

Verificação dos Efeitos dos Métodos de Realce Espectral sobre a Detecção de Mudanças no Estado de Goiás, a partir de Imagens Landsat

Simone de Almeida Jácomo ¹
Anamaria Achtschin Ferreira ²
Manuel Eduardo Ferreira ³
Laerte Guimarães Ferreira ⁴

^{1,3,4}Universidade Federal de Goiás - UFG
Instituto de Estudos Sócio Ambientais - IESA
Campus Samambaia, Caixa Postal 131 – 74001970 – Goiânia – GO, Brasil
{jacom, manuel, laerte}@iesa.ufg.br

²Universidade Federal de Goiás – UFG
Instituto de Ciências Biológicas - ICB
achtschin@ibestvip.com.br

Abstract. Within the scope of many other on going initiatives aiming at the monitoring of the Cerrado's vegetative cover, the work herein presented evaluated a change detection model, intended to monitor the State of Goias with high resolution imagery and on a semi-automated and operational basis.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, change detection, sensoriamento remoto, processamento de imagens, detecção de mudança.

1. Introdução

O Cerrado caracteriza-se como um complexo vegetacional de estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo, exibindo flora e fauna dentre as mais ricas entre os ambientes savânicos do planeta e o Estado de Goiás, é a única Unidade da Federação totalmente inserida no domínio deste bioma.

Apesar desta posição estratégica, sob o ponto de vista ambiental, verificou-se que até os anos 2000, aproximadamente 74% do uso e ocupação das terras em Goiás constituíam-se por áreas agrícolas e apenas 25% do território goiano estava ocupado com cobertura vegetal natural (Galinkin, 2002).

Sabe-se que atual Governo Estadual de Goiás adquiriu nos últimos quatro anos acervos Landsat completos, em formato digital. Apesar disso, poucas foram as iniciativas em estudos que envolveram monitoramento do Cerrado goiano, talvez pela necessidade de procedimentos metodológicos mais elaborados para a interpretação das imagens Landsat, e ao próprio volume de dados necessários ao recobrimento completo do Estado – 23 cenas.

Nesse contexto, fica evidente a necessidade de trabalhos que envolvam monitoramento contínuo da vegetação e mudanças de uso da terra e que resultem em ações definitivas para a manutenção desse bioma.

Nesse sentido, o presente trabalho busca apresentar a utilização de um modelo metodológico de detecção de mudanças, semi-automático e operacional, tendo por base o uso de imagens de alta resolução (i.e. Landsat), com vistas ao monitoramento sistemático da cobertura vegetal no Estado de Goiás. O objetivo específico inclui a verificação de impacto de métodos de realce (NDVI e MLME) sobre a detecção de mudanças .

2. Métodos de Realce Espectral (NDVI e MLME) e Método de Detecção de Mudanças (Subtração de Imagens)

A base teórica do NDVI consiste na interação entre a vegetação e radiação eletromagnética nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo. A reflectância da vegetação na região do vermelho (0,6 – 0,7 μm) é baixa devido a absorção pelos pigmentos das folhas e na região do infravermelho próximo (0,8 – 0,9 μm) a vegetação apresenta uma alta reflectância em função do espalhamento por parte da estrutura das células das folhas.

O uso do NDVI obteve êxito em comparações significantes de mudanças sazonais. Além disso reduz muitas formas de ruídos, tais como: (1) diferença de iluminação; (2) sombras de nuvem; (3) atenuação atmosférica e, (4) certas variações topográficas.

As desvantagens principais do NDVI referem-se à problemas de saturação em áreas densamente vegetadas, a não linearidade nas relações com o índice de área foliar (IAF) e à fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (fAPAR). O NDVI é também seriamente afetado pela geometria de aquisição (sol-alvo-sensor), pela estrutura do dossel vegetal, por efeitos atmosféricos e pelo substrato (ex. solo).

O Modelo Linear de Mistura Espectral – (MLME) foi proposto no intuito de resolver a questão de mistura espectral que ocorre dentro da unidade do *pixel*. Este problema surge quando o GIFOV (*Ground-projected Instantaneous Field Of View*) do detector de um determinado sensor, apresenta vários alvos dentro do limite de resolução deste detector. A mistura espectral ocorre basicamente de duas formas: quando os alvos se misturam espectralmente dentro da IFOV (*Instantaneous Field Of View*) do sensor ou quando o GIFOV dos detectores sobrepõe as regiões de fronteira entre dois ou mais alvos.

O MLME pode ser expresso pela seguinte equação: $\mathbf{r}_i = \mathbf{a} * \mathbf{veg}_i + \mathbf{b} * \mathbf{solo}_i + \mathbf{c} * \mathbf{sombra}_i + \mathbf{e}_i$. Onde: \mathbf{r}_i = refere-se à resposta do *pixel* na banda i ; \mathbf{a} = proporção da vegetação; \mathbf{b} = proporção de solo; \mathbf{c} = proporção de sombra ou água; \mathbf{veg}_i = resposta espectral do componente vegetação na banda i ; \mathbf{solo}_i = resposta espectral do componente solo na banda i ; \mathbf{sombra}_i = resposta espectral do componente sombra ou água na banda i ; \mathbf{e}_i = erro na banda i ; e \mathbf{i} = a banda do sensor.

O método de detecção de mudanças definido para este trabalho foi a Subtração de imagens. É um dos mais usados para monitorar uma ampla variedade de paisagens. As subtrações entre imagens, sejam elas de diferentes bandas de uma imagem ou a mesma banda em diferentes datas, previamente homogeneizadas radiométrica e geometricamente, serve para realçar diferenças espectrais, causadas por diferenças nos valores digitais (VDs). Suas aplicações mais comuns incluem a identificação de diferentes tipos de cobertura vegetal, identificação de minerais formados por óxido de ferro, detecção do padrão de mudança de cobertura, como uso do solo, expansão urbana e desmatamento (Chuvieco, 1996).

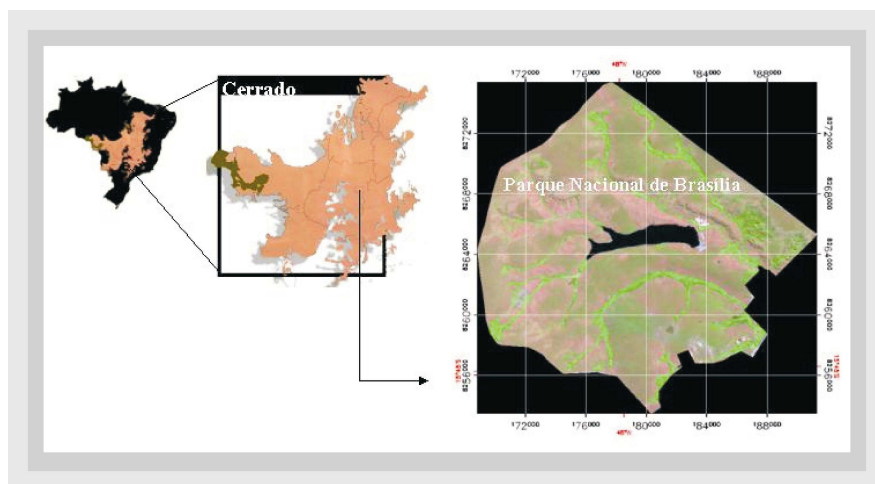
Através da subtração de imagens em diferentes datas, é produzida uma terceira imagem que contém informações sobre as mudanças ocorridas na imagem do Tempo 1 para a imagem do Tempo 2 (Singh, 1989). Este método pode ser expresso pela seguinte equação: $Dx_{ij}^k = x_{ij}^k(t_2) - x_{ij}^k(t_1) + C$. Onde: x_{ij}^k = valor do *pixel* na banda k ; \mathbf{i} e \mathbf{j} linha e número de *pixel* na imagem; \mathbf{t}_1 = Tempo 1; \mathbf{t}_2 = Tempo 2; e \mathbf{C} = constante para produzir números digitais positivos.

A imagem diferença resulta em uma distribuição dos *pixels* de forma distinta da original. Aqui os *pixels* que não representam mudança se agrupam no centro e os *pixels* que representam mudanças se agrupam nos extremos. Para definir o limite entre o que é ou não considerado como alteração, é preciso que sejam estabelecidos limiares de mudança de acordo com a distribuição e localização destes no histograma (Ferreira Júnior, *et al.*, 2003).

3. Desenho Experimental

Área de Estudo

Os métodos de realce espectral e detecção de mudanças foram avaliados em um conjunto de cenas Landsat (221/71), especificamente para a área do Parque Nacional de Brasília (PNB), localizado na região noroeste do Distrito Federal, entre as coordenadas 47°25' a 48°10' de longitude oeste e 15°32' a 16°32' de latitude sul. Trata-se de uma área relativamente extensa e preservada, com aproximadamente 30.000 hectares, bastante representativa das principais fisionomias de Cerrado (Campo Limpo, Campo Sujo e Cerrado típico) (**Figura 1**).



Abordagem Metodológica

- Este estudo utilizou imagens do satélite Landsat/TM 5 e Landsat 7/ ETM+, referente à órbita 221 / ponto 71. O quadro 1 apresenta os períodos referentes a este estudo.
- Como suporte cartográfico, foram utilizadas as cartas topográficas: SD-22-Z-D-VI (Taguatinga) e SD-23-Y-C-IV (Brasília), escala 1:100000 e Mapa atual de vegetação, elaborado por Ferreira, M. E. (2003) e considerado neste estudo, como “verdade terrestre”. Tal mapa foi atualizado a partir de duas cenas do sensor IKONOS-II (órbita 31 / ponto 72, junho de 2001), com resoluções espaciais de 1 metro (banda pancromática) e de 4 metros (bandas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), e imagem Landsat ETM+ (221/71, setembro de 2001), com resoluções espaciais de 30 metros (bandas 3, 4 e 5) e 15 metros (banda pancromática), no intuito de corrigir eventuais falhas do mapeamento pré-existente, realizado pela FUNATURA em 1995.
- Um dos pré-processamentos indispensáveis no trabalho foi a realização do registro das imagens, onde se utilizou uma imagem já tratada em termos de registro e correção atmosférica (20/07/2001) como referência.
- O outro pré-processamento adotado foi a retificação radiométrica proposta por Furby e Campbell (2001). Neste método foram selecionados alvos invariantes

entre a imagem de referência, e cada imagem a ser retificada, posteriormente todas as imagens foram calibradas, banda a banda, aos números digitais da cena de referência (20/07/2001). Essa técnica foi implementada operacionalmente com um aplicativo (*X caals*) do ENVI versão 3.4, através do qual todo o processo de calibração foi conduzido. Tal aplicativo foi disponibilizado pelo pesquisador Dr. Carlos Souza Júnior – IMAZON¹.

- A geração das imagens-fração derivadas do MLME partiu do modelo utilizado por Ferreira M. E. (2003). Nesse procedimento, os *endmembers* utilizados foram obtidos a partir de uma biblioteca espectral, elaborada com base na média de 100 *pixels* tidos como puros para cada componente, coletados diretamente nas imagens de valor digital, obedecendo a mesma localização em todas as cenas. O componente *vegetação* foi amostrado em áreas com Mata de Galeria, por ser esta a classe de maior vigor vegetacional no PNB. Amostras dos componentes *solo* e *sombra* foram obtidas em áreas na imagem com solo exposto e água (represa Santa Maria), respectivamente. Este método gerou imagens com valores que variam de - 1 a +1.
- As imagens transformadas pelo NDVI foram obtidas a partir da utilização da fórmula: “NDVI = (Infravermelho – Vermelho) / (Infravermelho + Vermelho)”. Esta equação gerou imagens com valores que variam de - 1 a +1 . Sabe-se que um nível maior de cinza expressa valores que representam um maior índice de vegetação, como no caso de vegetação com alta atividade fotossintética (Matas de Galeria). Já nas áreas de solo exposto, estes valores tendem a nível de cinza baixo, ou seja, índice de vegetação próximo a zero, e nas áreas de vegetação menos densa, caso de áreas de Campo Sujo e Cerrado, os níveis são intermediários.
- No método de detecção de mudança considerou-se um limiar de 42%, para as imagens derivadas do NDVI e MLME retificadas e não retificadas.
- Para verificar os efeitos dos métodos de realce sobre a detecção de mudanças foi realizado a ANOVA, com dois critérios de classificação, no intuito de verificar se existem diferenças significativas entre as classes de uso do PNB, e métodos de realce espectral, sobre a detecção de mudanças. Para tal foram selecionados todos os valores das áreas de mudança em (ha), a partir do limiar de 42% referentes à subtração das imagens, considerando-se os anos de 1995 e 2001, para as imagens retificadas e não retificadas radiometricamente, derivadas do MLME e NDVI. Foram testadas: (1) classes de uso do PNB; (2) métodos de realce. A ANOVA foi realizada considerando-se um $\alpha = 0,05$.

¹ Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

Quadro 1. Imagens e períodos de estudo

IMAGENS LANDSAT				
MESES	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
ANO 1995	10/06/95	28/07/95	29/08/95	14/09/95
ANO 2001	10/06/01	20/07/01	21/08/95	06/09/01

4. Resultados e Considerações Finais

O método de detecção de mudança - Subtração de Imagens gerou resultados a partir da investigação de pares de imagens retificadas e não retificadas radiometricamente de datas diferentes: a imagem de 1995 (T1) com a imagem de 2001 (T2), conforme referido anteriormente.

A quantidade de mudanças detectadas nas classes variou em função dos métodos de realce, e qualidade radiométrica. Em relação aos dados referentes às áreas de mudança derivadas das imagens retificadas e não retificadas, derivadas do NDVI, os dados demonstraram que as classes que apresentaram maiores mudanças foram às áreas de Cerrado (49,6%) e Campo Sujo (50,3%), seguidas de Campo Limpo (5,27%) e Mata de Galeria (1,33%) (Quadro 2).

No caso das subtrações derivadas do MLME o quadro 3 aponta que a classe Cerrado obteve a maior área de mudança (1,83%), seguida da classe Campo Limpo (1,65%), Mata Galeria (0,55%), Campo Sujo e Reflorestamento (0,03%).

Quadro 2. Valores de mudança (%) das classes de uso do PNB, utilizando imagens subtração derivadas do NDVI

ndvi_sr_42 -junho- mudança por classes de uso						
	cerrado	campo limpo	campo sujo	mata galeria	solo	reflorestamento
TOTAL	0,03%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ndvi_sr_42 - julho- mudança por classes de uso						
TOTAL	0,17%	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ndvi_sr_42 - agosto- mudança por classes de uso						
TOTAL	0,75%	0,55%	0,03%	0,12%	0,03%	0,00%
ndvi_sr_42 - setembro- mudança por classes de uso						
TOTAL	0,03%	0,06%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%
ndvi_ret_42 -junho- mudança por classes de uso						
	cerrado	campo limpo	campo sujo	mata galeria	solo	reflorestamento
TOTAL	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ndvi_ret_42 - julho- mudança por classes de uso						
TOTAL	0,46%	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ndvi_ret_42 - agosto- mudança por classes de uso						
TOTAL	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ndvi_ret_42 - setembro- mudança por classes de uso						
TOTAL	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Quadro 3. Valores de mudança (%) das classes de uso do PNB, utilizando imagens subtração derivadas do MLME.

Mudança por classes de uso - MLME - imagens não retificadas - limiar 42%						
Junho	cerrado	campo limpo	campo sujo	mata galeria	solo	reflorestamento
IF_Solo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Sombra	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Veg	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Julho						
IF_Solo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Sombra	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Veg	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Agosto						
IF_Solo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Sombra	0,03%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Veg	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Setembro						
IF_Solo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Sombra	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Veg	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Mudança por classes de uso - MLME - imagens retificadas - limiar 42%						
Junho	cerrado	campo limpo	campo sujo	mata galeria	solo	reflorestamento
IF_Solo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Sombra	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Veg	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Julho						
IF_Solo	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Sombra	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Veg	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Agosto						
IF_Solo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Sombra	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Veg	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Setembro						
IF_Solo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Sombra	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IF_Veg	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%

Os resultados do teste estatístico (ANOVA) tabelas 1 e 2, indicam que houve diferença significativa entre os métodos de realce analisados, mas não houve diferença, entre as classes de uso do PNB.

Tabela 1. Dados referentes aos meses e métodos das imagens não retificadas radiometricamente

ANOVA – Imagens Não Retificadas	gl	F	valor-P
Métodos de Realce	15	3,399893	0,0002
Classes de Uso PNB	5	2,298278	0,0534

Tabela 2. Dados referentes aos meses e métodos das imagens retificadas radiometricamente

ANOVA – Imagens Retificadas	gl	F	valor-P
Métodos de Realce	15	2,011198	0,025257
Classes de Uso PNB	5	1,488552	0,203677

Como na análise da variância foram encontradas diferenças significativas em relação aos efeitos dos métodos de realce espectral foi realizado o Teste de Tukey, para indicar onde ocorreram tais diferenças. Foram considerados neste teste: (1) Diferença mínima significativa para os métodos de realce nas imagens não retificadas radiometricamente: 0,268; e (2) Diferença mínima significativa para os métodos de realce nas imagens retificadas radiometricamente: 0,156.

Em relação aos métodos de realce espectral, o quadro 4, demonstra que nas imagens não retificadas o mês de agosto, relativo à subtração das imagens NDVI, apresentou-se diferente de todos os outros meses referentes ao NDVI e também aos meses relativos à subtração das imagens-fração derivadas do MLME. Além deste, o mês de setembro, relativo à subtração das imagens NDVI, apresentou-se diferente dos meses agosto e setembro, relativos à subtração das imagens-fração solo e do mês de junho, relativo à subtração das imagens-fração sombra, derivadas da do MLME.

Quadro 4. Teste Tukey – métodos de realce das imagens não retificadas radiometricamente

		MLME - IF-SOLO (SR)				MLME - IF-SOMBRA (SR)				MLME - IF-VEGETAÇÃO (SR)				NDVI (SR)			
		JUN	JUL	AGO	SET	JUN	JUL	AGO	SET	JUN	JUL	AGO	SET	JUN	JUL	AGO	SET
MLME IF SOLO	JUN	0	0	0	0,014	0	0,041	0	0	0,027	0	0	0,027	0,176	0,69	0,054	
	JUL		0	0	0,014	0	0,041	0	0	0,027	0	0	0,027	0,176	0,69	0,054	
	AGO			0	0,014	0	0,041	0	0	0,027	0	0	0,027	0,176	0,69	0,54	
	SET				0,014	0	0,041	0	0	0,027	0	0	0,027	0,176	0,69	0,54	
MLME IF SOMBRA	JUN				0,014	-0,027	0,014	0,014	-0,013	0,014	0,014	-0,013	-0,162	-0,676	-0,526		
	JUL					0,041	0	0	0,027	0	0	0,027	0,176	0,69	0,054		
	AGO						0,041	0,041	0,014	0,041	0,041	0,014	-0,135	-0,649	-0,013		
	SET							0	0,027	0	0	0,027	0,176	0,69	0,054		
MLME IF VEG	JUN								0,027	0	0	0,027	0,176	0,69	0,054		
	JUL									0,027	0	0,094	-0,663	-0,027			
	AGO										0	0,027	0,176	0,69	0,054		
	SET											0,027	0,176	0,69	0,054		
NDVI	JUN												-0,149	-0,663	-0,027		
	JUL													-0,514	0,122		
	AGO														0,6365		
	SET																

Quanto às imagens retificadas radiometricamente (Quadro 5), o mês de julho referente à subtração das imagens NDVI, apresentou-se diferente de todos os outros meses relativos a este método, como também de todos os meses relativos à subtração das imagens-fração, derivadas do MLME.

Quadro 5. Teste Tukey – métodos de realce das imagens retificadas radiometricamente

		MLME - IF-SOLO (RET)				MLME - IF-SOMBRA (RET)				MLME - IF-VEGETAÇÃO (RET)				NDVI (RET)				
		JUN	JUL	AGO	SET	JUN	JUL	AGO	SET	JUN	JUL	AGO	SET	JUN	JUL	AGO	SET	
MLME IF SOLO (RET)	JUN		0,014	0	0	0,014	0	0,0135	0	0	0,0135	0	0,0135	0	0,311	0	0	0
	JUL			0,01	0	0,014	0,0005	0,014	0,014	0,0005	0,014	0,0005	0,014	-0,297	0,014	0,014	0	
	AGO				0	0,014	0	0,0135	0	0	0,0135	0	0,0135	0	0,311	0	0	0
	SET					0,014	0	0,0135	0	0	0,0135	0	0,0135	0	0,311	0	0	0
MLME IF SOMBRA (RET)	JUN						0,014	0,0005	0,014	0,014	0,0005	0,014	0,0005	0,014	-0,297	0,014	0,014	
	JUL							0,0135	0	0	0,0135	0	0,30135	0	0,311	0	0	
	AGO								0,0135	0,014	0	0,014	0	0,0135	-0,2975	0,0135	0,0135	
	SET									0	0,0135	0	0,0135	0	0,311	0	0	0
MLME IF VEG (RET)	JUN										0,0135	0	0,0135	0	0,311	0	0	0
	JUL											0,014	0	0,0135	-0,2975	0,0135	0,0135	
	AGO												0,0135	0	0,311	0	0	
	SET													0,0135	-0,2975	0,0135	0,0135	
NDVI (RET)	JUN													0,311	0	0	0	
	JUL														0,311	0,311	0,311	
	AGO															0,311	0,311	
	SET															0	0	

Em relação à verificação do impacto dos métodos de realce sobre a detecção de mudanças, observou-se uma significativa diferença nos valores de áreas de mudança, quando comparados o MLME e NDVI. Os dados demonstram que o NDVI, apesar de ser um método mais operacional, no geral, superestimou as áreas de mudança, e o MLME manteve valores coerentes (poucas mudanças), quando se tratou de detecção de alterações em área de cobertura natural.

Quanto a necessidade ou não de retificação radiométrica das imagens Landsat, os resultados comprovaram que as imagens retificadas e não retificadas mantêm diferenças estatisticamente significativas, considerando-se os valores dos *pixels*, por isso é indispensável realizar tal etapa em trabalhos de detecção de mudanças que envolvem análises multitemporais e multisensores.

Portanto, pode-se considerar que os resultados foram satisfatórios, dentro dos objetivos propostos, demonstrando a alta capacidade dos procedimentos utilizados na detecção e monitoramento das mudanças na cobertura vegetal. Assim, espera-se que a pesquisa possa servir de auxílio aos futuros trabalhos realizados na região do Cerrado, sobretudo aqueles que empregam imagens orbitais em estudos de monitoramento da cobertura vegetal.

5. Referências

Ferreira Júnior, L. G.; Silva, A.A.; Jesus, E. T.; Sano, E. E.; Shimabukuro, Y. E. Monitoramento sistemático da cobertura vegetal no bioma Cerrado através dos índices de vegetação MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XI, 2003, Belo Horizonte. **Anais....**São José dos Campos: INPE, 2003.

Ferreira, M. E. **Análise do Modelo Linear de Mistura Espectral na Discriminação de Fitofisionomias do Parque Nacional de Brasília (Bioma Cerrado)**. Brasília, 2003. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

Furby, S.L; Campbell, N.A. Calibrating images from different dates to “like-value” digital counts. **Remote Sensing of Environment**, v 77, 186-196, 2001.

Galinkin, M. (ed). 2001. **Estado Ambiental de Goiás 2002 – Atualização**. Goiânia: Agencia Ambiental de Goiás. 60p.