



**ANÁLISE DE MEDIDAS DE COMPLEXIDADE DA VEGETAÇÃO NA ESTAÇÃO
ECOLÓGICA DE ITIRAPINA, SP, CONSIDERANDO DADOS DE REFLECTÂNCIA DE
SUPERFÍCIE DO SENSOR OLI (Landsat 8)**

Maristella Cruz de **Moraes**¹; Luiz Eduardo **Vicente**²; Fernando **Paim**³; Daniel **Gomes**⁴;
Thaís Maria Gonçalves **Rocha**⁵

Nº 15505

RESUMO - *As métricas de paisagem, por exemplo as medidas de complexidade, têm contribuído para a análise da estrutura, da dinâmica e das alterações que ocorrem numa paisagem ao longo do tempo. O software CompPlexus incorpora o cálculo das métricas de complexidade SDL e He/Hmax e permite mensurar a carga informativa inerente aos alvos em solo a partir de imagens de sensores orbitais. Com o interesse de mapear padrões vegetacionais, mais especificamente o do Bioma Cerrado existente na Estação Ecológica de Itirapina, SP, o presente trabalho objetivou comparar as complexidades de uma imagem Landsat-8 (OLI) às de imagem NDVI gerada a partir da imagem Landsat-8, visto que o NDVI é um índice específico para características da vegetação, e buscou, assim, um desempenho mais estável para tais métricas. A análise preliminar demonstra que o NDVI é uma boa alternativa para o cálculo de complexidades e a busca por padrões, mas tem limitações em determinados alvos, como ambientes aquáticos e zonas urbanas.*

Palavras-chave: Cerrado, Complexidade, Landsat-8, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Reflectância de superfície.

1 Autora, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Geografia, UNICAMP, Campinas-SP; maristellacruz@gmail.com
2 Orientador: Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP; luiz.vicente@embrapa.br
3 Colaborador, Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP
4 Colaborador, Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP
5 Estagiária Embrapa: Graduação em Gestão Ambiental, UFGD, Dourados-MS



ABSTRACT- *Landscape metrics, such as complexity measurements, have contributed to the analysis of structure, dynamics and changes that occur in a landscape over time. The CompPlexus software incorporates the calculation of SDL complexity measurements and He/Hmax, and enables measuring the information load contained in targets on the ground from images taken by orbital sensors. With the interest of mapping vegetation patterns, specifically the Cerrado biome fragment at the Ecological Station of Itirapina, SP, this study aimed to compare the complexities of a Landsat-8 image (OLI) to the NDVI image generated from that same Landsat-8 image, since NDVI is specific for vegetation characteristics, and sought a more stable performance for this metrics. The preliminary analysis shows that NDVI is a good alternative for calculating complexities and for the search for patterns, but it shows limitations with certain targets, such as water aquatic environments and urban areas.*

Key-words: Cerrado, Complexity, Landsat-8, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Surface reflectance.

1 INTRODUÇÃO

As chamadas métricas de paisagem têm contribuído cada vez mais para as análises da paisagem, tanto no estudo de sua estrutura quanto da dinâmica e das alterações que nela ocorrem ao longo do tempo. São exemplos as medidas de complexidade SDL e He/Hmax (ou variabilidade) que, incorporadas no software CompPlexus (VEDOVATO et al., 2013), têm tido seu potencial e eficiência postos em teste, como apontam os estudos de Moraes et al. (2015) e Vedovato et al. (2015). Essas métricas têm embasamento em entropia informacional, e são úteis, entre outras aplicações, para a mensuração da carga informativa de alvos em imagens de sensores orbitais, por exemplo a recente plataforma Landsat-8, que opera com dois instrumentos para imageamento, o sensor OLI (Operacional Land Imager), utilizado neste trabalho, e o TIRS (Thermal Infrared Sensor).

Mensurar a complexidade de um alvo na busca por padrões é buscar mais informações acerca de seu processo de formação (MATTOS, 2010), de sua inter-relação com o ambiente no qual está inserido e também medir o impacto de tais dinâmicas. No caso dos biomas em processo de devastação, mais especificamente o Cerrado brasileiro, é de suma importância espacializar essas dinâmicas de formas alternativas, haja vista os processos de fragmentação e efeito de borda eminentes que a área sofre (VICENTE, 2007). Partindo do pressuposto de que a cobertura vegetal indica a qualidade dos solos e os impactos no ciclo hidrológico (LIMA et al.,

2015), o aumento ou a diminuição da complexidade da vegetação tem muito a indicar sobre sua dinâmica, daí a necessidade de uma análise usando tais métricas.

Para a análise de complexidade em uma imagem, é necessário que ela seja convertida para uma grandeza física, como a reflectância de superfície, por exemplo. Porém, objetivando mapear padrões vegetacionais, existem índices de vegetação como o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (ROUSE et al., 1974), uma importante ferramenta de sensoriamento remoto que proporciona melhor contraste da resposta espectral da vegetação na imagem e por conseguinte uma interpretação mais robusta das intercorrências da ação do tempo.

Este trabalho tem o objetivo de comparar valores de complexidade de regiões de interesse extraídas de uma imagem multibanda, como a gerada pelo cálculo do NDVI, a fim de identificar também no índice de vegetação uma possibilidade robusta para a análise de paisagem e capaz de sumarizar as principais características da vegetação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Estação Ecológica de Itirapina foi escolhida como área de estudo por apresentar fitofisionomias de Cerrado e coberturas vegetais que correspondem às expectativas de homogeneidade e heterogeneidade aparente. Situada nos municípios de Itirapina e Brotas, tem área de 2.300 ha (INSTITUTO FLORESTAL, 2006), como é mostrado na Figura 1.

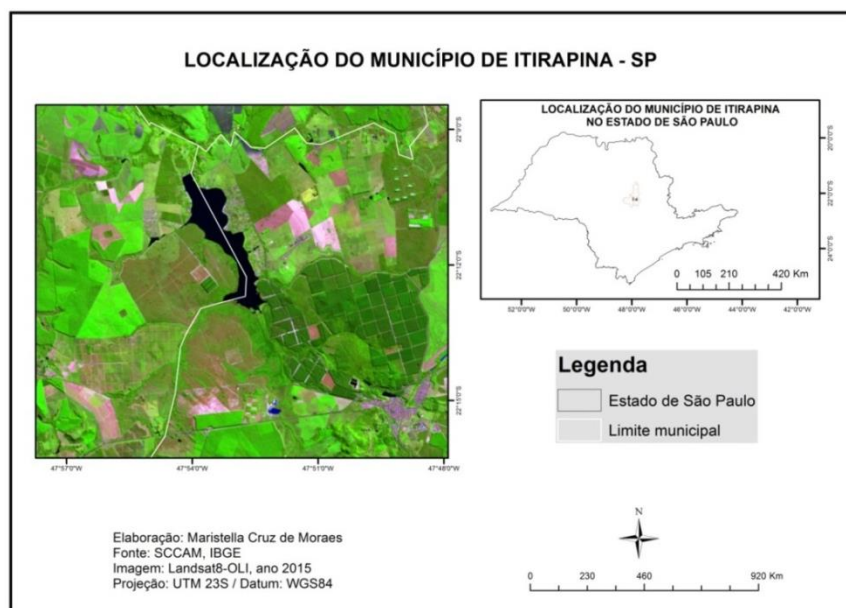


Figura 1. Localização da Estação Ecológica de Itirapina, que também abrange o município de Brotas-SP.



A cena utilizada, obtida pelo sensor OLI do satélite Landsat 8, é composta de 9 bandas, das quais apenas as 7 primeiras foram utilizadas nesta análise. A imagem é datada de 09/05/2015, órbita-ponto 220/75, calibrada, corrigida e disponibilizada pelo Sistema de Calibração e Correção Atmosférica Multissensor, SCCAM (2014)¹. As características espectrais do sensor são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características espectrais das bandas do Landsat 8 – OLI/TIRS, com destaque para as bandas utilizadas neste trabalho.

Bandas Landsat-8	Comprimento de onda (µm)	Resolução espacial (m)
Banda 1 – Ultra azul (costeira)	0,43 – 0,45	30
Banda 2 – Azul	0,45 – 0,51	30
Banda 3 – Verde	0,53 – 0,59	30
Banda 4 – Vermelho	0,64 – 0,67	30
Banda 5 – Infravermelho próximo (NIR)	0,85 – 0,88	30
Banda 6 – Infravermelho de ondas curtas 1	1,57 – 1,65	30
Banda 7 – Infravermelho de ondas curtas 2	2,11 – 2,29	30
Banda 8 – Pancromática	0,50 – 0,68	15
Banda 9 – Cirrus	1,36 – 1,38	30
Banda 10 – Infravermelho Termal (TIRS) 1	10,60 – 11,19	100
Banda 11 – Infravermelho Termal (TIRS) 2	11,50 – 12,51	100

Bandas não utilizadas neste trabalho.

As bandas utilizadas para a análise são mais específicas para as características dos alvos, como: corpos d'água e interações atmosféricas (bandas 1 e 2), morfologia do terreno, estudos do solo e aspectos da cobertura vegetal em suas variadas fases (demais bandas).

Para eficiência dos cálculos de complexidade, a imagem deve ser convertida de seu formato original em números digitais (DN) para a reflectância de superfície, para garantir que apresente valores que variem apenas de acordo com processos intrínsecos ao alvo, como estresse hídrico, compostos minerais de solo e latifoliados da vegetação (VICENTE, 2007). Esse procedimento foi realizado de acordo com a proposta de Gomes et al. (2013). O cálculo do NDVI foi feito usando a Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

NIR é a reflectância na banda do infravermelho próximo e *Red* é a reflectância na banda do vermelho.

Feito o cálculo, a resultante é uma imagem em escala de cinza, com valores de -1 a +1 e com o menor valor relacionado à ausência de vegetação e o maior valor relacionado a áreas onde a vegetação apresenta processo de fotossíntese mais intenso.

¹ SCCAM. Sistema de Calibração Radiométrica e Correção Atmosférica Multissensor. Disponível em: <<http://mapas.cnpm.embrapa.br/labspec/scamm/app.html>>.

No cálculo da métrica He/H_{max} , ou medida de variabilidade, o software CompPlexus divide a entropia informacional do sistema (He) pela entropia máxima (H_{max}), para obter os valores de complexidade (PIQUEIRA; MATTOS, 2011) (Equação 2).

$$C = \frac{He}{H_{max}} \quad (2)$$

Neste caso, a complexidade comporta-se de forma crescente de acordo com o aumento da desordem do sistema (SHINER et al., 1999), ou seja, quanto mais heterogênea for uma região de interesse, maior será sua complexidade, e quanto mais homogênea, menos complexa.

Já no caso da complexidade SDL (Shiner, Davison e Landsberg), a função é convexa à entropia e, assim, a maior complexidade está em um pico de heterogeneidade intermediária. Os fatores utilizados na Equação 3 são os mesmos da complexidade He/H_{max} , porém com diferente disposição (PIQUEIRA et al., 2009).

$$C = [1 - (\frac{He}{H_{max}} \cdot \frac{He}{H_{max}})] \quad (3)$$

Sete alvos diferentes foram selecionados segundo o caráter de homogeneidade e heterogeneidade aparente (Figura 2). Para cada alvo, 4 amostras com dimensões de 6 x 6 pixels foram definidas. As 28 amostras foram analisadas nas 7 bandas Landsat e no NDVI gerado.

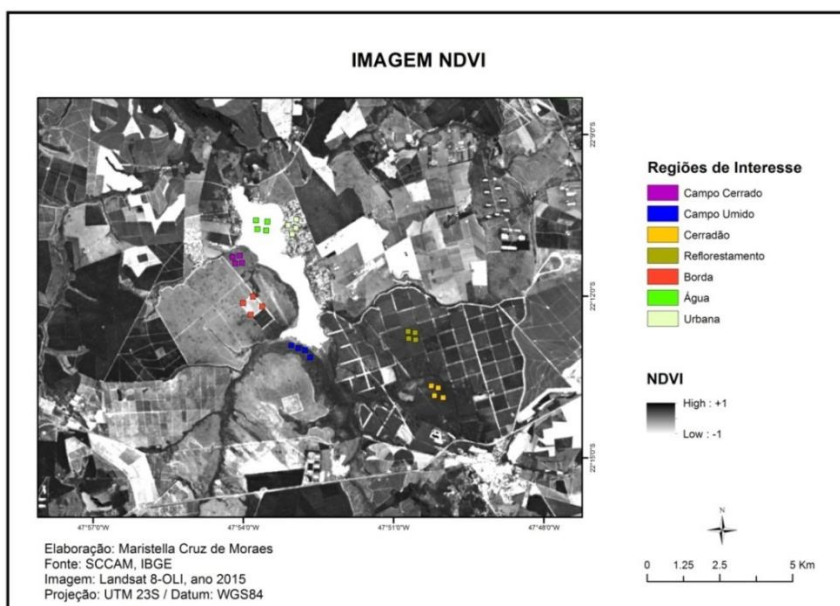


Figura 2. Imagem NDVI gerada a partir da imagem Landsat 8, com as respectivas regiões de interesse extraídas para análise.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta as médias dos valores de complexidade He/Hmax e SDL para as regiões de interesse extraídas. São usadas médias porque para cada banda pode-se obter um valor de complexidade para cada alvo, e como o NDVI não tem bandas (por ser uma imagem resultante) é mais interessante fazer a comparação com as médias.

Tabela 2. Média dos valores de complexidade He/Hmax e SDL para as regiões de interesse.

	OLI8	NDVI	OLI8	NDVI
	He/Hmax	He/Hmax	SDL	SDL
campocerrado.txt	0,982969	0,983243	0,016649	0,016476
campocerrado2.txt	0,977953	0,997092	0,021424	0,002899
campocerrado3.txt	0,979139	0,997092	0,020289	0,002899
campocerrado4.txt	0,986494	0,994369	0,013283	0,0056
campoumido.txt	0,986489	0,992104	0,013299	0,007834
campoumido2.txt	0,975067	0,989859	0,024269	0,010039
campoumido3.txt	0,977995	0,992104	0,021441	0,007834
campoumido4.txt	0,986568	0,987837	0,013179	0,012015
cerradao.txt	0,974776	0,987837	0,024326	0,012015
cerradao2.txt	0,972089	0,997092	0,026748	0,002899
cerradao3.txt	0,97917	0,9814	0,020299	0,018254
cerradao4.txt	0,969184	0,987475	0,029729	0,012368
Reflorest.txt	0,968301	0,966038	0,030505	0,032809
Reflorest2.txt	0,97323	0,994369	0,025933	0,0056
Reflorest3.txt	0,961887	0,994369	0,03618	0,0056
Reflorest4.txt	0,970812	0,987475	0,027739	0,012368
Agua.txt	0,931995	0,976262	0,062794	0,023175
Agua2.txt	0,916183	0,944667	0,075547	0,052271
Agua3.txt	0,916251	0,974245	0,074779	0,025092
Agua4.txt	0,908656	0,991845	0,080874	0,008088
Borda.txt	0,989095	0,983243	0,010771	0,016476
Borda2.txt	0,988836	0,987688	0,010973	0,01216
Borda3.txt	0,987155	0,994369	0,012644	0,0056
Borda4.txt	0,989929	0,991845	0,009965	0,008088
Urbana.txt	0,991859	0,997092	0,00806	0,002899
Urbana2.txt	0,988446	0,989541	0,011409	0,01035
Urbana3.txt	0,989893	0,985347	0,009982	0,014439
Urbana4.txt	0,992062	0,985347	0,007863	0,014439

Para a medida He/Hmax, tons de verde sugerem alvos mais complexos e, conforme aproximam-se do vermelho, menos complexos. Já para a medida SDL, como seu embasamento presume que áreas com heterogeneidade intermediária apresentam maior complexidade, tons de amarelo sugerem alvos mais complexos. Em alvos específicos de vegetação, como nas fitofisionomias de Cerrado, a complexidade do NDVI é mais elevada que a da imagem de reflectância de superfície. Isso decorre do fato de o NDVI sumarizar as principais características da vegetação, o que o torna mais sensível para mensurar a carga informativa variante em uma determinada fitofisionomia, neste caso a de Cerrado. Já em alvos mais heterogêneos, como é o caso da borda e da área urbana, tanto os valores de complexidade da imagem quanto os do NDVI comportam-se de forma similar. Essa alta



complexidade indica a mistura de alvos e, por conseguinte, alta carga informativa. Para um alvo altamente homogêneo como os corpos d'água, o NDVI não apresentou sensibilidade para mensurar grandes variações na carga informativa, visto que é um índice específico para vegetação. Já a complexidade da imagem de reflectância mostrou os menores valores de complexidade, coerente com o arcabouço teórico das métricas.

4 CONCLUSÕES

Os testes revelaram que o NDVI pode ser uma boa alternativa para uso no cálculo de complexidade na busca por padrões vegetacionais, dado seu desempenho satisfatório em sumarizar as principais características da vegetação em solo. As características de normalização dos dados inerentes aos índices, com o pressuposto de aplicação das correções atmosféricas associadas, podem contribuir para robustez na análise de complexidade de imagens multitemporais e de diferentes regiões. Como limitação de uso, há o exemplo dos corpos d'água ou alvos não vegetacionais, dada a inespecificidade do índice para essa finalidade.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida. À equipe de pesquisa e desenvolvimento do Labspec/SCCAM da Embrapa, pela orientação e pelo apoio nas atividades desenvolvidas neste trabalho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

GOMES, D.; VICENTE, L. E.; da SILVA, R. F. B.; CARVALHO, S.; MAÇORANO, R. P.; VICTORIA, D.; 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.

INSTITUTO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estação Ecológica e Experimental Itirapina**. Disponível em: <<http://www.iflorestal.sp.gov.br/Itirapina/>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

LIMA, C. E. S.; GOMES, D. D. M.; LIMA, D. R. M.; DEUS, R. A. S. G.; COSTA, S. O. S. Análise Multitemporal da cobertura vegetal do município de Garanhuns – PE, através dos dados de NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 0163-0170.

MATTOS, S. H. V. L. **Complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado no estado de São Paulo**. 2010. 148 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

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



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015
10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

sensor Thematic Mapper 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. **Ecological Modelling**, v. 220. p. 266-271, 2009.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. Greenbelt: NASA/GSFC, 1974. 371 p. (Type III, Final Report).

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.

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.

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.