

Análise multiespectral de medidas de complexidade utilizando o software *CompPlexus* aplicado a dados do sensor ASTER

Laura Barbosa Vedovato¹
Luiz Eduardo Vicente²
José Roberto Castilho Piqueira³
Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos⁴

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
laurabv@dsr.inpe.br

²Embrapa Monitoramento por Satélite
CEP 13070-115- Campinas-SP, Brasil
luiz.vicente@embrapa.br

³Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo - USP CEP 05508-900 - São Paulo- SP, Brasil
piqueira@lac.usp.br

⁴Faculdade de Ciências Humanas
Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD
CEP 79804-970 – Dourados - MS, Brasil
sergiomattos@ufgd.edu.br

Abstract. This paper aims to evaluate the efficiency of the *CompPlexus* software in the use of complexity analysis to distinguish targets in several ASTER bands. The metric used by the software is a measure of variability or He/Hmax, which is related to the greater complexity of patterns in a heterogeneous system. The ENVI software was used to obtain the required information about the targets. These data were then entered into the *CompPlexus* software, which provides the complexity values of each target for each metric. The results show that there is no large change in the pattern of complexity along the ASTER bands.

Palavras-chave: complexidade, métricas de paisagem, He/Hmax, ASTER.

1. Introdução

As métricas da paisagem são tradicionalmente usadas na análise e busca de padrões espaciais em sistemas ambientais complexos através do estabelecimento de relações numéricas entre os diferentes tipos de alvos na superfície da Terra. Sob essa perspectiva, o sensoriamento remoto teve grande importância como ferramenta para a geração de dados, fornecendo vários níveis de informações sobre uso da terra e ocupação para grandes áreas. Para isto, o sensoriamento remoto utiliza matrizes regulares de pixels com valores quantitativos associados (por exemplo: números digitais, radiância, reflectância), os quais constituem uma medida direta da variação da radiação eletromagnética após a interação com o alvo.

Para a utilização das métricas em um estudo de paisagem é necessário que estas sejam embasadas em um arcabouço teórico consistente, possibilitando uma interpretação adequada dos resultados obtidos por ela. A entropia informacional é a base de métricas coerentes e amplamente utilizadas para análise de heterogeneidade e complexidade da paisagem, possibilitando avaliação do nível de organização desta (Farina, 1998; Feagin, 2005).

As métricas de paisagem podem ser baseadas em conceitos diferentes. O índice de Shannon, por exemplo, considera que a complexidade é uma função direta da desordem. Ele atribui valores baixos de complexidade para estados ordenados e altos valores para estados desordenados (Kaneko & Tsuda, 2001; Shiner et al. 1999). Algumas medidas possuem uma interpretação diferenciada desta, atribuindo maiores valores de complexidade a estados ordenados (Shiner et al. 1999). Para Parrott (2005) os sistemas mais complexos espacialmente são aqueles cujo padrão espacial se encontra em zona intermediária entre uma distribuição ordenada e uma distribuição aleatória. Desta maneira, a máxima complexidade se encontra entre situações extremas, podendo ser representada matematicamente por uma função convexa da desordem (Shiner et al. 1999).

A utilização de meios computacionais e dados de sensoriamento remoto para a aplicação das métricas de paisagem são de grande importância para um melhor entendimento dos padrões da paisagem. Um exemplo de software para este tipo de aplicação é o FRAGSTATS. Ele foi criado por pesquisadores da Universidade de Oregon (Mcgarigal e Marks, 1994), sendo sempre atualizado com novas versões permitindo integração com SIGs e ampliando suas métricas disponíveis. Um novo software em desenvolvimento é o *CompPlexus*¹ (Vedovato et al. 2013), o qual opera com grande eficiência para aplicação de métricas de paisagem e avaliação da complexidade de alvos.

Neste trabalho, será avaliado a eficiência do software *CompPlexus* na análise multiespectral de complexidade de alvos distintos utilizando bandas do sensor ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*.

2. Área de estudo

A Estação Ecológica de Assis (Figura 1) está localizada no município de Assis – SP, entre as coordenadas 22° 35'14'' S e 50° 22'38'' W. Está distante 13 Km do centro da cidade e é anexa a Floresta Estadual de Assis. Possui 1.312,38 ha no total. Seu relevo é caracterizado por planaltos bem suaves, possuindo amplas colinas com declinação inferior a 15%, sendo que suas altitudes variam de 500 a 590 metros. As fisionomias da área são típicas de cerrado e cerrado, sendo a área mais ao sul do país apresentado essas características (Instituto Florestal, 2010).

Essa área foi escolhida para este trabalho devido a disponibilidade de alvos considerados heterogêneos como presença de borda e pastagens, e alvos considerados homogêneos como floresta de *Pinus* sp. e Cerrado.

¹Maiores detalhes disponíveis em <<http://mapas.cnpm.embrapa.br/labspec/complexus/app.html>>

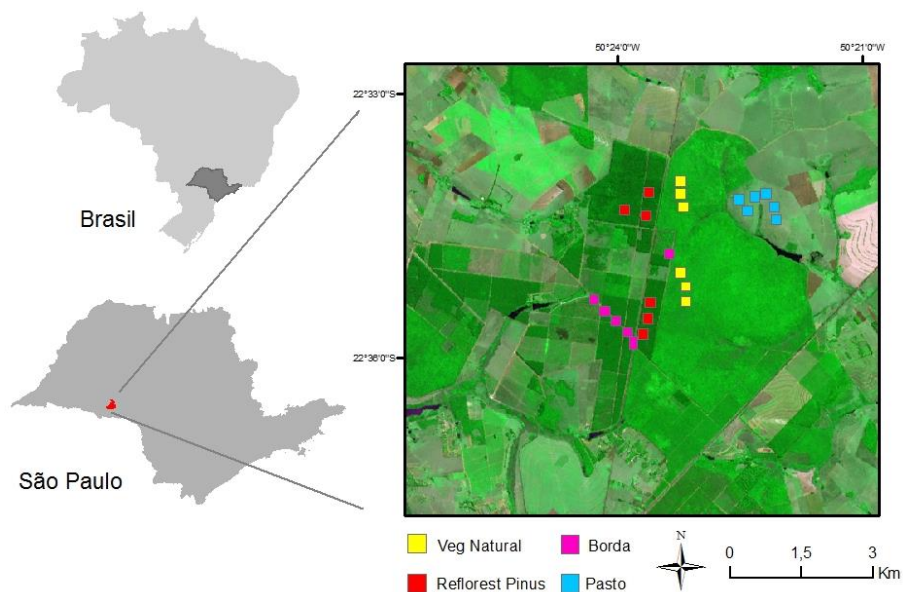


Figura 1. Estação Ecológica de Assis e pontos amostrados. Imagem ASTER. Composição colorida cor verdadeira R2G3B1.

3. Material e Métodos

3.1 Aquisição da imagem

Foi utilizada uma imagem do sensor ASTER está a bordo do satélite TERRA, lançado em dezembro de 1999 como parte do programa EOS (*Earth Observing System*). A sua imagem possui 14 bandas espectrais, divididas em três regiões do espectro eletromagnético - VNIR-*Visible and NearInfra-Red* (bandas 1 a 3), SWIR – *Short WaveInfra-Red* (bandas 4 a 9) e TIR – *Thermal Infra-Red* (bandas 10 a 14). Suas respectivas resoluções se encontram na Tabela 1. Neste trabalho foram utilizadas apenas as bandas presentes na região do VNIR e SWIR, já que os alvos analisados possuem respostas características para estas regiões do espectro análogas a outros sensores tradicionais, como o TM (*ThematicMapper*) e OLI (*Operational Land Image*), mas possuindo uma combinação singular de bandas, cobrindo regiões antes pouco exploradas do espectro (i.e. SWIR) de maneira contígua (Abrams & Hook, 2002) (Tabela 1). Dessa forma, no que se refere a análise multiespectral de medidas de complexidade, o ASTER tornou-se o sensor ideal para esse trabalho.

Tabela 1. Resoluções do sensor ASTER.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)	1	0,520 - 0,600 μm	15 m	16 dias	60 km	8 bits
	2	0,630 - 0,690 μm				
	3 (Nadir)	0,760 - 0,860 μm				
	4 (Off-Nadir)	0,760 - 0,860 μm				
	5	1,600 - 1,700 μm	30 m	16 dias	60 km	8 bits
	6	2,145 - 2,185 μm				
	7	2,185 - 2,225 μm				
	8	2,235 - 2,285 μm				
	9	2,295 - 2,365 μm				
	10	2,360 - 2,430 μm				
	11	8,125 - 8,475 μm	90 m	16 dias	60 km	12 bits
	12	8,475 - 8,825 μm				
	13	8,925 - 9,275 μm				
	14	10,250 - 10,950 μm				
	15	10,950 - 11,650 μm				

Fonte: Portal Embrapa Monitoramento por Satélite. Satélites de Imageamento. 2013.

3.2 Correção Atmosférica

A realização da correção atmosférica é de grande importância para minimizar as influências de aerossóis e gases que interferem na absorção e espalhamento da radiação eletromagnética, ocasionando alterações nas suas feições de absorção. A correção foi realizada utilizando parâmetros locais da atmosfera (e.g., vapor d'água e visibilidade), utilizando algoritmo MODTRAN (Vicente e Souza Filho, 2011), com posterior conversão dos valores de pixels em refletância de superfície, permitindo dessa forma análise espectral baseada na isonomia de valores intrínsecos aos alvos.

3.3 Métrica de complexidade de variabilidade ou He/H_{max}

Essa métrica considera que a complexidade aumenta em função da desordem de um sistema (Shiner et al. 1999). Para seu cálculo é necessário informações como a extensão do sistema (N), a entropia máxima (H_{max}) e a entropia informacional (He). Segundo Piqueira e Mattos (2011), a razão entre as entropias nos fornece os valores de complexidade do sistema (Equação 1).

$$C = He/H_{max} \quad (\text{Equação 1})$$

3.4 Processamento dos dados

As informações estatísticas dos alvos analisados foram obtidas pelo processamento no software ENVI por meio da ferramenta *stats*. Neste software foi possível adquirir as informações em conjunto por regiões do espectro eletromagnético, no caso, VNIR e SWIR e informações individuais banda a banda. Após a geração dos arquivos pela ferramenta *stats*, é realizada a entrada destes relatórios estatísticos no software *CompPlexus* (Vedovato et al. 2013), o qual nos fornece os valores de complexidade dos alvos para a métrica He/H_{max} .

4. Resultados

4.1 Complexidade por regiões do espectro eletromagnético

Em relação aos alvos analisados (Tabela 2), a borda foi o alvo que apresentou uma maior complexidade para a métrica He/Hmax, a qual mostra maiores valores para alvos com maior heterogeneidade. Considerando a quantidade de informação presente nos alvos, este resultado se mostra coerente, já que a borda possui uma mistura de alvos referentes a floresta, reflorestamento por *Pinus* sp. e estrada de terra. O segundo alvo que apresentou maior complexidade para essa métrica foi a pastagem. Podemos explicar esse fato pela variação de feições na pastagem devido ao próprio pastejo do gado e pisoteamento e/ou presença de árvores e pedras esparsas que aumentam a heterogeneidade representada pelos pixels. A mistura de alvos diferentes dentro de uma amostra faz com que haja uma maior variabilidade espectral (representada por maior quantidade de informação), tornando esse alvo mais heterogêneo que outros.

A complexidade da vegetação natural para essa métrica ocupou o terceiro lugar. Apesar deste alvo ser de grande complexidade devido a diferenças em seu dossel ocasionadas pela altura das árvores e sombreamento, ele não se encontrou entre os mais complexos. Isto pode ser explicado devido a localização das amostras em que foram retiradas, sendo estas em áreas *core* da floresta. Assim, não há uma mistura da área de floresta com outros alvos, diminuindo de maneira coerente os valores de complexidade em relação aos alvos que possuem misturas com outros. Já o alvo de reflorestamento, ficou em último lugar em complexidade, já que apresenta um padrão específico em sua plantação e um dossel homogêneo, além de também não possuir misturas com outros alvos, apresentando pouca quantidade de informação.

Tabela 2. Valores de complexidade dos alvos nas distintas regiões espectrais. Em verde os maiores valores e em vermelho os menores valores de complexidade.

He/Hmax		
	VNIR	SWIR
Borda	0,87592	0,88779
Pasto	0,83683	0,83985
Veg Natural	0,80501	0,78657
Reflorest. Pinus	0,76219	0,75968

Ao analisar os resultados de complexidade para a região do VNIR e do SWIR, é possível perceber que não há diferença para o reconhecimento de complexidade dos alvos ao se utilizar regiões diferentes do espectro eletromagnético, sendo que a métrica apresentara um valor de correlação alto (R^2 maiores que 0,9) (Figura 2). Evidencia-se desta maneira que tanto a união das regiões do VNIR e do SWIR, ou elas separadamente podem ser utilizadas para extrair os valores de complexidade das métricas.

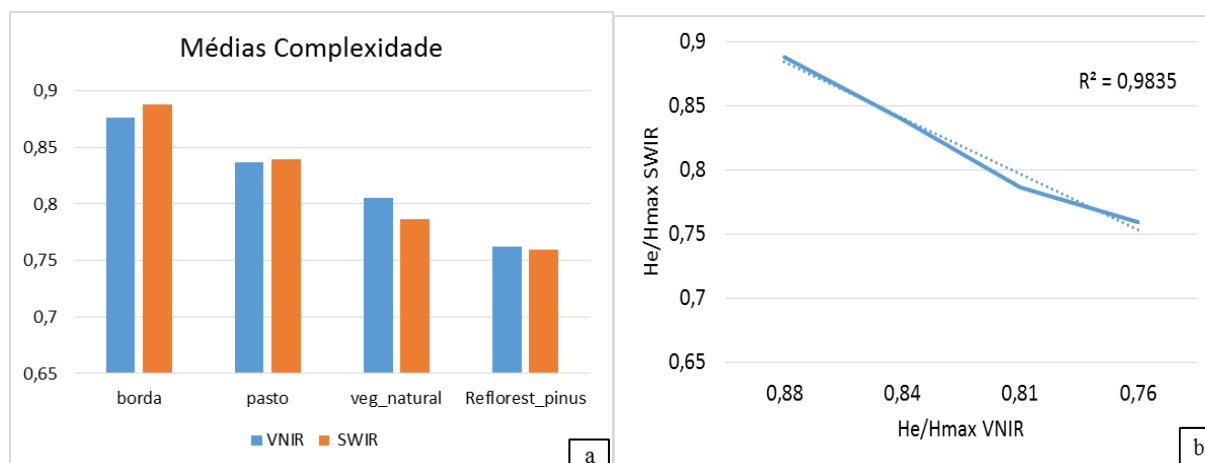


Figura 2. Sendo (a) os valores das médias de complexidade para as regiões do VNIR e do SWIR; (b) comparação da complexidade da métrica He/Hmax para o SWIR x VNIR.

4.2 Análise de complexidade por banda

A análise da complexidade banda a banda do sensor ASTER para os alvos estudados, nos mostra que existe um padrão de comportamento para os alvos. A borda apresentou maior complexidade em todas as bandas para a métrica. Essa maior complexidade pode ser explicada pelos altos valores do desvio padrão (Tabela 4) deste alvo para todas as bandas, indicando que possui um comportamento com muita variação espectral e, portanto, maior quantidade de informação captada pela medida.

Das bandas que representam o visível (1 a 3), somente a 3 apresentou um padrão diferenciado. Ela apresentou uma inversão de complexidade entre o pasto e a vegetação natural ao comparar-se com a complexidade das bandas 1 e 2. Isto pode ser explicado pois a faixa espectral correspondente a banda 3, é a qual a vegetação possui seu ápice de reflectância. Desta maneira, atribui-se tal comportamento a provável maior presença de vegetação fotossinteticamente ativa, e subsequente maiores variações de reflectância, oriundas principalmente da presença de pigmentos (e.g. clorofilas, xantofilas, carotenos) (Ponzoni, 2001). No caso do pasto, tem-se menor variação nos valores de pixels, devido provavelmente a presença de vegetação não fotossinteticamente ativa, notoriamente de alta reflectância, com destaque também para menor presença de sombra, relativa a inexistência da estrutura de dossel para esse alvo. As bandas 4 a 9 não apresentaram uma diferença grande nos padrões de complexidade, apresentando uma pequena diferença nas bandas 4 e 5, invertendo a ordem de complexidade dos alvos de reflorestamento *Pinus* sp com Vegetação Natural, quando comparado as bandas 6 a 9. Essa diferença pode ser atribuída a presença de compostos bioquímicos latifoliados no SWIR, bem como presença de água na vegetação (Jensen, 2009), as quais são satisfatoriamente reproduzidas pelo ASTER nessa região do espectro. Entretanto, também podem estar sujeitas a maiores níveis de ruído (Vicente e Souza Filho, 2011).

Tabela 3. Valores de complexidade das bandas individualmente, para a métricas de complexidade He/Hmax dos alvos analisados, em verde os maiores valores e em vermelho os menores valores de complexidade.

	He/Hmax								
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Borda	0,86715	0,85548	0,90511	0,87765	0,88720	0,88456	0,90227	0,89206	0,88299
Pasto	0,84267	0,85094	0,81688	0,84685	0,82186	0,81402	0,85427	0,84647	0,85566
Reflorest <i>Pinus</i>	0,72582	0,70726	0,85350	0,77738	0,75275	0,76981	0,76214	0,72952	0,76646
Veg Natural	0,73925	0,77834	0,89744	0,74410	0,72243	0,81165	0,83731	0,79599	0,80796

Tabela 4. Valores de média e desvio padrão dos alvos para cada banda.

	Borda		Pasto		Reflorest <i>Pinus</i> sp		Veg Natural	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Banda 1	607,28	123,64	888,34	31,29	509,84	18,29	563,70	14,58
Banda 2	556,24	188,42	915,03	41,58	422,06	28,11	433,23	17,25
Banda 3	2045,81	144,86	2188,03	61,29	1732,05	79,77	2.317,05	87,42
Banda 4	1868,63	255,48	3311,00	100,01	1437,81	59,06	1695,99	39,29
Banda 5	990,64	206,51	1946,90	43,77	789,20	38,68	857,83	23,74
Banda 6	1006,08	228,46	2099,98	54,17	768,18	32,10	853,86	27,88
Banda 7	1018,90	226,29	2089,83	50,69	782,69	35,44	882,55	29,85
Banda 8	816,65	212,74	1713,48	34,15	623,00	29,18	681,39	33,21
Banda 9	762,21	165,12	1385,22	33,31	632,58	25,64	653,56	36,04

5. Considerações finais

Pode-se concluir que a complexidade de alvos possui um padrão para a métrica analisada ao longo das regiões VNIR e SWIR do sensor ASTER. Apesar de seguir um padrão de complexidade, a maior quantidade de bandas na região do SWIR deste sensor propiciou uma análise mais robusta do comportamento da complexidade de cada alvo. Para futuros trabalhos é interessante avaliar o comportamento da complexidade em outros sensores que possuam uma resolução espectral diferente do ASTER, com vias a avaliar a importância do maior número de bandas para explicar os padrões de complexidade de um sistema.

Mesmo existindo reprodução satisfatória do ASTER em relação ao comportamento espectral de alvos vegetacionais, recomenda-se atenção a relação sinal/ruído de algumas regiões do espectro com baixa energia como SWIR, visto que a métrica poderia confundir níveis de informação com o de ruído, sugerindo-se nesse sentido, medidas espectralradiométricas de campo. Entretanto, de maneira geral verifica-se robustez e lógica na medida He/Hmax, com base na própria disposição dos alvos, corroborando o uso da mesma através do software *CompPlexus* para fins de medidas de complexidade em imagens multiespectrais.

Agradecimentos

À equipe de pesquisa e desenvolvimento do projeto Agspec da Embrapa Monitoramento por Satélite e respectivos parceiros do Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle da Escola Politécnica da USP e Universidade da Grande Dourados, pela orientação e apoio as atividades desenvolvidas nesse trabalho.

Referencias

Abrams, M., & Hook, S. J. **AsterUserHandbook: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer**. USA: NASA/Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, 2, 135p. 2002.

Embrapa Monitoramento por Satélite. Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/missao_terra.php>.

Farina, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235p.

Feagin, R.A. Heterogeneity versus homogeneity: a conceptual and mathematical theory in terms of scale invariant and scale-covariant distributions. **Ecological Complexity**, v.2, p.339–356, 2005.

Gomes, D.; Vicente, L. E.; Silva, R. F. B.; Paula, S. C.; Maçorano, R. P.; Victoria, D. de C.; Batistella, M. Uso de dados MODIS e AIRS para obtenção de parâmetros de correção atmosférica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. 2013. Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 8019-8026. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1536.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2014.

Instituto Florestal. Plano de Manejo da Estação Ecológica de Assis. 2010. Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/Plano_de_manejo/EEc_Assis/Plano_de_Manejo_EEc_Assis.pdf>

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Kaneko, K., Tsuda, I. **Complex Systems: chaos and beyond**. Berlim: Springer Verlag, 2001. 257p.

Mattos, S. H. V. L., **Complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado no estado de São Paulo**. 2010. Tese de Doutorado. Inst. De Geociencias. Universidade Estadual de Campinas. 2010.

McGarigal, K. & Marks, B.J. **FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure (version 2.0)**. 1994. Disponível em <<http://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>>

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.

Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S (org.). Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais. Brasília, DF: UNB, 262 p. 2001.

Shiner, J.S. & Davison, M. 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. **Anais.. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2013.

Vicente, L. E.; Souza Filho, C. R. Identification of Mineral Components in Tropical Soils using Reflectance Spectroscopy and Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. **Remote Sensing of Environment**. v. 115, p. 1824-1836, 2011.