



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014
12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

AValiação DE IMagens MULTIESPECTRAIS LANDSAT/TM5 EM RADIância E REFLECTância DE SUPERfície NA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE COMPLEXUS

Maristella Cruz de **Moraes**¹; Daniel Gomes dos Santos W. **Loebmann**²; Fernando A. P. **Paim**³;
Sérgio Henrique V. L. de **Mattos**⁴; Luiz Eduardo **Vicente**⁵

Nº 14510

RESUMO – O software *CompPlexus* vem sendo utilizado com o propósito de avaliar a complexidade de padrões espectrais e texturais de imagens multiespectrais por meio das métricas: Variabilidade H_e/H_{max} e SDL (*Shiner, Davison e Landsberg*), embasadas em entropia informacional. Sabe-se que, para a manipulação e interpretação correta dos dados, é necessário o uso dessas imagens convertidas para grandezas físicas como radiância e reflectância. O trabalho em questão objetiva testar a utilização dessas imagens com variações sazonais e, por meio da análise de variância dos dados obtidos, definir qual seria a grandeza mais adequada a ser utilizada no software. Os resultados mostram que, em decorrência das diferenças não muito significativas das variâncias entre as amostras, ambas as grandezas podem ser utilizadas. Porém, para estudos multitemporais com alta variação de condições climáticas, é recomendável o uso de dados em reflectância de superfície (correções atmosféricas aplicadas) como forma de minimizar a eventual soma de valores espúrios ao cálculo das métricas.

Palavras-Chave: Complexidade, *CompPlexus*, Correção atmosférica, Radiância, Reflectância.

1 Autora, Estagiária da Embrapa: Graduação em Tecnologia em Controle Ambiental, Unicamp, Campinas, SP; maristellacruz@gmail.com.

2 Colaborador, Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP.

3 Colaborador, Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP.

4 Colaborador, Professor-adjunto da Universidade Federal de Grande Dourados, Dourados, MS.

5 Orientador, Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP; luiz.vicente@embrapa.br.



ABSTRACT - *The CompPlexus software has been used with the intent of evaluating the complexity of spectral and textural patterns in multispectral images using the He/ Hmax variability and SDL (Shiner, Davison and Landsberg) measurements, which are based on informational entropy. It is known that for the proper handling and interpretation of data it is necessary to use these images converted to physical quantities, such as radiance and reflectance. This work intends to test the use of these images with seasonal variations, and, by means of variance analysis of the data, to define what would be the appropriate quantity to be used in the software. The results show no significant differences between the variances of the samples, both quantities can be used. But for multitemporal studies with high variation in climatic conditions, the use of surface reflectance data (with atmospheric corrections) is recommended in order to minimize the possible amount of spurious values in the calculation of metric values.*

Key-words: *Complexity, CompPlexus, Atmospheric correction, Radiance, Reflectance.*

1. INTRODUÇÃO

O software CompPlexus (VEDOVATO et al., 2013), ainda em desenvolvimento, foi criado com o propósito de avaliar a complexidade de padrões espectrais e texturais de imagens multiespectrais de sensores remotos. Ele utiliza duas métricas embasadas em entropia informacional, He/Hmax e SDL (Shiner, Davison, Landsberg) (PIQUEIRA; BORGES, 2013), para fazer os cálculos necessários por meio dos relatórios estatísticos das bandas de uma imagem e fornece os resultados em valores de complexidade. De acordo com Shiner et al. (1999), a complexidade de um sistema aumenta de acordo com o aumento da desordem dele. Então, quanto maiores os valores de complexidade resultantes, maior a sua desordem ou a variabilidade de um sistema (heterogeneidade), e, quanto mais homogêneos, menor a complexidade. No que se refere ao estudo de uso e cobertura da terra *versus* análise da paisagem, tais premissas podem ser sumarizadas em diversos tipos de análise, tais como aumento da fragmentação de biomas (áreas heterogêneas) e estimativa da resiliência de sistemas ambientais (áreas homogêneas). Dessa forma, a definição do formato das imagens usando suas grandezas físicas de radiância ou reflectância de superfície por meio da extração dos efeitos da atmosfera é de suma importância, e o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho das referidas medidas de complexidade considerando comparativamente as grandezas e o procedimento supracitado em imagens multitemporais do satélite Landsat/TM5, utilizando, para isso, o software CompPlexus.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Estação Ecológica de Assis é uma unidade de conservação estadual anexa à Floresta Estadual de Assis, que tem fisionomias de Cerrado e Cerradão (Figura 1). Por ser uma área protegida, presume-se que a área de borda seria o alvo mais heterogêneo e as demais áreas seriam exemplos de alvos mais homogêneos em graus distintos.

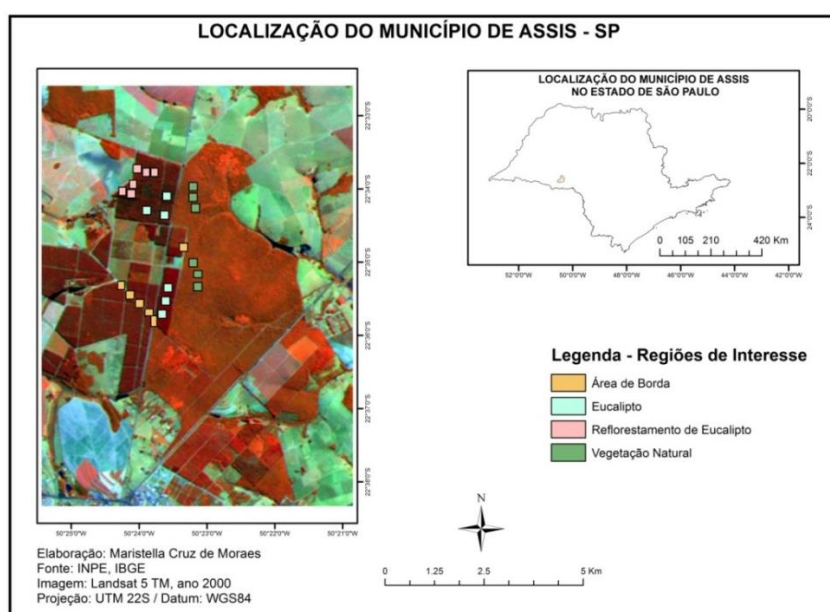


Figura 1. Estação ecológica de Assis, SP, e seu entorno, em recorte de uma cena Landsat/TM5, órbita-ponto 222-76, em composição R(4)G(5)B(3).

Para que os cálculos de complexidade sejam realizados, a imagem precisa ser convertida de números digitais (ND), seu formato original no sensor, para grandezas físicas, no caso radiância ou reflectância de superfície, definidas subsequentemente como: quantidade de radiação recebida pelo sensor, após interagir com o alvo e deixar a sua superfície (MENESES et al., 2012); razão entre a quantidade de energia radiante que deixa uma unidade de área no terreno (radiância) e a quantidade de energia incidente naquela área (irradiância), medida no mesmo instante de tempo (MENESES et al., 2012).

Para Ponzoni e Shimabukuro (2010), essas conversões visam solucionar a limitação da comparação dos dados, estabelecendo um limiar para cada grandeza e possibilitando, assim, a realização de análises quantitativas e qualitativas dos dados. Em análises qualitativas, a

minimização de efeitos da atmosfera na radiação que chega ao sensor (por exemplo, gases, aerossóis, vapor d'água) (JENSEN, 2009) na conversão para reflectância de superfície é procedimento complexo, mas recomendado como forma de garantir valores de fato intrínsecos aos alvos (por exemplo, estresse hídrico, compostos minerais de solo e latifoliados da vegetação) (VICENTE, 2007).

Para fins de análise comparativa entre dados de radiância e reflectância de superfície, foram realizados procedimentos de calibração radiométrica e correção atmosférica de imagens Landsat/TM5 (30 m de resolução espacial, 6 bandas), considerando os anos de 2000 e 2003, com e sem presença de nuvens, respectivamente (GOMES, et al. 2012).

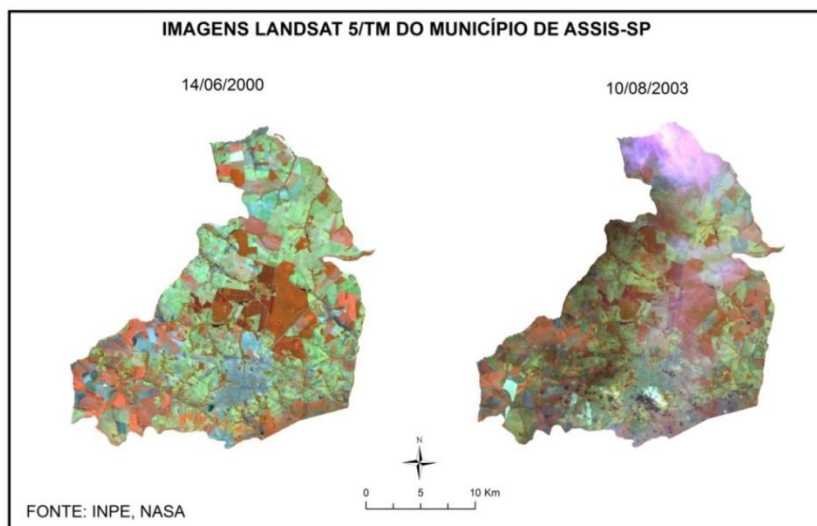


Figura 2. Município de Assis, SP, nos anos de 2000 e 2003, com presença massiva de nuvens e *haze* na cena TM5 de 2003.

1.1 Medida de variabilidade, ou H_e/H_{max}

Para a obtenção das medidas de complexidade, foi utilizado o software CompPlexus, considerando a extensão do sistema (N), convencionada para este caso em 256, pois esta é a quantidade de níveis de cinza presentes em uma imagem, e, a partir dele, calcular a entropia máxima (H_{max}) da forma demonstrada na Equação 1.

$$H_{max} = \text{Log}_2 N \quad (1)$$

Para calcular a entropia informacional, foi calculada a probabilidade de cada estado (π_i), associada à estrutura do sistema (N) (Equação 2).



$$He = \sum_{i=1}^N p_i \log \frac{1}{p_i} \quad (2)$$

Após isso, dividiu-se a entropia informacional do sistema (He) pela entropia máxima (Hmax), como mostra a Equação 3 (PIQUEIRA; MATTOS, 2011), para, finalmente, obter-se o valor de complexidade.

$$C = \frac{He}{Hmax} \quad (3)$$

1.2 Medida SDL (Shiner, Davison e Landsberg)

Neste caso, tem-se uma função convexa da entropia, onde a maior complexidade localiza-se num ponto de heterogeneidade intermediária, entre a ordem e a desordem. Para a realização de seu cálculo, são necessários os mesmos fatores da medida de variabilidade, porém, dispostos da forma mostrada na Equação 4 (PIQUEIRA et al., 2009).

$$C = [1 - (\frac{He}{Hmax} \cdot \frac{He}{Hmax})] \quad (4)$$

Dessa forma, foram gerados relatórios considerando seis amostras por região de interesse em ambas as imagens, os quais são condizentes com o caráter aparente de homogeneidade e heterogeneidade disposto na legenda da Figura 1. A Tabela 1 mostra a distribuição de valores de complexidade resultantes para a banda 1 nos alvos, para simples exemplificação visual desses valores.

Tabela 1. Exemplo das complexidades He/Hmax e SDL resultantes para todos os alvos na banda 1 (ano 2000).

Radiância_2000		Banda 1		Reflectância_2000		Banda 1	
Alvos	He/Hmax	SDL	Alvos	He/Hmax	SDL		
Borda	0.876701	0.108097	Borda	0.864955	0.116808		
Borda2	0.874522	0.109733	Borda2	0.901008	0.089193		
Eucalipto	0.831498	0.140109	Eucalipto	0.868049	0.114540		
Eucalipto2	0.895997	0.093186	Eucalipto2	0.895997	0.093186		
Reflorestamento	0.847027	0.129572	Reflorestamento	0.893060	0.095504		
Reflorestamento2	0.781637	0.170681	Reflorestamento2	0.860166	0.120280		
Veg_Natural	0.848792	0.128344	Veg_Natural	0.863563	0.117822		
Veg_Natural2	0.846791	0.129736	Veg_Natural2	0.884930	0.101829		

Os valores de complexidade observados para áreas homogêneas, como vegetação natural, reflorestamento e eucalipto, são menores para a métrica He/Hmax em comparação a um alvo mais heterogêneo, como a borda. Já no caso da medida SDL, os alvos com heterogeneidade



intermediária mostram-se mais complexos que alvos mais homogêneos. Essas observações são condizentes com o embasamento teórico das medidas.

Os valores de complexidade foram separados por alvo (Tabela 1), por banda e por radiância ou reflectância e submetidos a análise de variância, Anova, cuja finalidade é comparar as variações entre as médias dos dados de mais de duas amostras para que se observe a significância dessa variação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na execução da Anova, foram comparadas entre si as complexidades dos 24 alvos para cada banda, separados em 4 grupos (que são os 4 tipos de regiões de interesse dispostos na Figura 1) de 6 valores de complexidade para cada tipo de alvo, a fim de avaliar a existência de diferença entre suas médias. As Tabelas 1 e 2 mostram a comparação entre as probabilidades com nível de significância $\alpha = 0,05$ para os anos 2000 e 2003, respectivamente. Considerando as hipóteses de nulidade e alternativa (H_0 e H_1 , respectivamente) – em que H_0 representa a hipótese de não existir diferença significativa e H_1 , de existir diferença significativa –, todo resultado destacado na cor verde mostra a probabilidade de se rejeitar H_0 estando ela correta. Assim, existe diferença significativa entre os alvos cujos resultados das probabilidades estão destacados em verde e, no caso dos destacados em vermelho, a diferença não é estatisticamente significativa. Dessa forma, a probabilidade de o erro Tipo I ocorrer é muito pequena ($p < 0,05$) para a grande maioria dos casos e, portanto, rejeitamos a hipótese nula.

Tabela 2. Comparação das probabilidades entre bandas para as grandezas radiância e reflectância com as métricas de variabilidade e SDL para o ano 2000.

Radiância	He/Hmax	SDL	Reflectância	He/Hmax	SDL
Banda 1	0,0730	0,0670	Banda 1	0,3074	0,3120
Banda 2	0,0024	0,0015	Banda 2	0,0657	0,0550
Banda 3	0,0008	0,0001	Banda 3	0,0206	0,0074
Banda 4	0,0016	0,0010	Banda 4	0,0002	0,0002
Banda 5	0,0003	<0,0001	Banda 5	0,0002	<0,0001
Banda 7	0,0004	0,0004	Banda 7	0,0008	0,0004

Com a conversão da imagem de radiância para valores de reflectância, a probabilidade de diferença significativa entre os dados da amostra diminuiu, possivelmente em decorrência da remoção ou diminuição dos interferentes atmosféricos, o que permitiu que os dados fossem interpretados de forma mais acurada, próximos de sua variabilidade real. Vale ressaltar que a



sensibilidade das bandas 1 e 2 aos componentes atmosféricos é coerente com o resultado da variabilidade reduzida para dados em reflectância. Esse resultado também pode demonstrar que os dados em radiância, possivelmente por incluírem maior quantidade de ruído *versus* informação, têm maior variabilidade, o que faz sentido pressupondo que a informação do dado é uma mistura de interferentes atmosféricos com a região de interesse na superfície.

Tabela 3. Comparação das probabilidades entre bandas para as grandezas radiância e reflectância com as métricas de variabilidade e SDL para o ano 2003.

Radiância	He/Hmax	SDL	Reflectância	He/Hmax	SDL
Banda 1	0,0386	0,0332	Banda 1	0,0424	0,0420
Banda 2	0,0029	0,0027	Banda 2	0,0032	0,0026
Banda 3	0,0074	0,0060	Banda 3	0,0028	0,0022
Banda 4	0,9456	0,9637	Banda 4	0,5553	0,5829
Banda 5	0,0003	0,0002	Banda 5	< 0.0001	<0.0001
Banda 7	0,0005	0,0004	Banda 7	0,0031	0,0030

No caso da imagem referente ao ano de 2003, escolhida em decorrência da massiva presença de nuvens e *haze*, percebe-se que a diferença permaneceu significativa para a grande maioria. Não porque a correção atmosférica tenha sido ineficaz, mas porque a presença dos componentes atmosféricos faz com que a informação mensurada num dado tenha o acréscimo do componente atmosférico, além dos valores intrínsecos ao alvo. O interferente é atenuado, mas não totalmente removido. É importante ressaltar que a banda 4, de intervalo espectral variante entre 0,76 e 0,90 μm , é a faixa na qual ocorre maior interação da radiação com a estrutura latifoliada da vegetação, sendo esse o principal alvo sob investigação, e fatores como presença de água podem ser causadores de alterações nessas interações, acarretando alteração considerável nos valores de reflectância, com variabilidade atenuada nessa banda (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

4. CONCLUSÕES

A análises de variância efetuadas revelam que, para imagens sem grandes variações sazonais, como as de 2000, a conversão da imagem para valores de reflectância diminui a variabilidade entre as amostras do conjunto de dados. Entretanto, considerando-se os valores de complexidade, significa menor quantidade de informação ou ruído no dado. Sendo assim, o objetivo de reduzir componentes espúrios do dado em reflectância de superfície foi cumprido, já que diminuiu a variabilidade do dado em relação à radiância, e portanto, deve ser levado em consideração em futuros processamentos. Lembrando que, neste caso, maior variabilidade não significa exatamente maior probabilidade de separabilidade, mas sim maior presença de



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

informação/ruído. Já no caso do ano de 2003, com presença de interferentes atmosféricos na imagem, não houve alteração significativa na variabilidade entre dados, o que leva a crer que condições extremas dos componentes atmosféricos e baixa eficiência em sua remoção tornam ambos os conjuntos de dados equivalentes. Apesar da capacidade do CompPlexus de trabalhar com ambas as grandezas e a facilidade de uso de dados em radiância que atestam sua utilização, recomenda-se a realização de outros testes que considerem maior variação temporal e de alvos, bem como a mensuração da relação sinal/ruído da imagem em campo, a qual não foi possível medir aqui.

5. AGRADECIMENTOS

À equipe de pesquisa e desenvolvimento do projeto AgSpec da Embrapa Monitoramento por Satélite, pela orientação e o apoio nas atividades desenvolvidas neste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- GOMES, D.; VICENTE, L. E.; DE PAULA, S. C.; VICTORIA, D. de C.; ANDRADE, R. G.; SILVA, R. F. B. da; AGNESE, M. L. Comparative assessment of atmospheric correction of Landsat imagery using Modtran and dark object subtraction. In: SYMPOSIUM SELPER, 15., 2012, Cayenne, French Guiana. **Abstracts...** Cayenne: SELPER, 2012. 1 p.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. p. 55-60.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; ROSA, A. N. C. S.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B.; BAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF: CNPQ/UNB, 2012. p. 21-30.
- PIQUEIRA, J. R. C.; MATTOS, S. H. V. L.; VASCONCELOS-NETO, J. Measuring complexity in three-trophic level systems. **Ecological Modelling**, v 220, p. 266-271, 2009.
- PIQUEIRA, J. R. C.; BORGES, Y. C. C. Extending SDL and LMC complexity measures to quantum states. **Physica A**, v. 392, p. 5255-5259, 2013.
- PIQUEIRA, J. R. C.; MATTOS, S. H. V. L. Note on LMC complexity measure. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 19, p.3603-3604, oct. 2011.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010. p. 18-75.
- SHINER, J. S.; DAVISON, M.; LANDSBERG P. T. Simple measure of complexity. **Physical Review E**, v. 59, n. 2, p. 1459-1464, 1999.
- 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. 1 CD-ROM.
- VICENTE, L. E. Caracterização de sistemas ambientais tropicais complexos utilizando análise sistêmica e classificação hiperespectral de dados do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). 2007. 192 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.