

Fenologia e estrutura do dossel de fitofisionomias do Cerrado descritas pelo modelo de mistura linear espectral e índices de vegetação

Antonio Felipe Couto Junior¹
Glauber das Neves²
João Paulo Sena-Souza³
Gabriela Bielefeld Nardoto⁴
Eder de Souza Martins²

¹Universidade de Brasília – UnB
Campus Planaltina - CEP: 73.345-010 Planaltina, DF
E-mail: afcj@unb.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa - CPAC
BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina, DF
E-mail: eder.martins@embrapa.br; glauber.unb@gmail.com

³Universidade de Brasília - UnB
Departamento de Geografia - CEP 70910-900, Brasília, DF
E-mail: jpsenasouza@gmail.com;

⁴ Universidade de Brasília - UnB
Departamento de Ecologia - CEP 70910-900, Brasília, DF
E-mail: gbnardoto@unb.br

Abstract. The Brazilian Cerrado comprises a mosaic of grassland, shrubland, and woodland and plays an important role in fluxes and energy exchange. The understanding of a complex environment has to depict the complexity of this mosaic. In this way, the spectral linear mixture (SLM) assumes a digital image comprises proportions of vegetation, soil and shade. This work aimed to describe intra annual phenology and canopy structure of phytophysionomies of Cerrado using SLM and vegetation indices (VI). This study was performed in the Brasília National Park (BNP) and used Landsat 8 OLI images relative to 2014 rainy-dry transition (May), dry season (July) and dry-rainy transition (October). The description of the phytophysionomies considered vegetation, soil and shade endmembers and vegetation indexes. The assessment of inter annual phenology was performed *t* paired test ($\alpha=0.05$), graph analysis and correlation test ($\alpha=0.05$). Both vegetation fraction and Enhanced Vegetation Index (EVI) were important to evaluate the seasonality of the gallery forest and evidenced the vegetation fraction and EVI are sensitive to structural changes in canopy. The cerrado denso and típico (savanna) and campo limpo (grassland) were better characterized by the combination of the vegetation and soil fractions. The association of SLM and VI offers additional information to the phenology and canopy structure in the Cerrado. This approach should be used to guide field experiments, working as integration platform of orbital and biophysical data.

Palavras-chave: functional mapping, fraction images, seasonality, mapeamento funcional, imagens fração, sazonalidade.

1. Introdução

A distribuição da vegetação e sua fenologia em escala regional e global são fundamentais para a compreensão climática, as influências das ações antrópicas e o funcionamento dos ciclos biogeoquímicos (Myneni et al. 1997, Anderson et al. 2011). As trocas energéticas por meio desses ciclos mostram-se fortemente relacionada com a fenologia da vegetação, principalmente variações de início, encerramento e comprimento das estações de crescimento (Ferreira et al. 2003, Huete et al. 2006). Esses padrões fenológicos também estão relacionados com a produção primária líquida e estabilidade da estrutura da vegetação entre as estações (Morton et al. 2014).

Na região tropical, o Cerrado destaca-se na região central da América do Sul e inserido inteiramente dentro do Brasil, ocupando cerca de 22 % de seu território (Silva e Bates 2002; Ribeiro e Walter 2008). Esse bioma é reconhecido por sua sazonalidade, elevada biodiversidade e heterogeneidade de paisagens naturais em relação às demais savanas tropicais (Silva e Bates 2002). É caracterizado por mosaicos de vegetação campestre, herbáceo-arbustiva e arbórea, distribuída em estratos verticais. Devido a sua localização, o funcionamento desse bioma influencia os demais biomas do Brasil, por isso, a descrição de seus padrões funcionais é essencial para a compreensão de suas dinâmicas, especialmente os fluxos de carbono, água e energia (Miranda et al. 1997).

O mapeamento funcional desse tipo de mosaico de vegetação deve considerar a mistura das diferentes proporções que compõem as fitofisionomias, especialmente a estrutura de seu dossel e sua atividade fotossintética. Nesse sentido, uma abordagem promissora é a análise de mistura linear de dados orbitais, que modela as proporções de vegetação, solo e sombra (Shimabukuro e Smith, 1991, 1995). No Cerrado, Ferreira et al. (2007) empregaram essas premissas para mapear a estrutura geral da cobertura da terra e caracterizar as fitofisionomias presentes no Parque Nacional de Brasília (PNB).

Dessa forma, o presente trabalho teve o objetivo descrever a fenologia interanual e estrutura do dossel de fitofisionomias do Cerrado por meio de mistura linear espectral e índices de vegetação.

2. Área de estudo

O Parque Nacional de Brasília (PNB) está localizado na região noroeste do Distrito Federal (DF), abrangendo uma área de 42.389 hectares (Figura 1), tendo seus limites estabelecidos pela Lei 11.285 de 08 de março de 2006.

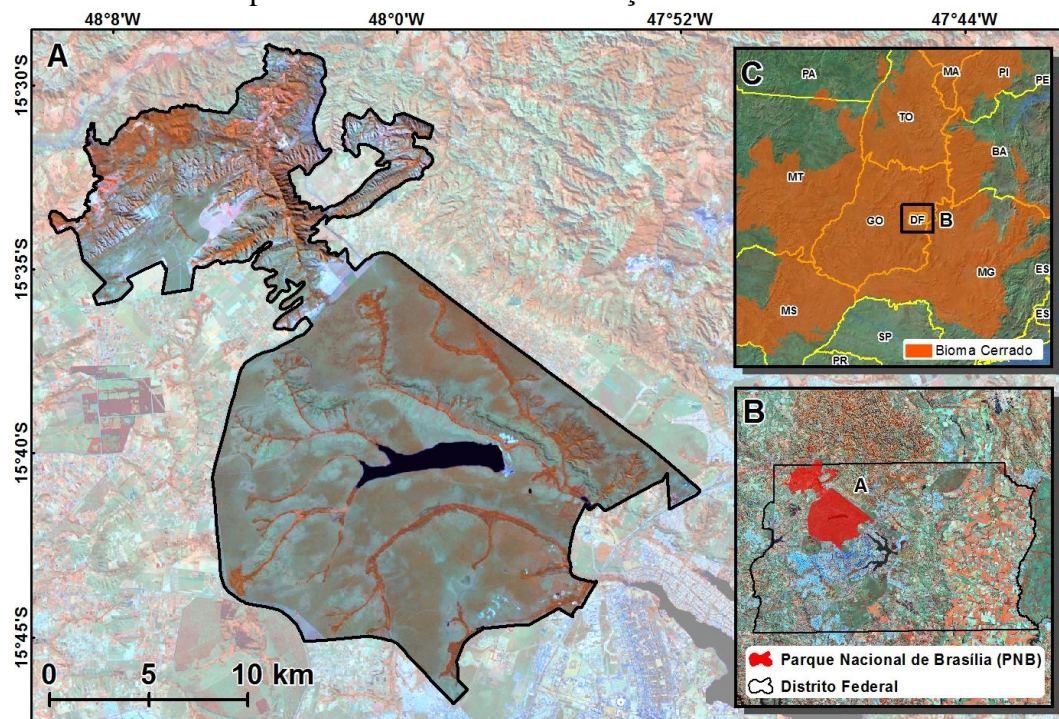


Figura 1 - (A) Detalhe da área do Parque Nacional de Brasília (PNB, limite em preto), imagem Landsat 8 OLI de 29/05/2014, composição colorida R/G/B-5/6/4. (B) Localização do PNB (área vermelha) em relação à área do Distrito Federal (DF), linha preta. (C) O DF na região nuclear do bioma Cerrado.

Essa unidade de conservação está localizado predominantemente sobre rochas mesoproterozóicas, caracterizado por uma sequência deposicional desenvolvida entre

1.350 Ma e 950 Ma, com espessura da ordem de 1.600 metros (Faria, 1995). Na área do PNB são encontradas grandes unidades Ardósia, Metarritmitos, com intercalações de quartzitos (Freitas-Silva e Campos, 1998).

Em relação às características pedológicas, foram descritas 66 unidades de mapeamento, com predominância de Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo e solos hidromórficos (Farias et al., 2008). Esses autores destacam a importância do relevo na distribuição de seus solos, como por exemplo, os Latossolos que são profundos e localizados nas superfícies aplainadas, os Cambissolos associados às rupturas de relevo e os solos hidromórficos encontrados no entalhamento dos talwegues, onde o escoamento hídrico é lento.

A vegetação presente no PNB é caracterizada pelas seguintes formações vegetais (Ribeiro e Walter, 2008): 1) campestre, com a predominância da camada herbácea-arbustiva; 2) savânica, presença de dois estratos (arbóreo e herbáceo), com predominância da camada arbórea, que varia entre 5 e 20 % (cerrado típico) ou entre 20 e 50 % (cerrado denso); 3) formações florestais, representada por matas ripárias associadas aos curso d'água.

3. Materiais e métodos

3.1. Descrição dos dados Landsat 8

A missão de continuidade de dados Landsat teve o intuito de coletar e armazenar imagens de resolução moderada e multiespectrais permitindo a avaliação sazonal da cobertura terrestre global e que sejam suficientemente consistentes em relação às missões anteriores, principalmente em termos de geometria de aquisição, calibração, características de cobertura, espectrais e espaciais, qualidade e disponibilidade de dados que permitam estudos entre décadas da cobertura da terra e mudança da cobertura da terra (Roy et al., 2014).

O pacote desses dados são com 11 bandas espectrais, sendo 7 entre os comprimento de onda do azul e infravermelho de ondas curtas (resolução espacial: 30 m), 1 banda pancromática (resolução espacial: 15 m), 1 de cirrus (resolução espacial: 30 m) e 2 do infravermelho termal (resolução espacial: 100m) (Roy et al., 2014), conforme a Tabela 1:

Tabela 1 - Características espectrais e espaciais do Landsat 8 OLI e TIRS. (Adaptado de Roy et al., 2014)

Descrição da banda	Comprimento de onda (μm)
Banda 1 – azul (30 m)	0,43-0,45
Banda 2 – azul (30 m)	0,45-0,51
Banda 3 – verde (30 m)	0,53-0,59
Banda 4 – vermelho (30 m)	0,64-0,67
Banda 5 – infravermelho próximo (30 m)	0,85-0,88
Banda 6 – infravermelho de ondas curtas (30 m)	1,57-1,65
Banda 7 – infravermelho de ondas curtas (30 m)	2,11-2,29
Banda 8 – pancromática (15 m)	0,5-0,68
Banda 9 – cirrus (30 m)	1,36-1,38
Banda 10 – infravermelho termal (100 m)	10,60-11,19
Banda 11 – infravermelho termal (100 m)	11,50-12,51

As imagens obtidas pelo satélite Landsat podem ser obtidas pelo sítio eletrônico do *United States Geological Survey* (USGS – <http://earthexplorer.usgs.gov/>). Essa instituição de pesquisa disponibiliza o Arquivo Landsat (*Landsat Archive*, em inglês), onde estão disponíveis gratuitamente todas as imagens desse programa de monitoramento da superfície terrestre de larga escala e média resolução. Dentro desse arquivo também estão disponíveis as imagens adquiridas pelo satélite Landsat 8, com

uma resolução temporal de cerca de 16 dias, desde abril de 2013. A periodicidade dessas imagens permite a geração de informações referentes à cobertura da terra, especialmente, aquelas referentes às fases fenológicas.

3.2. Preprocessamento e conversão dos dados Landsat 8 OLI para reflectância

No intuito de descrever a fenologia da vegetação natural do Cerrado do PNB, o presente estudo utilizou a cena referente à órbita 221 e ao ponto 071, de três datas correspondentes às fases fenológicas (Tabela 2).

Tabela 2 – Datas das imagens e a respectiva descrição de suas fases fenológicas.

Data	Descrição da fase
29/05/2014	Transição do período chuvoso para o seco
16/07/2014	Período seco
04/10/2014	Transição do período seco para o chuvoso

Foram utilizadas as bandas espectrais referentes ao visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, abrangendo o intervalo 0,45 μm a 2,29 μm . Essas imagens são disponibilizadas em número digital e foram convertidas para radiância. Essa transformação é necessária para o emprego do algoritmo FLAASH, que utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN (Adler-Golden, 1999; Berk et al., 2002). Com os dados de entrada em radiância, foi executado o modelo considerando a altitude média de 1.000 metros para a referida cena (221/071). O modelo atmosférico empregado foi o Tropical e o de aerossol, o Rural, sem a recuperação pela água e visibilidade de 40 km. Foi utilizado o modelo de aerossol Kaufmann-Tanré, cujo canal inferior foi de 660 nm e, o superior, 2.100 nm.

3.3. Proporções de vegetação, atividade fotossintética e estrutura do dossel

A cobertura vegetal do Cerrado é caracterizada por um mosaico de formações campestres, savânica e florestal, registradas nos dados orbitais com diferentes proporções de vegetação, em pixels misturados. Essa misturas podem ser representadas pelo modelo de mistura linear espectral, com os componentes: vegetação, solo e sombra (Shimabukuro e Smith, 1995). Devido à estrutura do Cerrado, o componente sombra deve ser substituído pela água, que também apresenta baixa reflectância (Ferreira et al. 2007). A geração do modelo linear espectral considerou os membros finais encontrados na própria imagem, considerando a mata galeria, solo exposto e sombra (água). As assinaturas espectrais desses membros finais foram gerados por meio da média aritmética de 10 amostras de cada um das três classes (Figura 2). A coleta dessas amostras foi orientada pelo mapeamento do PNB realizado por Ferreira et al. (2007).

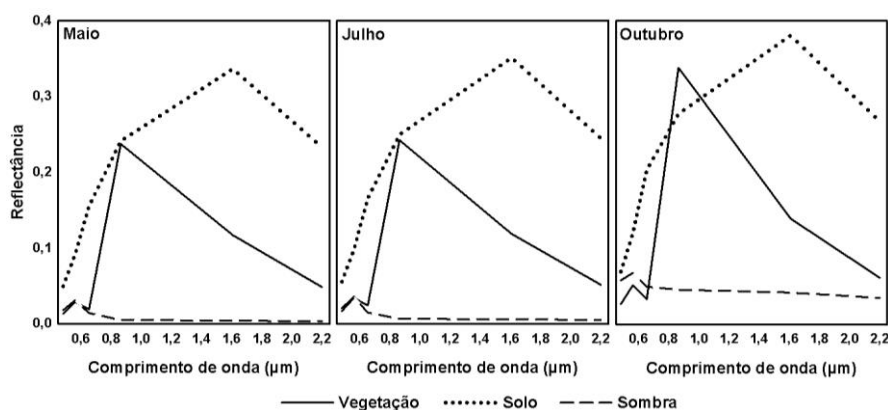


Figura 2 – Membros finais (vegetação, solo e sombra [água]) gerados pela média aritmética de 10 amostras das imagens do sensor Landsat OLI, cena 221/071: 29/05/2014 (Maio), 16/07/2014 (Julho) e 04/10/2014 (Outubro).

Para a avaliação da proporção entre vegetação e solo, as imagens fração foram normalizadas para valores percentuais (0 a 100%), pelo máximo-mínimo equalizado (Equação 1).

$$X_{norm} = 100 \cdot \left(\frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) \quad (1)$$

Nessa formulação (Equação 1), o X_{norm} é o valor do pixel de saída das imagens fração, o X é o valor original das imagens fração, X_{min} e X_{max} são os valores mínimos e máximos das respectivas imagens das frações vegetação e solo.

A descrição dos padrões da atividade fotossintética e da estrutura do dossel foi realizada por meio de dois índices de vegetação (Tabela 3): *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI).

Tabela 3 – Índices de vegetação, suas formulações, as principais aplicações e os autores que os desenvolveram. Legenda: ρ_{Blue} = reflectância comprimento de onda do azul; ρ_{RED} = reflectância comprimento de onda do vermelho; ρ_{NIR} = reflectância comprimento de onda do infravermelho próximo.

Índice de Vegetação	Fórmula	Aplicação	Autor
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$	Crescimento da vegetação (fotossíntese)	Rouse et al. (1973)
Enhanced Vegetation Index (EVI)	$2,5 \cdot \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 6 \cdot \rho_{RED} + 7,5 \cdot \rho_{Blue} + 1}$	Área com alta biomassa (dossel)	Huete et al. (1997)

3.4. Fenologia das fitofisionomias por imagens fração e índices de vegetação

Visando descrever o comportamento sazonal da vegetação do PNB, foram coletadas, nas próprias imagens, 10 amostras de proporção de vegetação e índices de vegetação referentes às fitofisionomias representativas: mata galeria, cerrado denso, cerrado típico e campo limpo. Essa coleta foi orientada pelo mapeamento de Ferreira et al. (2007). Foi empregado o teste t aos pares em relação às fases estudadas neste trabalho: transição chuva-seca (CS), seca (S) e transição seca-chuva (SC). Esse teste considerou um nível de significância de 5 % ($\alpha=0,05$), para t bicaudal, considerando as seguintes hipóteses:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

A hipótese nula partiu do pressuposto que as médias das variáveis avaliadas (proporção de vegetação, solo, NDVI e EVI) são iguais entre as estações. Por outro lado, a da hipótese alternativa indicou que existe variação significativa das variáveis entre as estações. Além do valor de t (t -value), a descrição da fenologia das fitofisionomias também utilizou o p -value. No intuito de evidenciar a relevância em relação à sazonalidade dessas fitofisionomias, foram gerados os coeficientes de correlação de Pearson, com nível de significância $\alpha=0,05$. Esse teste proporcionou identificar quais as variáveis mais explicativas para os estudos fenológicos do Cerrado.

4. Resultados e Discussão

A mistura linear espectral (MLE) evidenciou as feições de água (azul), solo exposto (verde) e as matas galerias (vermelho), em todas as datas avaliadas (Figura 3). As formações savânicas podem ser visualizadas como mistura das cores rosa e verde, representando os dois estratos característicos dessa fitofisionomia: arbóreo (rosa) e herbáceo-arbustivo (mistura de rosa e verde). O cerrado típico manteve suas proporções de vegetação ao longo do período seco (MLE – Julho – Figura 3 e Figura 4). A manutenção das proporções de vegetação ao longo da seca é mais uma evidência da

manutenção da estrutura desta fitofisionomia ao longo deste período, que acaba integrando as diferentes estratégias de manutenção das folhas por parte da cobertura arbórea e por outro lado a secagem das folhas por parte da estrutura mais herbáceo-graminosa.

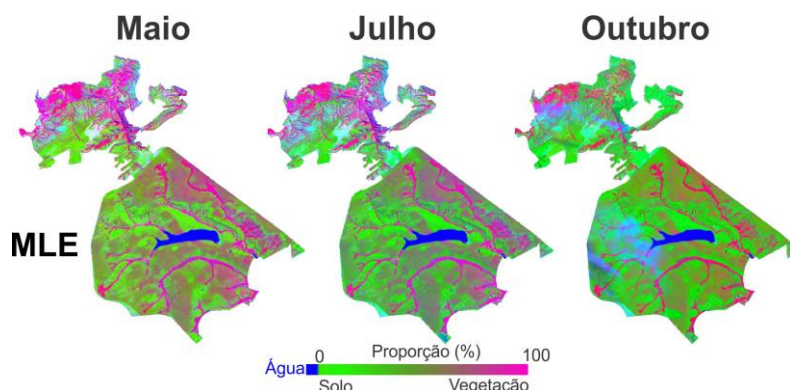


Figura 3 – Comportamento da cobertura vegetal em relação representado pela mistura linear espectral (MLE – composição (R) vegetação (G) solo (B) sombra), referentes à transição entre o período chuvoso e seco (Maio), ao período seco (Julho) e à transição entre o período seco e chuvoso (Outubro).

Em relação aos índices de vegetação, as matas galerias foram marcadas por tons mais claros, representando um aumento no contraste em relação às demais fitofisionomias ao longo das estações. Esse contraste está relacionado com a redução da atividade fotossintética (NDVI) do período de transição para o período seco (Maio) até a transição para o período chuvoso (Outubro). Essa variação dos valores de NDVI apresentou um gradiente decrescente (Figura 4): campo limpo > cerrado típico > cerrado denso > mata galeria.

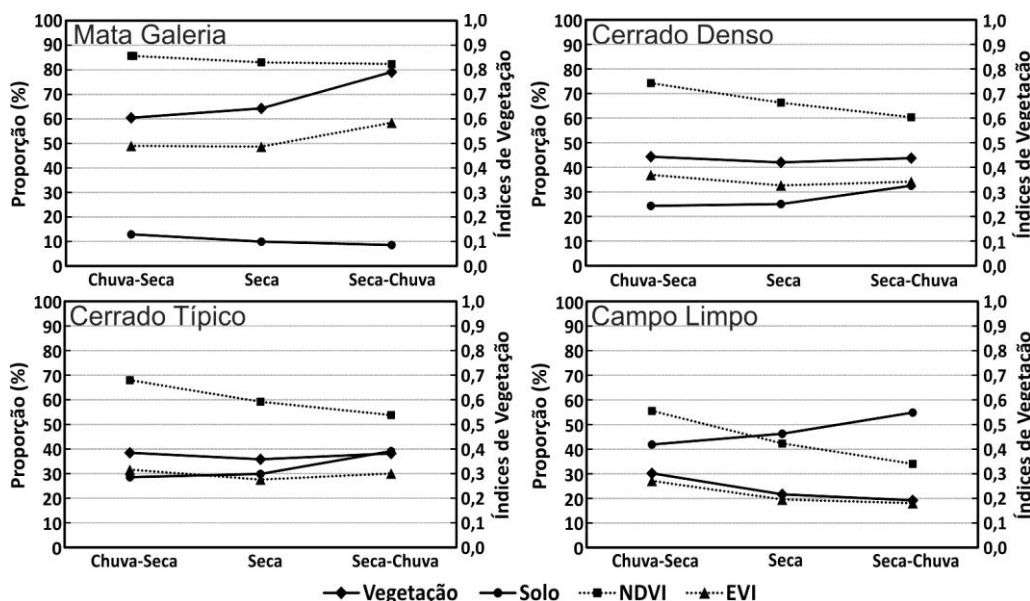


Figura 4 - Comportamento médio derivado do modelo de mistura linear (fração vegetação e fração solo) e índices de vegetação, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI), referentes à transição entre o período chuvoso e seco (Maio), período seco (Julho) e transição entre o período seco e chuvoso (Outubro).

O campo limpo ($p \leq 0,002$) apresentou médias significativamente diferentes em todas as fases e todas as variáveis avaliadas (Tabela 4). Essa fitofisionomia mantém seu sistema subterrâneo ativo em condições climáticas secas, favorecendo a rebrota e o florescimento rápido, mesmo após a remoção parcial ou total (Filgueras 2002; Appezato-da-Gloria e Cury 2011).

Tabela 4 – Resultados do teste t ($\alpha = 0,05$) em pares em relação às fases estudadas para a fração vegetação, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI)
 Legenda: CS = transição entre o período chuvoso e seco (Maio); S = período seco (Julho); SC = transição entre o período seco e chuvoso (Outubro).

Fitofisionomia	Par	Fração Vegetação		Fração Solo		NDVI		EVI	
		t-value	p-value	t-value	p-value	t-value	p-value	t-value	p-value
Mata galeria	CS_S	-3,780	0,004	5,600	0,000	5,530	0,000	0,390	0,702
	CS_SC	-3,900	0,004	1,980	0,079	1,580	0,149	-2,750	0,023
	S_SC	-2,850	0,019	0,570	0,584	0,290	0,776	-2,740	0,023
Cerrado denso	CS_S	10,630	0,000	-4,120	0,003	22,920	0,000	23,220	0,000
	CS_SC	0,470	0,651	-13,210	0,000	18,970	0,000	3,090	0,013
	S_SC	-1,460	0,179	-12,050	0,000	7,160	0,000	-1,640	0,135
Cerrado típico	CS_S	7,260	0,000	-4,300	0,002	18,420	0,000	14,430	0,000
	CS_SC	0,260	0,803	-13,230	0,000	15,810	0,000	2,320	0,045
	S_SC	-3,140	0,012	-16,380	0,000	8,710	0,000	-5,180	0,001
Campo limpo	CS_S	18,450	0,000	-16,410	0,000	62,230	0,000	31,200	0,000
	CS_SC	17,510	0,000	-15,080	0,000	25,530	0,000	18,990	0,000
	S_SC	4,210	0,002	-8,160	0,000	10,930	0,000	5,070	0,001

Em relação aos valores médios da fração vegetação entre as transição da chuva-seca (CS) e seca-chuva (SC), apenas as formações savânicas apresentaram manutenção em seu padrão médio (Tabela 4), sendo mais pronunciado no cerrado típico ($p=0,803$) do que no cerrado denso ($p=0,651$). Por outro lado, apresentaram médias significativamente diferente entre as estações, evidenciando a redução da cobertura do estrato inferior (arbustivo) entre as estações. A atividade fotossintética da mata galeria (NDVI) foi mantida quando envolveram as transições do período seco para o chuvoso (SC), especialmente a saída da seca S-SC ($p=0,776$). A estrutura do dossel (EVI) foi mantida apenas na mata galeria na passagem para a seca (CS_S: $p=0,702$) e no cerrado denso, na saída do período seco (S_SC: $p=0,135$).

A correlação entre a fração vegetação e o EVI (0,984) foi muito importantes para a descrição sazonal da mata galeria (Tabela 5), indicando a sensibilidade dessa combinação às mudanças do dossel (Anderson et al. 2011). A fração vegetação apresentou relação positiva em relação ao EVI (0,907323), mas não em relação do NDVI, no cerrado denso, devido a estrutura de seu dossel e a presença entre 20 e 50 % de árvores (Ribeiro e Walter 2008).

Tabela 5 – Coeficientes de correlação de Pearson entre a fração vegetação (Veg), fração solo (Solo) e os índices de vegetação (NDVI e EVI), onde as correlações marcadas são significativas a $p<0,05$.

		Correlações					
		Veg-Solo	Veg-NDVI	Veg-EVI	Solo-NDVI	Solo-EVI	NDVI-EVI
Mata galeria	R	-0,808	0,241	0,984	-0,571	-0,787	0,342
	p-value	0,000	0,199	0,000	0,001	0,000	0,064
Cerrado denso	R	-0,193	0,326	0,907	-0,865	-0,348	0,617
	p-value	0,308	0,079	0,000	0,000	0,059	0,000
Cerrado típico	R	-0,229	0,369	0,888	-0,863	-0,229	0,565
	p-value	0,225	0,045	0,000	0,000	0,223	0,001
Campo limpo	R	-0,834	0,950	0,975	-0,865	-0,740	0,955
	p-value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

O cerrado típico apresentou correlação positivas significativas para todas as variáveis, devido à presença de árvores inferior a 20 %. Em ambas as formações savânicas (denso e típico) a fração solo mostrou-se não correlacionada com a vegetação, evidenciando a presença dos estratos arbóreo e arbustivo. O campo limpo possui correlação significativa ($p=0,000$) para todas as combinações, sendo correlação negativa entre a fração vegetação e solo (-0,834), indicando a influência do solo para a compreensão do funcionamento dessa fitofisionomia que possui menos de até 1 % de cobertura arbórea.

5. Conclusão

O uso conjunto das imagens fração e dos índices de vegetação apresentam-se como fonte de informação adicional para a compreensão da fenologia e estrutura do dossel das fitofisionomias Cerrado. A mata galeria foi mais bem caracterizada pela combinação entre a fração vegetação e EVI, destacando sua sensibilidade às mudanças da estrutura do dossel. As formações savânicas (cerrado denso e típico) foram bem caracterizados pela combinação entre as frações vegetação e solo, devido à presença dos estratos arbóreo e arbustivo, diferenciando apenas na transição entre o período seco e chuvoso, quando o denso não apresentou variação em sua fração vegetação. O campo limpo foi caracterizado pela combinação entre as frações vegetação e solo, mesmo com variações significativas entre os períodos. Essa abordagem devem ser utilizadas para a orientação de coletas de campo, integrando os dados orbitais e biofísicos.

Referências Bibliográficas

- Adler-Golden, S.M. et al. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. **SPIE Proc. Imaging Spectrometry**, v. 3753, p. 61-69, 1999.
- Anderson et al. Fraction images for monitoring intra-annual phenology of different vegetation physiognomies in Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, 32:2, 387-408, 2011.
- Appenzato-daGloria, B.; Cury, G. Morpho-anatomical features fo underground systems in six Asteraceae species from Brazilian Cerrado. **Annals of the Brazilian Academy of Science**, 83:3, 981-991, 2011.
- Berk, A.G.P. et al. Exploiting MODTRAN radiation transport atmospheric correction: the FLAASH algorithm. **SPIE Proceeding, Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research**, p. 798-803, 2002.
- Faria, A. **Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança – Alto Paraíso de Goiás**. 1995. 201 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília. 2008.
- Farias, M.F.R. et al. **Levantamento de solos do parque Nacional de Brasília: escala 1:50.000. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados**, 2008. 20 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 215).
- Ferreira, L.G. et al. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: an analysis within the Large-Scale Biosphere-Atmosphere experiment in Amazônia (LBA). **Remote Sensing of Environment**, 87, 534-550, 2003.
- Ferreira, M.E. et al. Spectral linear mixture modelling approaches for land cover mapping of tropical savanna areas in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, 28:2, 413-429, 2007.
- Filgueiras T.S. Herbaceous plant communities. In: Oliveira P.S.; Marquis R.J. (Eds), **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**, Columbia: Columbia University Press, 2002, cap. 7, p. 121–139.
- Freitas Silva, F.H.; Campos, J.E. **Geologia do Distrito Federal**, In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, J.E.G. Campos e F.H. Freitas Silva. Sematec, GDF. 1998, 1-45p.
- Huete A.R. et al. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 59, 440-451, 1997.
- Huete, A.R. et al. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, 33, L06405, doi:10.1029/2005GL025583, 2006.
- Miranda A.C. et al. Fluxes of carbono, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell and Environment**, 20, 315-328, 1997.
- Morton, D.C. et al. Amazon forests maintain consistent canopy structure and greenness during the dry season. **Nature**. Doi:10.1038/nature13006. 2014
- Myneni, R.B. et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. **Nature**, 386, 698-702, 1997.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M. et al. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. Cap. 6, p.151-212.
- Roy, D.P. et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote sensing of Environment**, 145, 154-172, 2014.
- Silva, J. M. C.; Bates, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot. **Bioscience**, 52, 225-233, 2002.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 29, pp. 16–20, 1991.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. Fraction images derived from Landsat TM and MSS data for monitoring reforested areas. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 21, pp. 67–74, 1995.