

Desempenho das imagens do satélite sino-brasileiro de recursos terrestres – CBERS - na discriminação de áreas de Campo Limpo Úmido

Andreia Maria Silva França^{1,2,3}
Edson Eyji Sano³

¹ Universidade de Brasília - UNB/IG
Campus Universitário Darcy Ribeiro – CEP: 70910-900 – Brasília - DF, Brasil

² Instituto Federal de Brasília – IFB/Samambaia
SEPN 504, Bl. A, 3º andar – Ed. Ana Carolina – CEP: 70730-521 – Brasília – DF, Brasil
andreia.franca@ifb.edu.br

³ Embrapa Cerrados
Caixa Postal 08223 – CEP: 73301-970 Planaltina - DF, Brasil
sano@cpac.embrapa.br

Abstract. Wetlands are among the most important ecosystems on the earth. Despite the importance of these ecosystems, there are few studies and data regarding their location, extent and other basic characteristics. In this study, multispectral and multitemporal data as well as the fusion of these images were evaluated in order to discriminate moist grassland, a typical wetland phytophysiology of Cerrado. This research was based on areas located at Gama – Cabeça de Veado, an environmental protection area at Brasília-DF, Brazil. Kruskal-Wallis test demonstrated significant statistical difference between areas of moist grassland and areas related to dryland phytophysiology for all bands evaluated. According to discriminant analysis, only few bands best discriminate between areas of moist grassland and others observed phytophysiology. The t test demonstrated that multitemporal approaches are still a good option in this sort of research.

Palavras-chave: remote sensing, wetlands, moist grassland, sensoriamento remoto, áreas úmidas, campo limpo úmido.

1. Introdução

As áreas úmidas estão entre os mais importantes ecossistemas naturais do planeta e são cientificamente reconhecidas pela sua capacidade de manter o regime hídrico dos rios, perenizar os cursos d'água e armazenar carbono (Dugan, 1990; Yavitt, 1994). Apesar disso, tais áreas encontram-se entre as mais ameaçadas pelas intervenções antrópicas. O desmatamento e os usos urbanos e rurais da água nas bacias hidrográficas a que pertencem causam o rebaixamento do lençol freático, mesmo quando se encontram em unidades de preservação (Keddy, 2000).

No Cerrado, as áreas úmidas podem ocorrer em extensas planícies de grandes rios como o Araguaia, como encaves nos fundos de vales, ou associados a cursos d'água, em áreas restritas, próximas, por exemplo, a vales e chapadas. A vegetação que ocorre nessas áreas restritas é denominada de Campo Limpo Úmido (Eiten, 1993; Martini, 2006; Ribeiro e Walter, 2008).

Apesar da importância desses ecossistemas, são escassos os estudos e dados a respeito da localização, extensão e outras características básicas como seu hidroperíodo, a profundidade do nível freático e inventários sobre as espécies do estrato herbáceo (Melack e Hess, 2004). O estudo das áreas úmidas é desafiante, devido à diversidade de tipos/classes, à dinâmica sazonal e principalmente às dificuldades de acesso que limitam o conhecimento sobre tais áreas, o que faz do sensoriamento remoto uma forma viável para sua caracterização e monitoramento (Dugan, 1990; Keddy, 2000; Melack e Hess, 2004).

Os dados de sensoriamento remoto em várias resoluções temporais, espaciais e espectrais, inclusive com dados disponibilizados gratuitamente, como por exemplo, os sistemas sensores

CCD (Charge Coupled Device) e HRC (High Resolution Camera) dos satélites sino-brasileiro de recursos terrestres CBERS-2 e CBERS-2B, podem fornecer subsídios para responder a questões como: 1) Qual a extensão das áreas úmidas?; 2) Qual o tipo de área úmida?; 3) Qual o tipo de cobertura da paisagem na área úmida?; e 4) Existe vegetação emergente e submergente na área úmida?.

É nesse contexto que se insere esse trabalho que tem como objetivo principal, analisar o desempenho de imagens do satélite CBERS na delimitação de áreas de Campo Limpo Úmido.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo – APA Gama - Cabeça de Veado

As áreas selecionadas para o desenvolvimento desta pesquisa localizam-se em Brasília/DF na Área de Proteção Ambiental (APA) Gama – Cabeça de Veado (Figura 1). Nesta área de proteção ambiental, as áreas úmidas ocorrem bordeando as Matas de Galeria, em solos Hidromórficos, Gleis e Orgânicos Turfosos e constituem um ecossistema de grande relevância, sendo considerado como bacia coletora das águas absorvidas pelos platôs adjacentes.

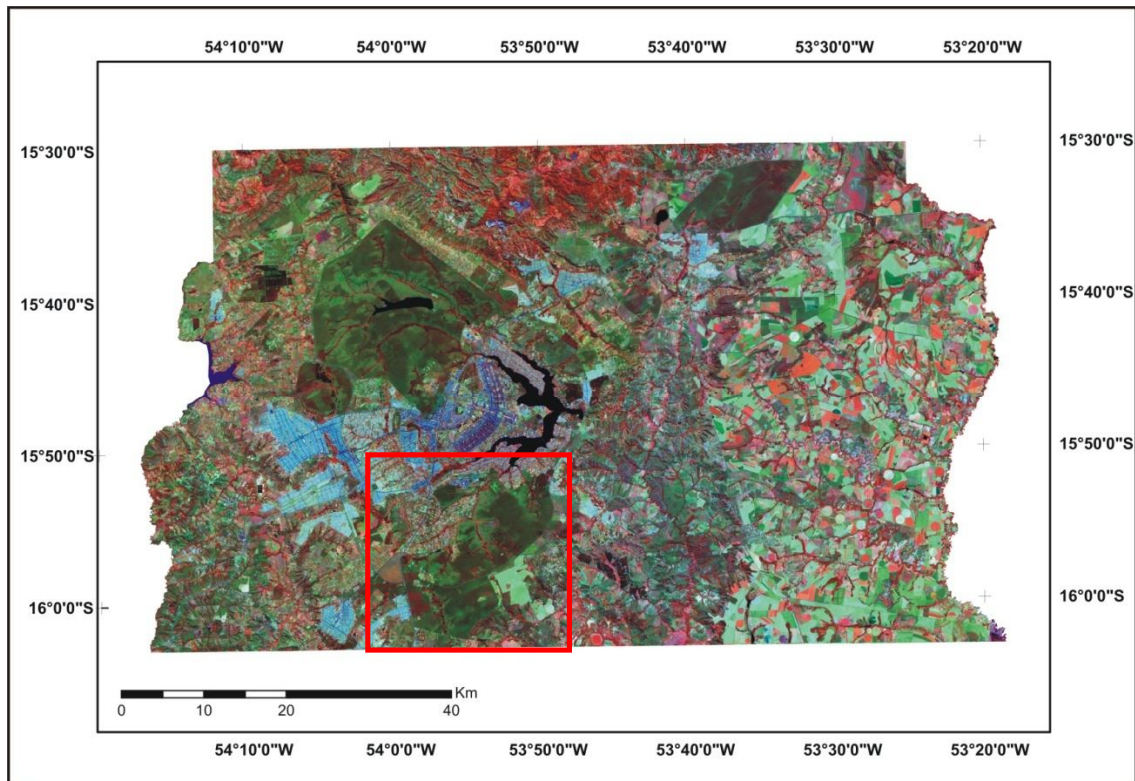


Figura 1. Localização da área de estudo – Área de Proteção Ambiental (APA) Gama – Cabeça de Veado. A imagem corresponde a uma composição colorida RGB/453 do Landsat TM.

2.2 Dados de Sensoriamento Remoto

Para a realização desta pesquisa, foram utilizadas duas cenas do sensor CBERS-2/CCD (épocas seca e úmida), duas cenas do sensor CBERS-2B/CCD (épocas seca e úmida) e uma cena do sensor CBERS-2B/HRC (época seca) (Tabela 1).

Tabela 1: Características das imagens utilizadas neste estudo.

Satélite/Sensor	Bandas Espectrais (μm)	Resolução Espacial (m)	Data/Época
CBERS-2/CCD	0,52 - 0,59 (Banda 3)	20	06/09/2006 – Época Seca
	0,63 - 0,69 (Banda 4)		02/04/2007 – Época Úmida
	0,77 - 0,89 (Banda 5)		
CBERS-2B/CCD	0,52 - 0,59 (Banda 3)	20	13/10/2008 – Época Seca
	0,63 - 0,69 (Banda 4)		05/06/2008 – Época Úmida
	0,77 - 0,89 (Banda 5)		
CBERS-2B/HRC	0,50 - 0,80 (PAN)	2,5	05/06/2008 – Época Úmida

Todas as imagens foram registradas para o sistema de projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator), datum horizontal WGS84 e fuso 23. O registro imagem-imagem foi realizado através de uma cena ortorretificada (geocover) do Landsat adquirida no servidor de imagens da Universidade de Maryland <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/>>.

2.3 Fusão de imagens

O resultado da fusão para as imagens desses sensores obteve um melhor resultado utilizando a restauração das imagens CCD com resolução espacial de 10 metros, ao invés da resolução original de 20 metros. Para tanto, as imagens CBERS-2B/CCD datadas de 13/10/2008 e 05/06/2008 foram restauradas no *software* SPRING para diminuir a diferença de resolução espacial entre a imagem CCD e HRC. A restauração da imagem reduz o efeito de borramento, obtendo-se uma imagem realçada de maior resolução espacial (Fonseca, 1988).

Foi aplicada, nas imagens CBERS-2B/CCD e CBERS-2B/HRC, a técnica de fusão Gram-Schmidt, disponível no *software* ENVI 4.0. Este processamento resultou em duas imagens fusionadas com resolução espacial de 2,7 m, uma representando época seca e a outra, a época úmida. Tal processamento corresponde a uma operação vetorial com o objetivo de tornar os vetores ortogonais.

A fusão inicia-se com a simulação de uma banda pancromática a partir das bandas multiespectrais de baixa resolução espacial. Em seqüência, uma transformação de Gram-Schmidt é aplicada à banda pancromática simulada e às bandas multiespectrais, onde a pancromática simulada é empregada como a primeira banda. Então, a primeira banda Gram-Schmidt é trocada pela banda pancromática de alta resolução e uma transformação inversa é aplicada para formar a imagem sintética de saída (RSI, 2005).

2.4 Amostragem de pixels e testes estatísticos

Para avaliar as imagens na delimitação de áreas de Campo Limpo Úmido do Cerrado, foi utilizado um conjunto de aproximadamente 120 amostras de pixels, assim distribuídos: 60 em área de Campo Limpo Úmido; 30 em área de Campo Limpo; e 30 em área de Campo Sujo. Para tanto, foi gerada uma grade, a partir da linguagem LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico) disponível no *software* SPRING, das amostras. Posteriormente, essa grade foi exportada como shapefile para o ENVI 4.0, onde foram calculados os valores médios para os pixels via ROI (regiões de interesse).

Para as análises estatísticas utilizaram-se os seguintes testes: teste t; Kruskal-Wallis e análise discriminante.

A estatística t é usada para traduzir uma diferença média amostral em unidades de erro padrão ($\sigma_{\bar{x}}$) da diferença, obtida da equação:

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sigma_{\overline{DIFX}}} \quad (1)$$

Onde: \overline{X}_1 = média da primeira amostra; \overline{X}_2 = média da segunda amostra; e $\sigma_{\overline{DIFX}}$ = erro padrão da diferença.

O teste de Kruskal-Wallis é um teste de soma de postos que serve para testar a suposição de que k amostras aleatórias independentes provêm de populações idênticas e em particular a hipótese nula de que $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$, contra a hipótese alternativa de que essas médias não são todas iguais. Este teste é uma alternativa não-paramétrica à análise que se faz por recorrência à estatística F, e pressupõe apenas que as distribuições dos grupos são contínuas e apenas diferem na localização (Freund, 2000). Para se aplicar o teste de Kruskal-Wallis, deve-se calcular a estatística H como se segue:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1) \quad (2)$$

Onde: n = número total de dados; n_i = valores da $i^{\text{ésima}}$ amostra; e R_i = soma dos postos atribuídos.

Análise discriminante é uma técnica estatística apropriada quando a variável dependente é categórica (nominal ou não-métrica) e as variáveis independentes são métricas (Hair Jr. et al., 2009). Em muitos casos, a variável dependente consiste em dois grupos ou classificações, por exemplo, seco versus úmido. Quando duas classificações estão envolvidas, a técnica é chamada de análise discriminante de dois grupos. Esta análise testa a hipótese de que as médias de grupo de um conjunto de variáveis independentes para dois ou mais grupos são iguais (Hair Jr. et al., 2009).

A variável estatística para uma análise discriminante, também conhecida como a função discriminante, é determinada a partir da seguinte função:

$$Z_{jk} = a + W_1 X_{1k} + W_2 X_{2k} + \dots + W_n X_{nk} \quad (3)$$

Onde: Z_{ij} = escore Z discriminante da função discriminante j para o objeto k ; a = intercepto; W_i = peso discriminante para a variável independente i ; e X_{ik} = variável independente i para o objeto k .

3. Resultados e Discussões

As Figuras 2 (A) e (B) ilustram as imagens utilizadas para a realização da fusão, e na Figura 2 (C), é apresentada o resultado da imagem fusionada. Pode-se observar que, a imagem fusionada apresenta uma riqueza de detalhes, integrando a resolução espacial da banda pancromática com a resolução espectral das bandas espectrais, produzindo uma imagem colorida que combina as duas características.

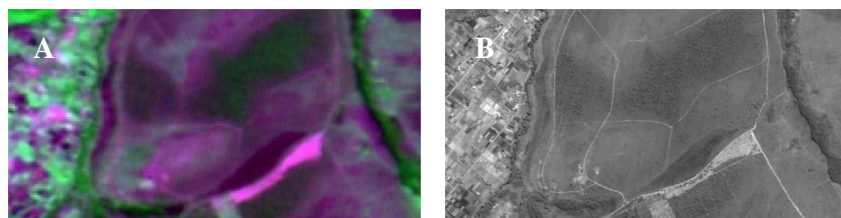




Figura 2: (A) Imagem CBERS-2/CCD, com 20 m de resolução espacial; (B) Imagem CBERS-2B/HRC, com 2,7 m de resolução espacial; e (C) Resultado da fusão Gram-Schmidt, com 2,7 m de resolução espacial.

Para verificar se ocorrem diferenças significativas entre as amostras de níveis digitais das áreas de Campo Limpo Úmido e às fitofisionomias associadas a áreas secas - Campo Limpo e Campo Sujo - para as diferentes imagens de satélites, foi aplicado o Teste de Kruskal-Wallis que possui a seguinte hipótese:

$$H_0: M_1 = M_2 = \dots = M_k$$

A hipótese nula estabeleceu que as medianas dos níveis digitais das áreas de Campo Limpo Úmido não variam em relação aos das áreas secas.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados dos Testes Kruskal-Wallis realizados no software SPSS para as bandas espectrais das imagens CBERS-2/CCD, CBERS-2B/HRC e imagens fusionadas pela técnica de fusão Gram-Schmidt, respectivamente. Para valores obtidos nos *p-value* menores que o nível de significância de 5% ($p\text{-value} \leq \alpha$) estará na área de rejeição da hipótese nula. Os resultados do teste Kruskal-Wallis indicaram que a um nível de significância de 5%, pelo menos para uma das áreas analisadas – de Campo Limpo Úmido ou de áreas associadas à fitofisionomias secas - as medianas dos níveis digitais possuem diferença estatística significativa.

Tabela 2: Teste Kruskal-Wallis para valores médios de níveis digitais de áreas de Campo Limpo Úmido e áreas secas para as imagens CBERS2/CCD.

Parâmetros	CBERS2/CCD – Época Úmida			CBERS2/CCD - Época Seca		
	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Graus de Liberdade	3	3	3	3	3	3
<i>p-value</i>	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Hipótese H ₀	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita

Tabela 3: Teste Kruskal-Wallis para valores médios de níveis digitais de áreas de Campo Limpo Úmido e áreas secas para as imagens CBERS2/HRC.

Parâmetros	CBERS2/HRC – Época Úmida	
	Banda Pancromática	
Graus de Liberdade	3	
<i>p-value</i>	,000	
Hipótese H ₀	Rejeita	

Tabela 4: Teste Kruskal-Wallis para valores médios de níveis digitais de áreas de Campo Limpo Úmido e áreas secas para as imagens fusionadas.

Parâmetros	Imagem Fusionada – Época Úmida			Imagem Fusionada – Época Seca		
	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Graus de Liberdade	3	3	3	3	3	3
<i>p-value</i>	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Hipótese H ₀	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita

A análise discriminante avaliou qual das imagens analisadas melhor discriminou as áreas de Campo Limpo Úmido. A Tabela 5 demonstra se as classes de Campo Limpo Úmido diferem estatisticamente das áreas de fitofisionomias secas em cada uma das variáveis predictoras (níveis digitais das imagens) usadas na análise discriminante.

Tabela 5: Análise discriminante para valores médios de níveis digitais de áreas de Campo Limpo Úmido e áreas secas para as imagens avaliadas nesse estudo.

Imagens	Épocas	Bandas	<i>p-value</i>
CBERS2/CCD	Úmida	3	,000
CBERS2/CCD	Úmida	4	,734
CBERS2/CCD	Úmida	2	,000
CBERS2/CCD	Seca	3	,004
CBERS2/CCD	Seca	4	,222
CBERS2/CCD	Seca	2	,000
Fusionada	Úmida	4	,000
Fusionada	Úmida	3	,431
Fusionada	Úmida	2	,011

Fusionada	Seca	3	,991
Fusionada	Seca	4	,000
Fusionada	Seca	2	,176
CBERS2B/HRC	Úmida	PAN	,001

As imagens que possuem *p-value* maior que o nível de significância de 0,05 ($\alpha = 5\%$) não discriminam entre os níveis digitais das áreas de Campo Limpo Úmido e de áreas secas. Portanto, discriminam as áreas as bandas 2 e 3 das imagens CCD – tanto para a época úmida quanto para a época seca –, as bandas 2 e 4 das imagem fusionada que representam a época úmida, a banda 4 da imagem fusionada para época seca e a banda pancromática do sensor HRC.

Para avaliar se ocorrem diferenças entre as amostras de níveis digitais referentes às áreas de Campo Limpo Úmido para diferentes datas de aquisição das imagens CCD e fusão Gram-Schmidt – épocas seca e úmida - foi aplicado o teste t que teve a seguinte hipótese:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

A hipótese nula estabeleceu que os níveis digitais das áreas de Campo Limpo Úmido não variam em relação à época de aquisição da imagem.

A Tabela 6 apresenta os resultados dos testes t realizados para as bandas espectrais das imagens analisadas. Para valores obtidos nas estatísticas t menores que os valores críticos, estaremos na área de aceitação da hipótese nula. Os resultados do teste t indicaram que a um nível de significância de 10% ($\alpha = 0,1$), houve uma diferença estatística significativa entre as amostras de níveis digitais referentes às áreas de Campo Limpo Úmido para diferentes datas de aquisição das imagens CCD e fusão Gram-Schmidt – épocas de lençol freático baixo/lençol freático alto.

Tabela 6: Teste t para valores digitais médios das áreas de Campo Limpo Úmido nas épocas de lençol freático alto/lençol freático baixo.

Parâmetros	CBERS-2/CCD			Fusão Gram-Schmidt		
	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Graus de Liberdade	84	84	84	84	84	84
$t_{\text{crítico}}$	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
$t_{\text{calculado}}$	-20,56	-19,07	8,19	65,54	20,53	-3,43
Hipótese H_0	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita

4. Conclusões

O teste Kruskal-Wallis verificou que ocorrem diferenças estatísticas significativas entre as amostras de níveis digitais das áreas de Campo Limpo Úmido e às fitofisionomias associadas a áreas secas - Campo Limpo e Campo Sujo - para cada uma das bandas das

imagens avaliadas, CCD e HRC e a fusão destas a partir da técnica Gram-Schmidt - de diferentes resoluções.

Segundo a análise discriminante, as bandas 2 e 3 das imagens CCD – tanto para a época úmida quanto para a época seca –, as bandas 2 e 4 das imagem fusionada que representam a época úmida, a banda 4 da imagem fusionada para época seca e a banda pancromática do sensor HRC foram as cenas que melhor discriminaram entre as áreas de Campo Limpo Úmido e as associadas às fitofisiomias de áreas secas.

O teste t aplicado para avaliar se ocorrem diferenças entre as amostras de níveis digitais referentes às áreas de Campo Limpo Úmido para diferentes datas de aquisição das imagens evidenciou-se que as abordagens multitemporal de imagens ainda são uma boa opção neste tipo de pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Dugan, P.J. **Wetland Conservation: a Review of Current Issues and Required Action**. Gland: IUCN, 1990. 96 p.
- Eiten, G. **Vegetação Natural do Distrito Federal**. Brasília: Editora UnB, 2001. 156 p.
- Fonseca, L.M.G. Restauração de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR. 1988. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 1988.RSI, 2005.
- Freund, J.E. **Estatística Aplicada. Economia, Administração e Contabilidade**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2000. 404 p.
- Hair Jr, J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2009. 688 p.
- Keddy, P.A. **Wetland Ecology: Principles and Conservation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 634 p.
- Martini, P.R. Áreas úmidas da América do Sul registradas em imagens de satélites. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal (GEOPANTANAL), 1., 2006, Campo Grande, **Anais...**Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2006. Artigos, p. 876-882.
- Melack, J.M; Hess, L.L. Remote sensing of wetlands on a global scale. **SIL News**, v. 42, p. 1-5, 2004.
- Ribeiro, J.F.; Walter, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F. (Org.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. p. 86-166.
- Yavitt, J.B. Carbon dynamics in Appalachian peatlands of west Virginia and western Maryland. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 77, p. 271-290, 1994.