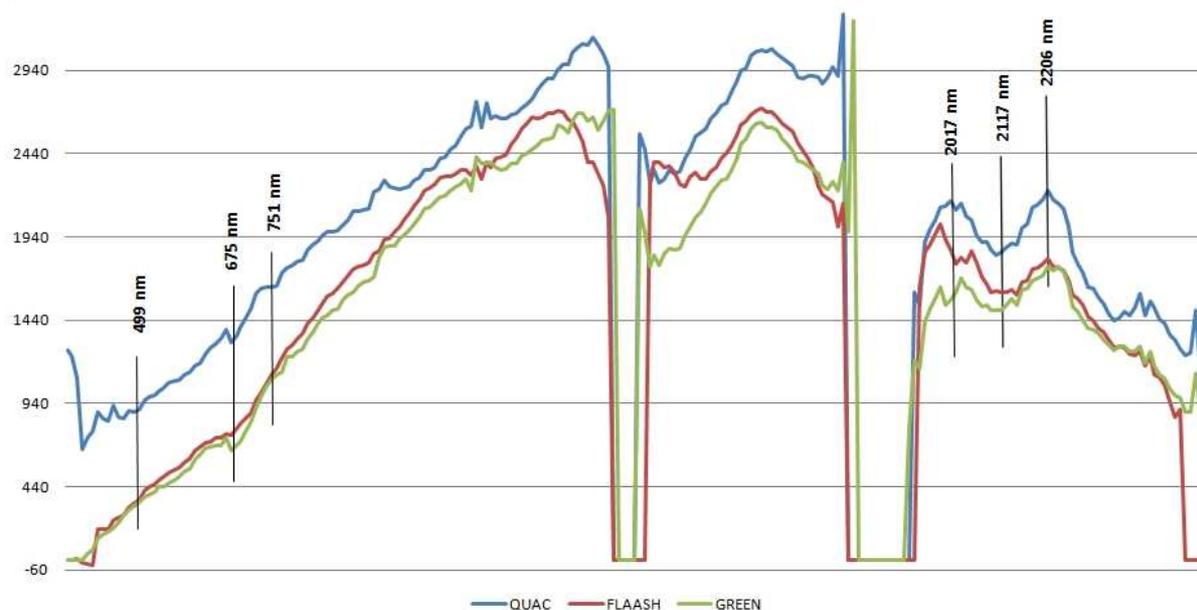


Figura 6 - Curva espectral de uma amostra de cerrado ralo extraída da imagem AVIRIS, indicando os comprimentos de onda no espectro do visível utilizados no índice PSRI (675 nm, 499 nm e 751 nm), e no infravermelho próximo, usados no índice CAI (2017 nm, 2117 nm e 2206 nm).

4. Conclusão

Há diferenças significativas entre os resultados dos índices PSRI e CAI quando calculados sob diferentes correções atmosféricas, neste caso QUAC, FLAASH e Green. As diferenças entre os métodos de correção atmosférica se mostraram mais evidentes diante da aplicação do índice CAI, ao menos em amostras vegetacionais de Cerrado. É possível inferir que as feições de absorção presentes neste índice, situadas no infravermelho de ondas curtas (SWIR) e próximas às bandas suprimidas pelos processamentos de correção atmosférica são mais afetadas pelos métodos estudados (especialmente a imagem corrigida pelo QUAC) do que as bandas localizadas na região do visível, utilizadas pelo índice PSRI. Dentre as combinações testadas, a que apresentou menor diferença quando aplicada em dados hiperespectrais AVIRIS foi o comparativo entre o método Green e o FLAASH, testado com o índice PSRI. Portanto, a validade e comparabilidade de valores de índices vegetacionais, neste caso PSRI e CAI, é dependente da fidedignidade da correção atmosférica executada, interferindo significativamente nos resultados.

Referências Bibliográficas

- Baptista, G. M. M. (2004) 'Mapeamento do Sequestro de Carbono e de Domo Urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de Sensoriamento Remoto Hiperespectral', **Revista Brasileira de Geografia**, 29(2), pp. 189–202.
- Bernstein, L. S.; Jin, X.; Gregor, B.; Adler-Golden, S. M. (2012) 'Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades', **Optical Engineering**, 51(11), p. 111719. doi: 10.1117/1.OE.51.11.111719.
- Boardman, J. W. 1998. Leveraging the high dimensionality of AVIRIS data for improved sub-pixel target unmixing and rejection of false positives: mixture tuned matched filtering, In: **7th JPL Airborne Geoscience Workshop**, pp. 55-56.
- Florenzano, T.G. 2011. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Green, R. O., Roberts, D. A. and Conel, J. E. (1996) 'Characterization and Compensation of the Atmosphere for

the Inversjon of AVIRIS Calibrated Radiance to Apparent Surface Reflectance’, **Summaries of the Sixth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop; Volume 1; 135-146; (NASA/CR/96-113073)**, pp. 135–146. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19980201640>.

Latorre, M., Carvalho Júnior, O. A., Dias, L. A. V. and Meneses, P. R. (2001) ‘Análise comparativa dos principais métodos para correção atmosférica de imagens hiperespectrais aviris m’, **Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, Foz do Iguaçu, pp. 1285–1292. Available at: <http://mart.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.20.17.43/doc/1285.1292.163.pdf>.

Latorre, M. L. and Dias, L. A. V. (2012) ‘Atmospheric Correction Method for Aviris Data in Tropical Regions’, **Proceedings of Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop**, 9(4).

Lausch, A., Zacharias, S., Dierke, C., Pause, M., Kühn, I., Doktor, D., Dietrich, P. and Werban, U. (2013) ‘Analysis of Vegetation and Soil Patterns using Hyperspectral Remote Sensing, EMI, and Gamma-Ray Measurements’, **Vadose Zone Journal**, 12(4), pp. 1–15. doi: 10.2136/vzj2012.0217.

Merzlyak, M. N., Gitelson, A. a, Chivkunova, O. B. and Rakitin, V. Y. U. (1999) ‘Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening’, **Physiologia Plantarum**, 106(1), pp. 135–141. doi: 10.1034/j.1399-3054.1999.106119.x.

Nagler, P. L., Daughtry, C. S. T. and Goward, S. N. (2000) ‘Plant litter and soil reflectance’, **Remote Sensing of Environment**, 71(2), pp. 207–215. doi: 10.1016/S0034-4257(99)00082-6.

Nagler, P. L., Inoue, Y., Glenn, E. P., Russ, A. L. and Daughtry, C. S. T. (2003) ‘Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil-plant litter scenes’, **Remote Sensing of Environment**, 87(2–3), pp. 310–325. doi: 10.1016/j.rse.2003.06.001.

Purves, W. K., Orians, G. H., Heller, H. C., Sadava, D., 1998. **LIFE: The Science of Biology**, Fifth Edition. Sinauer Associates, Inc. , and W. H. Freeman and Company.

San, B. T. and Suzen, M. . (2010) ‘Evaluation of Different Atmospheric Correction Algorithms for Eo-1 Hyperion Imagery’, **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science**, XXXVIII, pp. 392–397.

Schmidt, K. S. (2003) **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation Species Distribution in a Saltmarsh**. Dissertação (PhD) International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands. doi: ISBN 90-5808-830-8.