



## Modelo Linear de Mistura Espectral em imagens CBERS-4 e Resourcesat-2 para estimativa da vegetação às margens do Lago de Itaipu (PY-BR)

Michelle Cristine Wagner<sup>1</sup>, Vanderlei Leopold Magalhães<sup>2</sup>,

<sup>1,2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR  
Câmpus Medianeira- PR, Brasil

Av. Brasil, 4232

<sup>1</sup>mih.cwagner@gmail.com, <sup>2</sup>vlmagalhaes@utfpr.edu.br

**Abstract** - Among the Remote Sensing techniques, used to facilitate the extraction of information contained in a particular satellite image, the Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA) stands out for estimating the proportions of the components soil, shade and vegetation from spectral responses of each band in order to emphasize targets of interest. Usually the LSMA is combined with segmentation and classification techniques, as in the Digital PRODES (Amazon Gross Deforestation Estimate Project), developed by INPE. The aim of this work was to generate the LSMA for images relating the banks of the Itaipu Lake, in western Paraná, in 2015 using images of the CBERS-4 and ResourceSat-2 satellites. In addition, it was created maps of land use, applying the segmentation and classification techniques. The component that showed the best result of the LSMA was the image-fraction shadow, which was used in the remaining stages of the work. The map of land use and cover indicated that the analyzed area consists mainly of vegetation, followed by agricultural areas. Even though the images refers to different dates, the CBERS-4 to November when planting is still recent and cultures are not very developed, and the ResourceSat-2 to July, when there is no planting or harvest, after applying the LSMA and the thematic mapping, it is clear that the results were similar, due to the proximity of spatial and radiometric resolutions of the satellites. Thus, the LSMA has proved to be an effective tool for quantifying the vegetation cover and the advance of the agricultural frontier.

**Keywords:** image processing, remote sensing, watershed, processamento de imagens, sensoriamento remoto, bacia hidrográfica.

### 1. Introdução

O sensoriamento remoto se refere à obtenção de imagens à distância, a partir de sensores remotos, sobre a superfície terrestre sem estar em contato físico com o objeto ou fenômeno (Florenzano, 2008).

Ele possui várias ferramentas que permitem analisar as variações de resposta espectral em relação aos diferentes componentes da imagem, classificando e quantificando as transformações do espaço terrestre, como a caracterização do uso de solo em diversos biomas brasileiros, gerando informações importantes na elaboração de estratégias de planejamento municipais e/ou regionais (Servello, 2007; Nery et al., 2014).

Dentre as ferramentas do sensoriamento remoto, utilizadas para facilitar a extração de informações contidas em uma imagem, há destaque para as técnicas de Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), a segmentação por regiões e a classificação supervisionada (Jacintho, 2003; Meneses e Almeida, 2012).

O Modelo Linear de Mistura Espectral visa estimar quantitativamente a proporção das componentes solo, vegetação e sombra, para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas espectrais, dentro do elemento de resolução do sensor, gerando imagens dessas frações. Esta técnica tem como objetivos reduzir o volume de dados de um processamento e realçar alvos de interesse, possibilitando determinar as mudanças espaço-temporais de uma determinada área (Servello, 2007; Nery et al., 2014).

A fórmula do MLME pode ser escrita como (Vasconcelos e Novo, 2014):

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij}x_j) + e_i \quad (1)$$

Onde:  $r_i$ : observação na banda  $i$ ;  $x_j$ : proporção da componente  $j$ ;  $a_{ij}$ : assinatura espectral para a componente  $j$  na banda  $i$ ;  $e_i$ : erro na banda  $i$  e  $n$ : n° de componentes.

Já a técnica de segmentação por regiões visa facilitar a interpretação de imagens e consiste na divisão da imagem em regiões de pixels contíguos que apresentam uniformidade espectral, a partir de critérios de similaridade e de área (*pixels*). O limiar de similaridade se refere a um valor abaixo do qual as imagens são consideradas similares e agrupadas em uma região, enquanto que o limiar de área relacionado ao valor de área mínimo (*pixels*) para que uma região seja individualizada (Florenzano, 2008) (Jacintho, 2003). Posteriormente, as imagens são submetidas a etapa de classificação por regiões que consiste no agrupamento em classes dos objetos que apresentam similaridade nas respostas espectrais (Florenzano, 2008).

No Brasil as técnicas Modelo Linear de Mistura Espectral, segmentação por crescimento de regiões e classificação das imagens componentes são amplamente utilizadas no PRODES Digital (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui o objetivo de identificar e mapear, através de processamento digital de imagens Thematic Mapper-TM/Landsat, as áreas desflorestadas em formações florestais tropicais. Faz-se o uso da imagem fração sombra para mapear áreas desflorestadas na Amazônia, já que áreas de floresta tropical apresentam uma proporção significativa desta componente, enquanto que em áreas solo exposto, de pasto e de regeneração de vegetação esta proporção é baixa (Vasconcelos e Novo, 2004; Inpe, 2016).

Assim como os satélites da série Landsat, as imagens do CBERS (sigla para China-Brazil Earth-Resources Satellite; em português, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) possuem grande importância no Brasil, elas são utilizadas para diversas pesquisas e programas, como o PRODES, de avaliação do desflorestamento na Amazônia, o DETER, de avaliação do desflorestamento em tempo real, e o monitoramento das áreas canavieiras (CANASAT), dentre outros (Inpe, 2016).

O Programa CBERS surgiu de uma parceria inédita entre Brasil e China. O Programa CBERS contemplou os satélites CBERS-1, 2, 2-B, 3 e 4. Há destaque para a câmera MUX que é a primeira câmera inteiramente desenvolvida e produzida no Brasil, utilizada no satélite CBERS-4, com resolução espacial de 20 metros (Inpe, 2016).

Outro dos principais programas de sensoriamento remoto do mundo, é o indiano ResourceSat, que possui os satélites ResourceSat-1 e ResourceSat-2. O satélite Resourcesat-2 conta com três câmeras imageadoras: LISS-3, LISS-4 e AWiFS, sendo distribuídos no Brasil pelo INPE os dados AWiFS, que apresentam resolução espacial de 56 metros, e LISS-3, com resolução espacial de 23,5 metros (Inpe, 2016).

Diversos trabalhos relataram a aplicação do MLME para a verificação de alterações da cobertura vegetal de determinada área de estudo, como Junior, Ponzoni e Chaves (2015) que avaliaram essas alterações na APA do Pratigi- BA, utilizando as técnicas de MLME e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) a fim de quantificar os valores de proporção da vegetação para os anos de 2000 a 2006 . A técnica MLME também pode ser utilizada para o mapeamento de áreas queimadas como em Cardoso, et. al (2013) ou na análise da influência do clima nas mudanças da vegetação em Santos, Luizão e Filho (2013), dentre outras finalidades.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é comparar o Modelo Linear de Mistura Espectral em imagens CBERS-4 e Resourcesat-2. As imagens são referentes às margens, direita e esquerda, do Lago da Usina Hidrelétrica de Itaipu, no oeste do Paraná, no ano 2015. Seleccionada a melhor imagem-fração resultante MLME, foi efetuada a segmentação e classificação, para estimar a vegetação e o avanço da fronteira agrícola, através da elaboração do mapa temático de Uso e Cobertura do Solo.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo da pesquisa se refere as margens do Lago de Itaipu, pertencente à Bacia Hidrográfica do Paraná III, situada no oeste paranaense na região do Terceiro Planalto. A Bacia Hidrográfica do Paraná 3 possui uma área total de aproximadamente 7.979,40 km<sup>2</sup> na porção brasileira, constituindo cerca de 4% da área do estado. Na bacia está inserida a Hidrelétrica de Itaipu, maior usina do mundo em geração de energia. As margens do rio Paraná passaram por intensas alterações após a inundação que originou o Lago de Itaipu, adaptações que afetaram o meio físico, biológico e social (Sema, 2010).

A Bacia do Paraná 3 é ocupada em grande parte por agricultura intensiva, ocorrendo uma faixa de uso misto que segue do sul até a região central da bacia. Há ainda pequenas áreas de cobertura florestal, já que grande parte das florestas originais desapareceram, além de concentrações urbanas e industriais (Sema, 2010).

A área da bacia delimitada para o estudo compreende os municípios lindeiros ao Lago de Itaipu (Figura 1) e está inserida entre as coordenadas geográficas de: 23°59'30" S a 25°43'30" S e 53°58'30" W a 54°48'30" W. Os municípios lindeiros ao Lago de Itaipu são: Guaíra, Mercedes, Marechal Cândido Rondon, Pato Bragado, Entre Rios do Oeste, Santa Helena, Missal, Itaipulândia, Santa Terezinha de Itaipu e Foz do Iguaçu. Além disso, também foi considerada as margens do lado paraguaio.

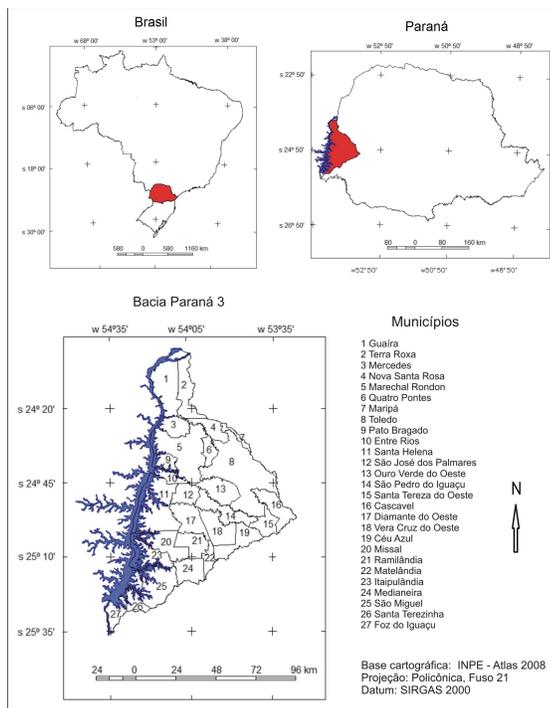


Figura 1. Localização dos municípios lindeiros do Oeste do Paraná.

As imagens utilizadas foram obtidas gratuitamente a partir do acervo de imagens da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE por meio do seguinte endereço eletrônico: <http://www.dgi.inpe.br>. Imagens estas da área de estudo capturadas pelo satélite CBERS-4, sensor MUX da data de 21/11/2015, de órbita-ponto 162/128 e 162/127 e do satélite Resourcesat-2, sensor LISS-3 da data de 30/07/2015, de órbita-ponto 324/096 e 324/095.

Para a execução do Banco de Dados e do Projeto em Sistemas de Informações Geográficas, foi utilizado o software SPRING 5.2.6.

Inicialmente foi criado um projeto e foram importadas as imagens dos satélites CBERS-4 e Resourcesat-2 e os vetores dos municípios lindeiros, exportados do Banco ATLAS 2008, disponível no site do INPE, no formato Shapefile. As imagens utilizadas do CBERS-4 correspondem às faixas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, que respectivamente se referem às: banda 5 (0,45 – 0,52  $\mu\text{m}$ ), banda 6 (0,52 – 0,59  $\mu\text{m}$ ), banda 7 (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ ) e banda 8 (0,77 – 0,89  $\mu\text{m}$ ) no formato Geotiff. A resolução espacial da imagem é de 20 metros e radiométrica de 8 bits, que indica 256 níveis de cinza.

Já as imagens utilizadas do Resourcesat-2 correspondem às faixas do verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, que constituem respectivamente: banda 2 (0,52 – 0,59  $\mu\text{m}$ ), banda 3 (0,62 – 0,68  $\mu\text{m}$ ), banda 4 (0,77 – 0,86  $\mu\text{m}$ ) e banda 5 (1,55 – 1,70  $\mu\text{m}$ ). Possuindo uma resolução espacial de 23,5 m e 10 bits de resolução radiométrica.

Nestas imagens foi necessário elaborar o mosaico e georreferenciá-las. O mosaico foi realizado nas imagens órbita-pontos 162/128 e 162/127 do CBERS-4 e 324/096 e 324/095 do Resourcesat-2. A partir das imagens mosaicadas foi criada uma imagem sintética 6B7R8G para as imagens do CBERS e 2B3R4G para as imagens do Resourcesat-2, para melhorar a interpretação visual.

A fim de georreferenciar as imagens em um sistema de coordenadas foi realizado o registro das mesmas, com base em uma imagem georreferenciada do satélite Landsat-8.

Com as imagens mosaicadas e registradas, porém não realçadas, foi aplicado o MLME coletado amostras de pixels dos componentes solo, sombra (água) e vegetação, gerando as imagens-fração respectivas.

Para a elaboração do mapa temático de Uso e Cobertura do Solo, a imagem resultante MLME foi segmentada e classificada por regiões, pelo método ISOSEG, com limiar de aceitação de 90% para a geração de mais temas, e 10 iterações. Foram definidas quatro classes de uso e cobertura do solo: Solo exposto, Área agrícola, Vegetação e Corpo hídrico. Para um melhor resultado, foi realizada a edição matricial utilizando a opção Copiar Áreas do SPRING a fim de corrigir as áreas que foram classificadas de maneira errônea pelo classificador ISOSEG.

### 3. Resultados e Discussão

As imagens mosaicadas realçadas do CBERS-4 e do Resourcesat-2 nas composições coloridas não apresentaram diferenças discrepantes entre as órbitas-ponto, apesar de se tratarem de datas diferentes. A Figura 2 ilustra as imagens sintéticas já mosaicadas e registradas, com os polígonos dos municípios lindeiros da margem brasileira do Lago de Itaipu. O corpo hídrico representado em roxo apresentou diferentes contrastes devido à grande presença de sedimentos, as áreas florestais e gramíneas estão ilustradas em verde claro, solo exposto em rosa e a área agrícola em outras tonalidades (verde mais claro no CBERS e azul claro, laranja e lilás no Resourcesat).

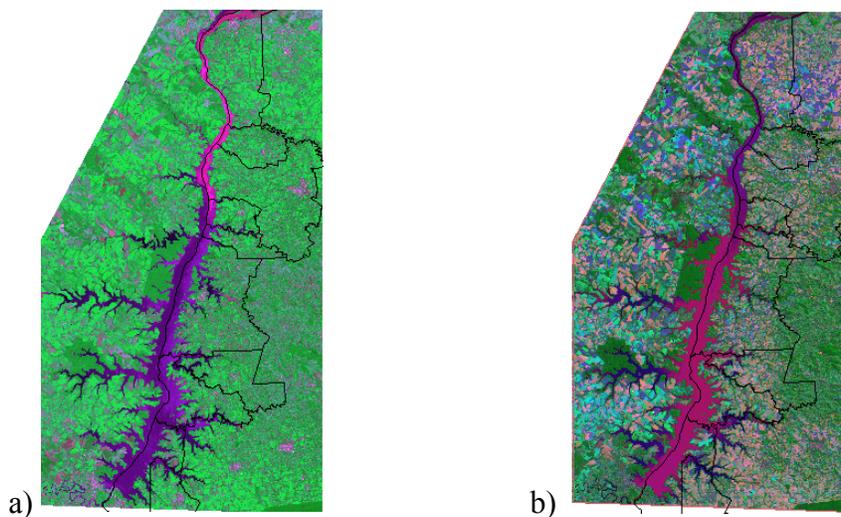


Figura 2. Imagens mosaicas e registradas em composição colorida referentes à área de estudo dos satélites: a) CBERS-4 b) Resourcesat-2.

Seguindo para o MLME, a qualidade da coleta das amostras (pixels) pode ser visualizada nos gráficos da Figura 3. Como é de se esperar a vegetação apresenta maior reflectância na região do infravermelho próximo, enquanto que a componente sombra (água) apresenta baixa reflectância nessa faixa, quando comparada com as faixas do visível. O solo exposto, por sua vez, apresenta maior resposta espectral no infravermelho próximo.

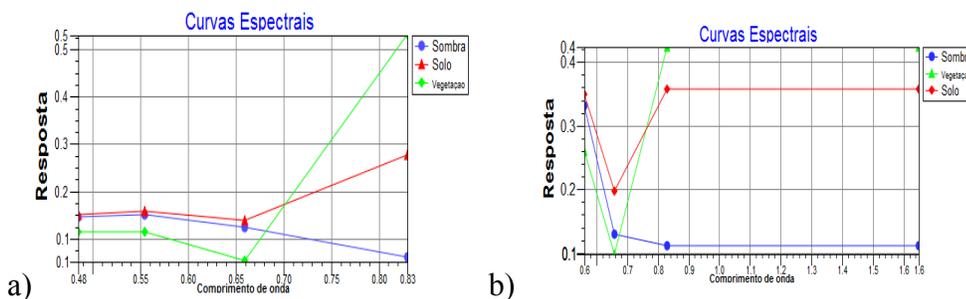


Figura 3. Gráficos dos MLME gerados representando as respostas espectrais dos componentes das imagens: a) CBERS-4 b) Resourcesat-2.

Em ambos os modelos gerados a imagem-fração mais adequada para o prosseguimento do estudo, que apresentou melhor resultado no realce, foi a fração sombra (Figura 4), assim como ocorre no Projeto PRODES.

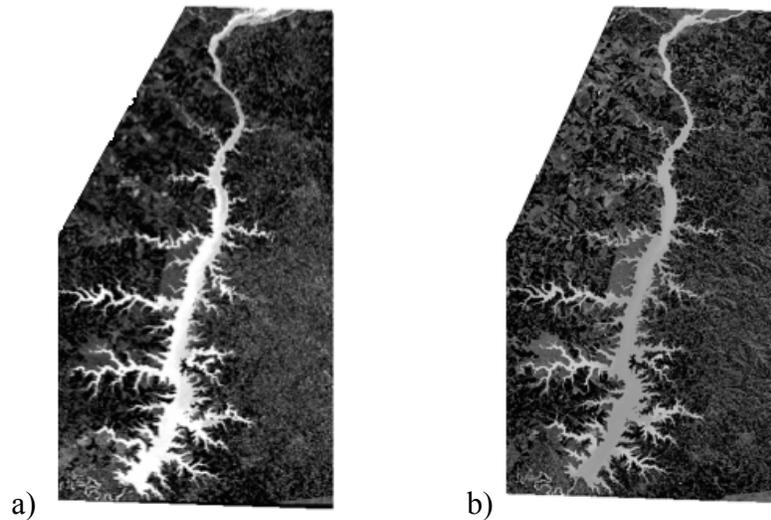


Figura 4. Imagens-fração sombra do MLME dos satélites: a) CBERS-4 b) Resourcesat-2.

Os níveis de cinza mais claros indicam a componente analisada, evidenciando principalmente o corpo hídrico. Enquanto que os níveis de cinza médios indicam a vegetação e os mais escuros representam regiões de áreas agrícolas.

A partir da imagem-fração sombra, foi gerado o mapa de uso e cobertura do solo (Figura 5), com as etapas de segmentação e posterior classificação. Após vários testes, os limiares de similaridade e de área (pixel) foram 20 e 80, respectivamente. Esta etapa foi realizada pelo classificador ISOSEG, com o uso de 10 iterações e um limiar de aceitação de 90%. As quantificações das áreas e porcentagens estão ilustradas na Tabela 1.

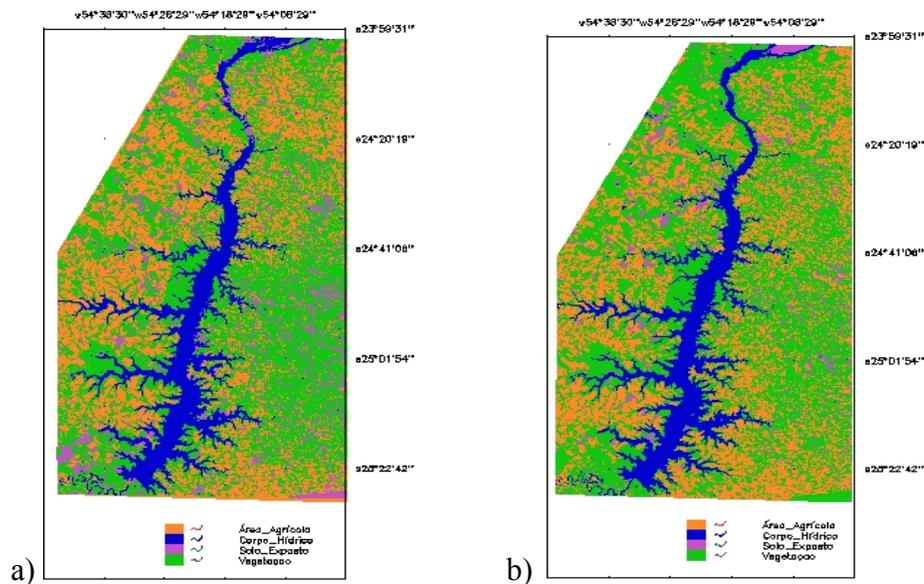


Figura 5. Mapas de uso e cobertura do solo dos satélites: a) CBERS-4 b) Resourcesat-2.

Tabela 1. Classes de uso do solo das margens do Lago de Itaipu.

Classes de uso do solo	Área (km <sup>2</sup> )-CBERS-4	Porcentagens (%) -CBERS-4	Área (km <sup>2</sup> )-Resourcesat-2	Porcentagens (%) -Resourcesat-2
Solo exposto	1171,03	9,12	584,97	4,55
Área agrícola	4006,55	31,21	4254,56	33,14
Vegetação	6119,95	47,67	6454,99	50,27
Corpo hídrico	1539,38	11,99	1547,57	12,04
<b>Total</b>	<b>12836,81</b>	<b>100</b>	<b>12837,10</b>	<b>100</b>

As classes solo exposto e área agrícola podem ser classificadas apenas como área agrícola, já que o solo exposto apresentado é devido ao mês de captura da imagem, um período de colheita/plantio na região oeste do Paraná.

Os resultados da Tabela 1 indicam que em ambos os mapas de Uso e Cobertura do Solo, a classe predominante foi a vegetação, que inclui áreas florestais e gramíneas, seguida pela área agrícola e solo exposto e, por fim, pelo corpo hídrico. Percebe-se também que em ambas as imagens os resultados foram similares quanto as medidas das classes, principalmente quanto ao corpo hídrico, melhor representado pela componente sombra, possivelmente devido à proximidade das resoluções espaciais e radiométricas dos satélites.

Ainda que as imagens são de datas diferentes, a do CBERS-4 ao mês de Novembro quando o plantio ainda é recente e as culturas não estão muito desenvolvidas, e a do ResourceSat-2 ao mês de Julho, época em que não há plantio e nem colheita, após a aplicação do MLME e do mapeamento temático, percebe-se que os resultados foram similares.

#### 4. Conclusões

O Modelo Linear de Mistura Espectral referente às imagens CBERS-4 e Resourcesat-2 mostrou que a imagem-fração sombra apresentou o melhor resultado para o realce dos alvos de interesse vegetação, solo, agricultura e água, referentes as margens do Lago de Itaipu no ano de 2015. Na segmentação e classificação da imagem essa característica foi fundamental, e permitiu uma maior separação entre os alvos, para gerar o mapa de uso e cobertura do solo.

Destaca-se que outros estudos de MLME com imagens do CBERS-4 ou Resourcesat-2, de datas diferentes, podem ser aplicados nesta bacia, fomentando análises multitemporais, a fim de verificar o cenário atual da vegetação e o avanço da fronteira agrícola.

#### Referências

CARDOZO, F.S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y.E.; MORAES, E.C. Análise do uso do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para o mapeamento das áreas queimadas no Estado de Rondônia no ano de 2010. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE, 2013.

FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

INPE. Dados de satélites. 2016. Disponível em: < <http://www.inpe.br/#>>. Acesso em: 10 Agosto, 2016.

JACINTHO, L.R.C. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de Unidades de Conservação: o caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos, São Paulo-SP**. 2003. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.



JUNIOR, J.L.S.; PONZONI, F.J.; CHAVES, J.M. Utilização de dados provenientes do Modelo Linear de Mistura Espectral e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada em imagens TM/Landsat 5 e ETM+/Landsat 7 para a verificação de alterações da cobertura vegetal na APA do Pratigi – BA. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, INPE, 2015.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. CNPQ. Brasília, 2012, 264 p.

NERY, C. V. M.; MOREIRA, A.A.; FERNANDES, F.H.S.; ALMEIDA, L. S.; ALMEIDA, R.P. Utilização do Modelo Linear De Mistura Espectral e Ndvi para avaliação do comportamento de área desmatada no município de Rio Pardo De Minas/ MG. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, 2014, v.15, n. 49, p. 104-112.

SANTOS, F.R.C; LUIZÃO, F.J.; FILHO, A.C. Avaliação da influência do status de conservação e da precipitação na dinâmica de mosaicos floresta-savana em uma área de transição ao norte da Amazônia utilizando modelo linear de mistura espectral. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE, 2013.

SEMA-PARANÁ. Bacias Hidrográficas do Paraná. Curitiba, 2010. Disponível em: <[http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista\\_Bacias\\_Hidrograficas\\_do\\_Parana.pdf](http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf)> Acesso em: 10 Set. 2016.

SERVELLO, E.L. Mapeamento de uso da terra na região Centro-Sul do com imagens CBERS a partir da técnica de Modelo Linear de Mistura Espectral. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1125-1132.

VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. M. L. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens-fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. **Acta Amaz.**, Manaus , v. 34, n. 3, p. 487-493, Set 2004.