

# **AVALIAÇÃO TEMPORAL DE EVENTOS DE INUNDAÇÃO NA BAIXADA CAMPISTA, REGIÃO NORTE FLUMINENSE, RJ, PELO USO DE IMAGENS DIGITAIS ORBITAIS DO SENSOR MODIS**

*Temporary Evaluation of Events of Flood in the Baixada Campista, Fluminense North Area, RJ, Using MODIS Orbital Digital Images Sensor*

**José Carlos Mendonça<sup>1</sup>**  
**Ramon Morais de Freitas<sup>2</sup>**  
**Elias Fernandes de Sousa<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF**  
**Laboratório de Engenharia Agrícola - LEAG**

Av. Alberto Lamego, 2000/CCTA/sl 209 – CEP.: 28013-602 – Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil  
e-mail: {mendonca, efs}@uenf.br

**<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**  
**Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais – LTID**

Av. dos Astronautas, 1.758 - Jd. Granja - CEP 12227-010 - São José dos Campos - SP – Brasil  
e-mail: ramon@dsr.inpe.br

## **RESUMO**

Na região Norte Fluminense, especificamente na Baixada Campista, os problemas relacionados ao uso da água são relativos principalmente a sua disponibilidade, qualidade, distribuição e gestão administrativa. A região apesar de bem servida de corpos hídricos não possui um sistema capaz de gerenciar conflitos e manter a sustentabilidade necessária. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação do modelo de mistura espectral sobre imagens orbitais geradas pelo sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS-Terra e MODIS-Agua, e analisar o impacto dos eventos das precipitações pluviométricas sobre as áreas agricultáveis e produtivas da região, concluindo ser esta uma técnica eficiente e de baixo custo operacional, podendo ser adotada operacionalmente como ferramenta no auxílio à política de gestão dos recursos hídricos na região Norte Fluminense, RJ.

**Palavras chaves:** recursos hídricos, modelo linear de mistura, canais de drenagem, Baixada Campista

## **ABSTRACT**

In the Northern Region at Rio de Janeiro State, in a region know as Baixada Campista, the problems related to the use of water are mainly due to its availability, quality, distribution and administration. The area which hidrologically rich does not possess an system and efficient control to maintain the necessary sustainability. The objective of this work was to evaluate application of the Linear Spectral Mixture Model on orbital images generated by the sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS-Terra e MODIS-Agua and to analyze the impact of the events of the pluviometric precipitation on the arable land and productive areas. The results showed that is an efficient technique with a low operational cost, on that could be adopted operacionally as an aid tool the politics of administration of hidrological resources in the above mentioned region.

**Keywords:** Hidrological resources, Linear Spectral Mixture Model, drainage channel, Baixada Campista

## 1. INTRODUÇÃO

A Baixada Campista, se localiza à margem direita do trecho final do Rio Paraíba do Sul, abrangendo os municípios fluminenses de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e Quissamã e se caracteriza por uma extensa várzea originária de uma antiga baía que, após regressão marinha e ascensão continental, gerou uma planície de grande extensão, onde são comuns solos com camadas sedimentares. A explicação para a distribuição complexa e heterogênea dos solos na planície fluvial do rio Paraíba do Sul pode ser explicada pela história geológica desta região formada por aportes de sedimentos marinhos e fluviais da era Quaternária (LAMEGO, 1944). Essa planície possui solos com elevada fertilidade, favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, fruticultura e pecuária e foi buscando o saneamento ambiental e a expansão de áreas agrícolas que o extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS construiu uma extensa rede de canais artificiais, com cerca de 1500 km de extensão, com funções de drenagem e irrigação. (FENORTE, 2003).

A rede de canais da Baixada Campista se constitui num complexo e frágil sistema hidráulico, devido às grandes dimensões dos canais primários e alguns secundários (média de 50 km de extensão) e suas baixas declividades (inferiores a 0,02%). Estas características fazem com que qualquer assoreamento ou entupimento no leito dos canais comprometa o deslocamento do fluxo hídrico em direção a áreas interiores gerando problemas de abastecimento ou inundações em suas áreas de influência.

Estes problemas advindos do mau funcionamento dos canais são agravados pelas condições climáticas da região, que se caracteriza por “invernos secos” (junho a setembro) e “verões chuvosos” (outubro a janeiro). Nos períodos de “inverno”, quando o nível do rio Paraíba do Sul atinge cotas batimétricas inferiores a 5,70 m em relação ao nível do mar, a captação de água para os canais torna-se difícil e em alguns canais não chega a ocorrer, o que compromete o abastecimento e a regularização do fluxo hidráulico. No período de “verão” ocorrem problemas de natureza inversa: a elevação do nível das águas do rio e a ocorrência de chuvas de alta intensidade, determinam a necessidade de um eficiente manejo das comportas de adução e controle, a fim de regular o nível dos canais e evitar represamentos e inundações indesejáveis aos setores agropecuários e industrial local (FENORTE, 2003).

Outro grande problema da rede de canais se refere a sua manutenção. O controle das cotas de fundo, da vegetação aquática e dos taludes exige equipamentos de grande porte (escavadeiras hidráulicas e mecânicas), além de mão-de-obra treinada e experiente. Associado a esses problemas, os canais também sofrem a agravante de terem seus fluxos comprometidos pela deposição de lixo e esgotos urbanos e industriais, o que compromete ainda mais seu correto funcionamento.

Sendo a água considerada um bem comum, dotado de valor econômico, de grande importância social e estratégica para o desenvolvimento regional, a sua gestão deve ser tratada pelos governos e pela sociedade, com a mais alta prioridade, sendo o seu uso múltiplo e integrado, bem como a minimização dos impactos ambientais, um objetivo que deve ser constantemente perseguido. No Brasil, o planejamento e a gestão dos recursos hídricos vêm adquirindo importância cada vez maior, visto que o desenvolvimento econômico e o aumento decorrente da demanda pela água começam a gerar sucessivos conflitos pelo seu uso (Campos, J.D. 2001).

Na região Norte Fluminense, especificamente na Baixada Campista, os problemas relacionados ao uso da água são relativos principalmente a sua disponibilidade, qualidade, distribuição e gestão. A região apesar de ser bem servida em termos de recursos hídricos, onde se destacam o Rio Paraíba do Sul, o rio Muriaé, o rio Ururaí, as Lagoas Feia, de Cima e Campelo, dentre outras, e cerca de 1500 km de canais artificiais, não possui sistema de gestão e controle eficientes para manter a sustentabilidade necessária do seu patrimônio hídrico.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar a aplicação do modelo de mistura espectral como metodologia para monitoramento, através do uso de imagens MODIS/Terra e MODIS/Aqua, dos eventos de precipitações pluviométricas ocorridas nos meses de dezembro e janeiro dos anos de 2003, 2004, 2005 e 2006 e seus impactos sobre os recursos hídricos e as áreas produtivas da Baixada Campista, na região Norte Fluminense, RJ.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração deste trabalho utilizaram-se duas bandas espectrais do produto MOD09-GQK e cinco bandas espectrais do produto MOD09-GHK (superfície de reflectância) do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer–MODIS/Terra, referentes às passagens diurnas dos dias 15/12/2003, 15/01/2005, 05/12/2005, 21/12/2005, 30/12/2005 e 15/01/2006 e uma imagem do Sensor Modis/Agua, do dia 18/12/2004 que foram obtidas junto ao Land Processes Distributed Active Archive Center (LP-DAAC) através do sistema de informações e dados do projeto EOS/NASA. Todas as cenas MODIS MOD09 utilizadas se referem ao *tile* h14/v11 e foram tratadas e reamostradas para a resolução espacial de 250m utilizando-se a ferramenta MODIS Reprojection Tool (MRT). Os recortes, empilhamentos, composições coloridas e demais tratamentos foram executados utilizando-se o software Spring 4.2, desenvolvido e distribuído gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Os recortes envolvem uma área compreendida pelas coordenadas geográficas 21° 10' e 22° 25' S e 40° 45' e 42° 10' W, referidas ao Datun WGS-84 – zona 24.

Os dados pluviométricos foram coletados por uma estação meteorológica automática, modelo *Thies*

*Clima*, instalada na Estação Experimental de Campos dos Goytacazes – Pesagro-Rio (21° 44' 47"S; 41° 18' 24"W e 11 metros de altitude), pertencente à Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF.

Para comparação entre as imagens orbitais, se estabeleceu o recorte de cena do dia 15/12/2003 como referência inicial. A seguir foram comparados os recortes de cenas dos dias 18/12/2004 e 15/01/2005 com a do ano de 2003 e os recortes das cenas dos dias 05/12/2005, 21/12/2005, 30/12/2005 e 15/01/2006 com as demais imagens anteriores. Essa opção justifica-se por ter sido o ano de 2003 considerado de precipitação pluviométrica total próxima ao valor da normal climatológica, sendo os dois anos subsequentes considerados como de precipitações acima desta.

Além da comparação entre as imagens, aplicou-se um modelo linear de mistura determinando a área da fração água com o objetivo de se estimar a área total ocupada por água. O modelo de mistura é uma análise sub-pixel e considera que a formação de um pixel seja a mistura linear da resposta espectral de água/sombra, solo e vegetação (Shimabukuro e Smith, 1991).

O Modelo Linear de Mistura é dado por:

$$\begin{aligned} r_1 &= a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n + e_1 \\ r_2 &= a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n + e_2 \\ &\dots \\ r_i &= a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{in} x_n + e_i \end{aligned} \quad \text{Eq.01}$$

Onde,  $r_i$  : reflectância espectral na  $i^{\text{ésima}}$  banda espectral de um pixel;  $a_{ij}$ : reflectância espectral conhecida do  $j^{\text{ésimo}}$  componente na  $i^{\text{ésima}}$  banda espectral;  $x_j$ : valor a ser estimado de proporção do  $j^{\text{ésimo}}$  componente dentro do pixel;  $e_i$ : erro de estimação para a  $i^{\text{ésima}}$  banda espectral. Os componentes puros foram selecionados através da análise do diagrama de espalhamento 3-D (bandas 3, 4 e 5) a partir do exame minucioso de suas respectivas respostas espectrais.

Para o cálculo da área foi utilizada a classificação rígida através do fatiamento de histograma. Considerou-se um limiar conservador para todas as imagens de 50%. Ou seja, áreas com valores de fração sombra acima de 50% foram considerados como espelhos d'água. Ressalta-se que os valores contaminados por sombras de nuvens foram editados a fim de se evitar confusão entre as classes.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A TABELA 1 apresenta os dados pluviométricos médios mensais, os totais anuais e suas diferenças entre os anos de 2003, 2004 e 2005. Nela pode-se observar um aumento gradual nos totais anuais, havendo um acréscimo de 238,61 mm em 2004, em relação a 2003 e de 220,49 mm em 2005, a mais que 2004. Pode-se perceber ainda a distribuição mensal das chuvas que no ano de 2005 apresentou melhor distribuição em relação aos dois anos anteriores, havendo inclusive volumes expressivos nos meses de "inverno".

TABELA 1 - Dados pluviométricos ocorridos nos anos de 2003, 2004 e 2005.

Mês/Ano	2003	2004	2005
<b>Janeiro</b>	219,20	169,91	223,80
<b>Fevereiro</b>	15,50	85,20	63,20
<b>Março</b>	148,00	173,30	163,80
<b>Abril</b>	80,70	105,30	54,70
<b>Mai</b>	85,80	56,50	56,50
<b>Junho</b>	0,40	32,50	106,30
<b>Julho</b>	35,80	84,10	58,30
<b>Agosto</b>	50,90	13,90	5,00
<b>Setembro</b>	39,30	3,00	129,80
<b>Outubro</b>	66,90	63,00	31,00
<b>Novembro</b>	65,90	80,00	218,20
<b>Dezembro</b>	110,60	290,90	267,50
<b>Total</b>	919,00	1157,61	1378,10
<b>Diferença</b>	+	238,61	220,49

Fonte: Estação Evapotranspirométrica da UENF

A análise das imagens de satélite permite compreender e visualizar em escala regional, a dimensão dos danos causados pelas precipitações pluviométricas ocorridas na região de estudo. A Figura 01 apresenta as imagens 1 a 7 apresentam uma composição RGB-1-2-3 dos recortes da área da Baixada Campista, referentes aos dias 15/12/2003, 18/12/2004, 15/01/2005, 05/12/2005, 21/12/2005, 30/12/2005 e 15/01/2006 e suas respectivas estimativas das áreas dos espelhos d'água obtidos pelo modelo de mistura, aplicado sobre uma grade de divisão político-administrativa sobre os recortes da área da Baixada Campista.

FIGURA 1: Composição RGB 1-2-3 e estimativa das áreas ocupadas com espelho d'água na região de estudo:

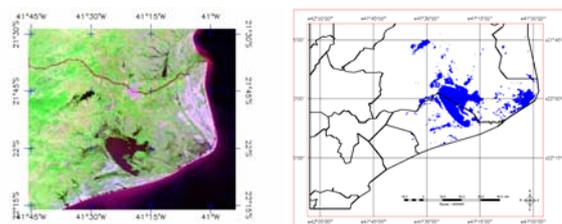


Imagem 01: Dia 15/12/2003

Área estimada ±463 km<sup>2</sup>

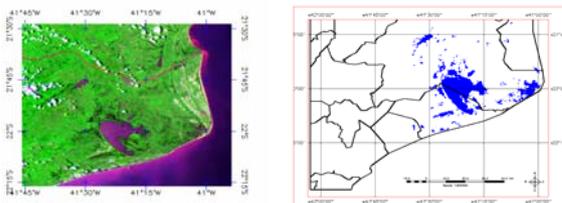


Imagem 02: Dia 18/12/2004

Área estimada ±436 km<sup>2</sup>

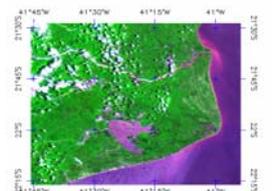
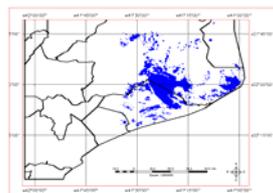


Imagem 03: Dia 15/01/2005



Área estimada ±583 km<sup>2</sup>

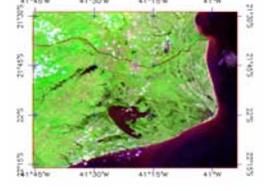
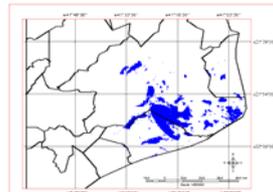


Imagem 04: Dia 05/12/2005



Área estimada ±530 km<sup>2</sup>

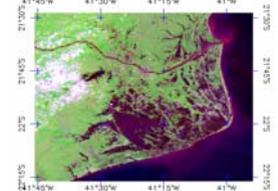
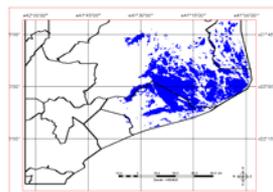


Imagem 05: Dia 21/12/2005



Área estimada 1159 km<sup>2</sup>

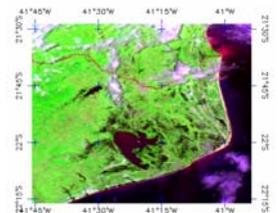
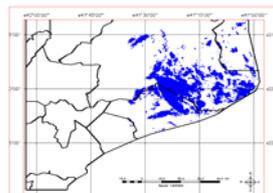


Imagem 06: Dia 30/12/2005



Área estimada ±829 km<sup>2</sup>

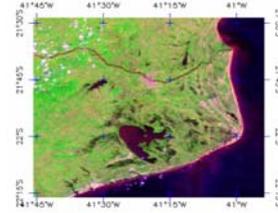
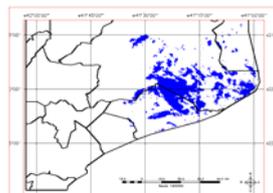


Imagem 07: Dia 15/01/2006



Área estimada ±674 km<sup>2</sup>

O Gráfico 01 apresenta a consolidação das áreas do espelho d'água estimadas pelo modelo de mistura para os recortes de cena dos dias 15/12/2003, 18/12/2004, 15/01/2005, 05/12/2005, 21/12/2005, 30/12/2005 e 15/01/2006. A resolução espacial de 250 m utilizada neste trabalho, apesar de não inferir precisão absoluta a essas estimativas, infere valores aceitáveis como próximo ao valor real.

Observando os valores do Gráfico 01, pode-se perceber um aumento progressivo no volume total da precipitação anual entre os anos de 2003, 2004 e 2005. No entanto, observando as imagens 1, 2 e o Gráfico 01, constata-se que apesar de ter havido um volume expressivo de chuvas entre os meses de outubro a dezembro de 2004, não ocorreu nenhuma alteração

significativa entre as duas imagens. O grande volume de chuva ocorrido no mês de janeiro/05 justifica o comportamento espectral observado nos recortes da imagem do dia 15/01/2005.

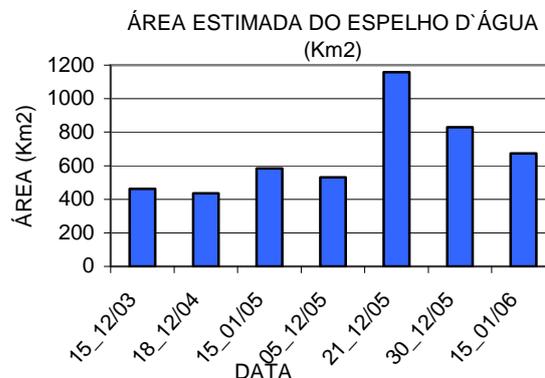


Gráfico 01: Área do espelho d'água, em Km<sup>2</sup>

Os eventos de chuvas de grandes volumes ocorridos durante o ano de 2005, notadamente nos meses de janeiro, junho e setembro, mantiveram os solos saturados durante todo o ano. Esses eventos, aliados à baixa condutividade hidráulica dos solos, ao abandono das atividades de manutenção e limpeza dos canais de drenagem e a política de gestão adotada pelos órgãos governamentais de inserção direta sobre a rede hidráulica, especificamente da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Defesa Civil de Campos dos Goytacazes e do escritório regional da Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas - SERLA em manter elevado o nível da Lagoa Feia, principal corpo hídrico regulador do nível do lençol freático da Baixada Campista, proporcionou uma condição de grande saturação hídrica nos solo da região (imagem 5).

Esse conjunto de fatores reflete o equívoco na política de gerenciamento dos recursos hídricos da região, cujos gestores, contrariando a Lei Federal que regulamenta o uso múltiplo das águas, optaram por uma política centralizadora, negando a participação dos usuários nas decisões coletivas.

O regime pluviométrico da região Norte Fluminense, RJ indica a necessidade de ações preventivas referentes à manutenção e desobstrução da rede de canais, manejo de comportas e principalmente redução nos volumes de água armazenados nos corpos hídricos a fim de se permitir o recebimento e fácil escoamento das águas provenientes das fortes chuvas que ocorrem no verão, tais como as que foram registradas no mês de dezembro de 2005, especificamente nos dias 2, 11, 12 e 13 e que não encontraram condições de escoamento devido a baixa condutividade hidráulica e forte saturação dos solos, além do elevado nível batimétrico da Lagoa Feia que culminaram com a inundação de aproximadamente 63.000 hectares de terras agricultáveis, gerando enormes prejuízos ao setor agropecuário regional. As imagens 6 e 7 ilustram o comportamento da Baixada Campista 20 e 35 dias após os eventos de chuvas ocorridos entre os

dias 9 e 11/12/05. Pode-se perceber claramente a lentidão no escoamento das águas das áreas inundadas.

A imagem 7 indica que no dia 15/01/2006 ainda havia cerca de 15.000 hectares de áreas inundadas na região da Baixada Campista, tendo como referência o dia 05/12/2005 e cerca de 21.000 ha se a comparação for com o dia 15/12/2003, apesar de todo o investimento financeiro em ações mitigatórias implementados pelas prefeituras locais.

#### 4. CONCLUSÃO

As imagens MODIS das datas analisadas mostram que as chuvas de meados de dezembro de 2005 incrementaram de forma significativa os corpos d'água na região estudada ocasionando inundações de áreas agrícolas. A área do espelho d'água, calculada em 21/12/2005 e tendo como referência o dia 05/12/2005, expandiu-se por aproximadamente 63.000 hectares. Em 30/12/2005 e 15/01/2006 a área do espelho d'água, calculada com referência ao dia 05/12/2005, ainda apresentava uma expansão de aproximadamente 30.000 ha e 15.000 ha respectivamente. A metodologia adotada utilizando imagens MODIS e software disponibilizados gratuitamente na internet se mostraram eficientes para auxiliar a gestão dos recursos hídricos da Baixada Campista, região Norte Fluminense, RJ.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J.D. **Cobrança pelo uso da água nas transposição das bacias do rio Paraíba do Sul envolvendo o setor elétrico**. Tese de Doutorado – Laboratório de hidrologia da Coppe - UFRJ. 2001. 201p.

FENORTE/TECNORTE - Projeto de Revitalização dos canais da Baixada Campista. **Relatório de Gestão**. Campos dos Goytacazes, 2002. 463p.

LAMEGO, A.R., *Geologia das quadrículas de Campos, São Tomé, Lagoa Feia e Xexé*. **Boletim 154**. DNPM. Rio de Janeiro.1955. 60p.

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**, v. 29, p. 16-20, 1991.

Portal da EOS/USGS para solicitação de Imagens MODIS  
<<http://hedcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>>,  
acessado em 20/04/2006