



ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPECTRAL NO MONITORAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR USANDO MEDIDAS DE COMPLEXIDADE E IMAGENS RAPIDEYE

Maristella Cruz de Moraes^(a), Luiz Eduardo Vicente^(b), Sérgio Henrique V. Leme de Mattos^(c), Daniel Gomes dos Santos WendrinerLoebmann^(d)

^(a)IGE/ Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, maristellacruz@gmail.com

^(b)Embrapa Meio Ambiente/Plataforma ABC, Jaguariúna, SP, Brasil, luiz.vicente@embrapa.br,

^(c) Faculdade de Ciências Humanas/ Universidade Federal de Grande Dourados, sergiomattos@ufgd.edu.br

^(d) Embrapa Meio Ambiente/Plataforma ABC, Jaguariúna, SP, Brasil, daniel.gomes@embrapa.br

Eixo: GEOTECNOLOGIAS E MODELAGEM ESPACIAL EM GEOGRAFIA FÍSICA

Resumo

A constelação Rapideye, operacional desde 2009 com seus cinco satélites, oferece imagens multiespectrais com consideráveis resoluções temporais e espaciais (5 dias e 5m, respectivamente). O sensor REIS foi o pioneiro a oferecer informações sobre a banda Red Edge, situada entre a banda do vermelho e infravermelho próximo, permitindo análises mais robustas no que tange à presença de compostos biofísicos na vegetação, sobretudo de clorofila. Partindo deste pressuposto e da, ainda pouca, utilização deste satélite para a agricultura, analisamos a variabilidade espectral através de métricas de complexidade embasadas em entropia informacional para as bandas 3, 4 e 5 do sensor em fragmentos de diferentes tipos de manejo de cana-de-açúcar na Estação experimental de citricultura de Bebedouro (SP). Os resultados mostram valores coerentes com o arcabouço teórico, considerando incremento informacional (maior complexidade) quando do uso da banda RedEdge, reforçando o uso de imagens Rapideye para tais finalidades, propondo análises alternativas de variabilidade.

Palavras chave: Variabilidade, Complexidade, Cana-de-Açúcar, Rapideye, Clorofila.

1.Introdução

No que concerne à análise da paisagem e suas dinâmicas, as métricas de paisagem possuem cada vez mais indiscutível aplicação e importância. São resultantes da busca do homem em compreender os processos de formação e capacidade de auto-organização dos sistemas e estão em constantes processos de incremento. Neste sentido, os algoritmos contidos no software Complexus (VEDOVATO et al., 2013), o qual é utilizado nesse trabalho, foram desenvolvidos e trabalhados a partir de métricas embasadas em entropia informacional, a fim de mensurar a complexidade de padrões vegetacionais conforme estudos publicados anteriormente (VEDOVATO et al., 2015; MORAES et al., 2015; ROCHA et al., 2015).

Considerando a agricultura como uma das principais bases econômicas do país e a crescente demanda por tecnologias em seu gerenciamento, faz-se necessário mapeamentos e análises alternativas, especialmente considerando técnicas de sensoriamento remoto, com dados pronto uso, fidedignos, de cada vez mais fácil acesso e baixo custo. As imagens Rapideye são uma alternativa robusta de última



geração, por terem boa resolução radiométrica (12 bits), temporal (~5 dias) e espectral (5 bandas), trazendo ainda o pioneirismo ao oferecer informações sobre a banda Red Edge (borda do vermelho) permitindo uma melhor discriminação da vegetação por sua alta sensibilidade parâmetros bioquímicos, sobretudo a clorofila. Pensando nisso e na ainda pouca utilização deste sensor para fins agrícolas, o presente estudo pretende testar sua eficiência ao analisar a variabilidade espectral de campos experimentais de cultura de cana-de-açúcar, especialmente nesta faixa do espectro, a fim de ampliar e difundir suas aplicações práticas para além do conhecido.

2. Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho se encontra nos campos de cultivo da Estação Experimental de Citricultura do município de Bebedouro/SP, área mantida pela Coopercitrus Cooperativa de produtores rurais e conhecida previamente em outros estudos. A estação dispõe de 5 campos experimentais de cana-de-açúcar, sendo que para cada um deles, um sistema de manejo diferente relacionado à irrigação e adubação é aplicado. Há um sexto campo, que serve como o “não monitorado”. São eles: 1 – Irrigado; 2 – Não irrigado; 3- MEIOSI; 4- Manejo Convencional; 5- Gestão de Coopercitrus.

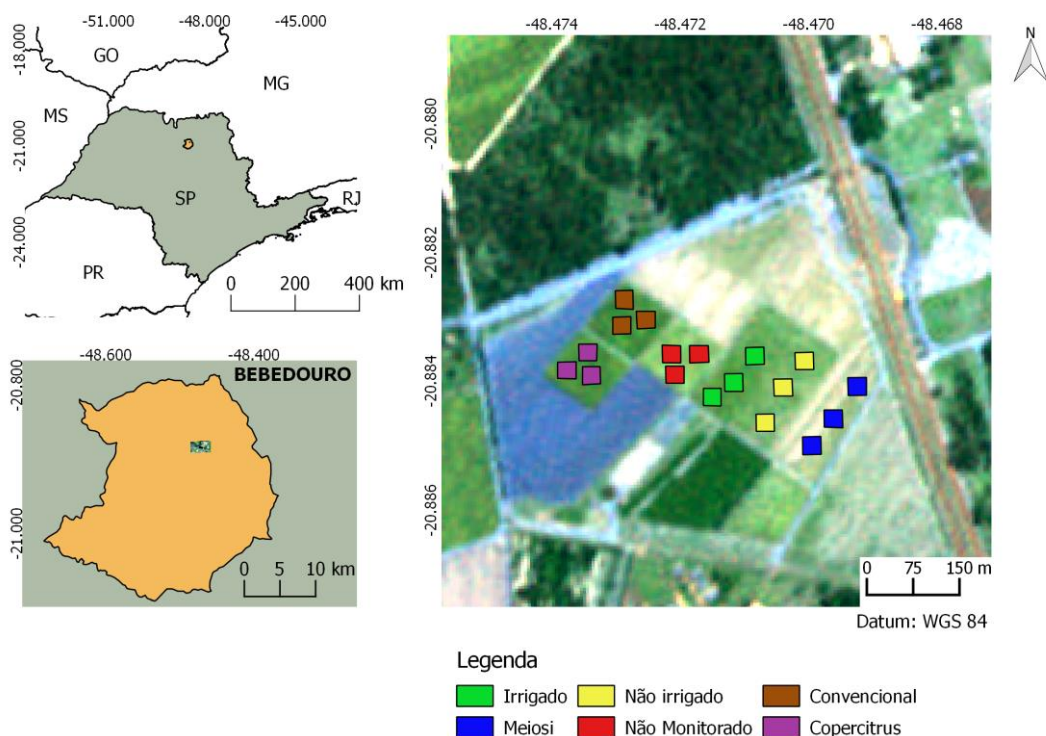


Figura 1 – Área de estudo e amostras extraídas. Imagem Rapideye composta em R:1 G:2 B:3.

2. Materiais e Métodos



A cena Rapideye em questão é datada de 7 de Abril de 2016, sendo que a colheita seria realizada em 17 de Junho do mesmo ano. Para efeitos qualitativos, a imagem passou por efeitos de correção atmosférica através do código MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Radiative Transfer Model*) considerando parâmetros locais da atmosfera baseado em dados MODIS (Gomes et al., 2013), a fim de converter os dados para reflectância de superfície. Foram selecionados na imagem 3 polígonos regulares de 6x6 pixels (dimensão adequada para bons resultados conforme estudos de MORAES et al (2014, 2015)) em cada parcela do campo experimental, totalizando 18 polígonos. Destes polígonos foram extraídos os relatórios estatísticos das bandas para cada amostra (ferramenta *Roi Tool* do software *Envi®* (ESRI)) exportando-os no formato ASCII para o software *Complexus* (VEDOVATO et al., (2013)) a fim de que os cálculos necessários sejam feitos para se obter os valores de complexidade resultantes em cada amostra. A fim de mensurar tais valores de complexidade, o software trabalha com métricas embasadas em entropia informacional. São elas:

- **Medida de Variabilidade (He/Hmax):** Considera o aumento da complexidade em função do aumento da desordem de um sistema (SHINER et al., (1999)). Os fatores a serem considerados no cálculo são a extensão do sistema, a entropia máxima (Hmax) e a entropia informacional (He). Desta forma, a razão entre elas é a medida de complexidade conforme apontam PIQUEIRA & MATTOS (2011).

$$C = \frac{He}{Hmax}$$

- **Medida SDL (Shiner, Davison e Landsberg):** Aqui a complexidade se encontra num pico de heterogeneidade intermediária. Ou seja, entre o heterogêneo e o homogêneo, como uma função convexa da entropia, usando os mesmos fatores da medida anterior, calculados de forma diferente (PIQUEIRA et al., 2009).

$$C = \left[1 - \left(\frac{He}{Hmax} \cdot \frac{He}{Hmax} \right) \right]$$

Os relatórios com valores de complexidade gerados são dispostos em valores individualizados para cada banda, e para melhor analisar os resultados, selecionamos as bandas 3, 4 e 5 (Vermelho, Red Edge e Infravermelho próximo respectivamente) que ressaltam/diferenciam melhor as características da vegetação. Destaque para a banda Red Edge, pioneira neste aspecto e situada num intervalo sensível para identificação de diversos níveis de clorofila na vegetação, evitando saturação das imagens (SOUZA et al., 2015 apud. HATFIELD et al., 2008).

3. Resultados e Discussão



Os resultados foram dispostos em tabela graduada em escala de cores, a fim de facilitar a visualização e interpretação dos dados:

(Tabela 1 - Valores de complexidade graduados das amostras coletadas nas 3 bandas escolhidas)

Amostras/Plantio	Var. He/Hmax			SDL		
	RED	Red Edge	NIR	RED	Red Edge	NIR
Convencional1	0,960916165	0,98954056	0,994368715	0,037556288	0,010350044	0,005599573
Convencional2	0,948132406	0,97712663	0,997092465	0,049177346	0,022350179	0,002899081
Convencional3	0,985346736	0,98954056	0,994368715	0,014438545	0,010350044	0,005599573
Coopercitrus1	0,981400029	0,99184525	0,997092465	0,018254012	0,008088252	0,002899081
Coopercitrus2	0,989905775	0,98990577	0,984613764	0,009992332	0,009992332	0,0151495
Coopercitrus3	0,982968937	0,96814079	0,994368715	0,016741006	0,030844201	0,005599573
Irrigado1	0,98416114	0,98567343	0,997092465	0,015587991	0,014121323	0,002899081
Irrigado2	0,968305611	0,98567343	0,997092465	0,030689855	0,014121323	0,002899081
Irrigado3	0,982968937	0,98567343	0,991845248	0,016741006	0,014121323	0,008088252
Meiosi1	0,987688337	0,99436872	0,983242855	0,012160086	0,005599573	0,016476343
Meiosi2	0,997092465	0,98768834	0,997092465	0,002899081	0,012160086	0,002899081
Meiosi3	0,985346736	0,99184525	0,991845248	0,014438545	0,008088252	0,008088252
Não monit1	0,991845248	0,99184525	0,994368715	0,008088252	0,008088252	0,005599573
Não monit2	0,981836017	0,98486195	0,996344764	0,017834052	0,01490889	0,003641875
Não monit3	0,992969593	0,99634476	1	0,00698098	0,003641875	1,67E-15
Nãoirrigado1	0,997092465	0,99436872	0,997092465	0,002899081	0,005599573	0,002899081
Nãoirrigado2	0,994368715	0,98534674	0,997092465	0,005599573	0,014438545	0,002899081
Nãoirrigado3	0,98416114	0,99184525	0,989540556	0,015587991	0,008088252	0,010350044

As células vermelhas são valores de complexidade menores, as amarelas seriam valores intermediários, e as verdes, valores altos de complexidade. Para ambas as métricas, em coerência com seu arcabouço teórico pode-se observar o seguinte: Para a métrica SDL e seu pico de heterogeneidade intermediária, tem-se os resultados em amarelo, predominantemente presentes na banda Red Edge nos manejos Convencional, Irrigado e Não-monitorado. Isso demonstra a capacidade da banda Red Edge em traduzir a presença de compostos biofísicos e uma possível influência do sistema de gotejamento em maior biomassa aérea resultando por sua vez em maior presença de clorofila, ou seja, informação e, por conseguinte, maior complexidade. Já para a medida de Variabilidade (He/Hmax) observa-se a complexidade máxima na região do NIR, para a maioria dos experimentos. Isso ocorre porque é justamente na banda do infravermelho próximo que ocorre o registro da energia refletida em decorrência da quantidade de biomassa existente, apto para identificação de diferenças entre culturas (JENSEN, 1996).

4. Conclusões

Com este breve estudo pode-se analisar a eficiência das bandas situadas na porção do infravermelho próximo e, especialmente a banda Red Edge em demonstrar alta sensibilidade para detectar maior variabilidade/níveis de informação em diferentes tipos de manejo agrícola, o que, por conseguinte, pode ser traduzido também com maior capacidade de detecção de anomalias associadas ao cultivo, por exemplo, estresse hídrico vs. baixa produtividade. Não se deve descartar outros testes e verdades terrestres, e deve-se inclusive pensar sobre repetir os testes em questão em conformidade com dados coletados em campo, a fim de comprovar a eficiência do algoritmo, bem como propor uma maneira alternativa de se comparar o comportamento espectral de uma cultura com seu tipo de gestão agrícola. Entretanto, os métodos utilizados nesse trabalho mostraram-se coerentes, efetivos e de fácil aplicação para medidas de eficiência relacionadas a cobertura espectral do sensor sob investigação, bem como da cultura escolhida.

5. Agradecimentos

Agradecemos a equipe Planet Labs e a Santiago e Cintra Consultoria, particularmente ao Maurício Meira e Maurício Schiavollini, pelo apoio logístico. Agradecemos também ao Luiz Gustavo (Guru) e Paulo Sérgio, membros da equipe da Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro, pelas informações de campo e manejo de lavouras. Finalmente, obrigado à Equipe da Plataforma de Baixo Carbono/ Embrapa Meio Ambiente.

6. Referências Bibliográficas

JENSEN, J. R. *Introductory digital imageprocessing: a remotesensing perspective*. 2. ed. UpperSaddle River: Prentice-Hall, 1996, 318 p.

MORAES, M. C.; LOEBMANN, D. G. S. W.; PAIM, F. A. P., MATTOS, S. H. V. L., VICENTE, L. E. Avaliação de imagens multiespectrais Landsat/tm5 em radiância e reflectância de superfície na utilização do software CompPlexus. 8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014. Anais... Campinas – SP. 2014

MORAES, M. C.; LOEBMANN, D. G. S. W.; PAIM, F. A. P.; MATTOS, S. H. V. L.; VICENTE, L. E. Mapas de complexidade de fragmentos de Cerrado a partir da Variabilidade espacial de dados do sensor ThematicMapper 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 3927-3934.

PIQUEIRA, J. R. C.; MATTOS, S. H. V. L. Note on LMC complexity measure. *Ecological Modelling*, v. 222, n. 19. p. 3603-3604, 2011.



PIQUEIRA, J. R. C.; MATTOS, S. H. V. L.; VASCONCELOS-NETO, J. Measuring complexity in three-trophic level systems. *EcologicalModelling*, v. 220. p. 266-271, 2009.

ROCHA, T. M. G.; VICENTE, L. E.; MATTOS, S. H. V. L.; PAIM, F. A. P.; MORAES, M. C. Identificação de padrões vegetacionais em imagens do sensor Rapideye comparado ao sensor Aster utilizando medidas de complexidade. In: 9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015. Anais... Campinas – SP. 2015

SHINER, J. S.; DAVISON, M.; LANDSBERG, P. T. Simple measure of complexity. *Physical Review E*, v. 59, n. 2, p. 1459-1464, 1999.

SOUZA, C. H. W. de., LAMPARELLI, R. A. C.; JUSTINA, D. D. D.; ROCHA, J. V. Estudo da banda Red Edge do satélite Rapideye na discriminação da cobertura vegetal. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE p.3612-3618.

VEDOVATO, L. B.; VICENTE, L. E.; PAIM, F. A. P.; PIQUEIRA, J. R. C.; MATTOS, S. H. V. L.; CompPlexus: programa para avaliação de complexidade de padrões em imagens multiespectrais de sensores remotos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 6727-6734.

VEDOVATO, L. B.; VICENTE, L. E.; PAIM, F. A. P.; PIQUEIRA, J. R. C.; MATTOS, S. H. V. L. Análise multiespectral de medidas de complexidade utilizando o software CompPlexus aplicado a dados do sensor ASTER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 5967-5974.