

## MAPEAMENTO DE ECOSISTEMAS ALAGÁVEIS DO RIO AMAZONAS A PARTIR DO MOSAICO DIGITAL TM-LANDSAT - ESCALA REGIONAL

RAMON MORAIS DE FREITAS<sup>1,2</sup> (UBC, BOLSISTA PIBIC)  
EVLYN MÁRCIA DE LEÃO MORAES NOVO<sup>2</sup> (DSR/INPE)  
YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO<sup>2</sup> (DSR/INPE)

<sup>1</sup>Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC no INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
E-mail: ramon@ltid.inpe.br

<sup>2</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{evlyn, yosio}@ltid.inpe.br

**Abstract.** This paper reports the preliminary findings of a science training research project carried out as part of a LBA-Ecology Project. It reports the experiment performed to assess the effect of image spatial resolution in identification and mapping of the various wetland ecosystems found in the Amazon river floodplain. A Landsat TM digital mosaic radiometrically rectified was resampled to 100m x 100m and 250m x 250m resolution to emulate the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spatial resolution. Both data sets were then submitted to the same digital processing procedure as follows: a) application of the linear mixing algorithm to generate fraction images corresponding to soil, vegetation and shade; b) each fraction image was then submitted to image segmentation and region classification unsupervised algorithm. The results were statistically analyzed leading to the conclusion that the 250 m x 250 m spatial resolution mosaic did not allow the correct assessment of the area occupied by the floodplain habitats. Therefore the 100m x 100m spatial resolution mosaic will be used to perform the same analysis for the entire Amazon River floodplain. Next steps of the research will focus on the use of current MODIS images whose improved radiometric and spectral resolution may compensate for the poorer spatial resolution.

**Keywords:** Remote Sensing, Image Processing, Wetland Ecosystem.

### 1. Introdução

A Planície do Rio Amazonas é uma área estratégica no campo científico, uma vez que não existe o conhecimento completo de seus ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, bem como sobre o impacto que sua alteração pode trazer sobre os processos globais do planeta Terra. Essa falta de conhecimento deriva, em parte, das dimensões da Amazônia brasileira e da diversidade e complexidade dos ecossistemas ali existentes (Junk, 1985). Em regiões vastas e de difícil acesso, como a Amazônia, os dados de Sensoriamento Remoto são essenciais para a aquisição de informações sobre o território.

Sensoriamento Remoto pode ser compreendido como o campo do conhecimento multidisciplinar que permite a aquisição de informações sobre objetos, áreas ou fenômenos da superfície terrestre, à distância (Lillesand e Kiefer, 1987). Geoprocessamento, por sua vez, pode ser conceituado como o conjunto de técnicas computacionais e matemáticas que permitem não só, o processamento de imagens, como também a integração das informações derivadas de imagens a outras bases de dados, e sua modelagem no espaço e no tempo ampliando a eficácia dos métodos de sensoriamento remoto (INPE-DPI, 2002a).

O objetivo desse trabalho é avaliar o efeito da resolução espacial das imagens sobre a identificação e mapeamento de ecossistemas alagáveis da Planície do Rio Amazonas. Uma das questões fundamentais que limitam o uso de dados de sensoriamento remoto é a da definição dos requisitos mínimos de resolução espacial, radiométrica, e temporal necessários para atender às necessidades de informação sobre a superfície terrestre. Existe atualmente um conflito entre os que pleiteiam uma redução significativa da resolução espacial em favor do

aumento da frequência de re-visita de um dado sensor. Assim sendo, coexistem sensores de alta resolução espacial, como o ETM+ do Landsat 7 (30 m x 30 m) e baixa frequência de aquisição (16 dias) com sensores de baixa resolução espacial como o MODIS (250 m x 250 m, 500m x 500m e 1km x 1km) e alta frequência de re-visita (1 dia). Na definição de um novo sensor brasileiro para ser colocado a bordo do satélite CBERS-3, existe um impasse latente entre os que desejam manter uma alta taxa de re-visita e os que desejam uma melhor resolução espacial.

Os requisitos de re-visita e resolução espacial, entretanto, dependem das necessidades de informação de diferentes aplicações. O monitoramento de ecossistemas alagáveis da planície de inundação do rio Amazonas requer uma alta frequência de aquisição de imagens, pois são sistemas extremamente dinâmicos, cuja composição e extensão varia rapidamente em função de forçantes hidrológicas e climáticas. Assim sendo, há um interesse em se priorizar, em princípio, a frequência de re-visita em detrimento de resolução espacial. A questão que se coloca, entretanto nesse trabalho, é o do limite máximo a que se deva degradar a resolução espacial sem que haja perda significativa de informação.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Sensor TM/Landsat

O sensor Thematic Mapper – TM integra o Sistema Landsat desde 1982, na plataforma Landsat-4, estando presente no satélite Landsat 5, desde o seu lançamento ocorrido em 1984, e recentemente desativado. À época de seu lançamento era um sistema avançado de varredura multiespectral concebido para proporcionar: resolução espacial mais fina (30m x 30m), melhor discriminação espectral entre os objetos da superfície terrestre (7 bandas), maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica em relação ao sensor MSS (Multispectral Scanner Subsystem), que também integrava o sistema Landsat, desde o lançamento do primeiro da série, na década de 70. (Novo, 1989). O último satélite, até o momento, lançado em abril de 1999, entrou em órbita com o sensor ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus que conta com uma banda pancromática (resolução espacial de 15m) e um canal termal (resolução de 60 m). Informações referentes ao sistema Landsat, assim como descrições detalhadas dos sensores podem ser encontradas no website da NASA: (<http://landsat.gsfc.nasa.gov> e <http://rst.gsfc.nasa.gov>).

### 2.2 Mosaico Digital da Planície do Rio Amazonas

Para a realização da pesquisa foi utilizado como base de dados o Mosaico Digital do Rio Amazonas (**Figura 2**) elaborado por Shimabukuro et al. (1998) a partir de imagens do sensor TM Landsat-5. Esse mosaico foi incorporado a um banco de dados organizado em ambiente SPRING. As características do mosaico e os procedimentos utilizados em sua geração podem ser encontrados em Shimabukuro et al. (1998).



**Figura 2** - Mosaico Digital da Planície do Rio Amazonas (Fonte: Shimabukuro et al., 1998).

### 2.3 Modelo Linear de Mistura Espectral

Problemas de mistura espectral ocorrem em imagens de Sensoriamento Remoto devido à resolução espacial dos sensores que, em geral, permite que um elemento de cena (correspondente a um pixel da imagem) inclua mais de um tipo de cobertura do terreno. Quando um sensor observa a cena, a radiância detectada é a integração, denominada *mistura*, da energia proveniente de todos os objetos, denominados *componentes da mistura*, contidos no elemento de cena.

A aplicação do modelo de mistura visa gerar imagens sintéticas, que representem as proporções de cada componente da mistura dentro dos pixels, isto é, o número de bandas originais é reduzido para o número de componentes do modelo de mistura.

Em um Modelo Linear de Mistura Espectral, o valor do pixel em qualquer banda espectral é considerado como a combinação linear da resposta de cada componente dentro do pixel, o que pode ser matematicamente representado por:

$$r_1 = a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1n} X_n + e_1$$

$$r_2 = a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{2n} X_n + e_2$$

...

$$r_m = a_{m1} X_1 + a_{m2} X_2 + \dots + a_{mn} X_n + e_m$$

onde,

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} X_j) + e_i, \quad i = 1, \dots, m \text{ (número de bandas)}$$

$$j = 1, \dots, n \text{ (número de componentes)}$$

$$n \leq m \text{ e}$$

$\sum$  = somatório

onde:

$r_i$  : reflectância espectral na  $i^{\text{ésima}}$  banda espectral de um pixel (i.e., valor do pixel na banda  $i$ , convertido para valor de reflectância).

$a_{ij}$  : 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

$e_i$  : erro de estimação para a  $i^{\text{ésima}}$  banda espectral.

As estimativas dos  $X_j$  estão sujeitas às seguintes restrições:

$$\sum_{j=1}^n X_j = 1$$

$$0 \leq X_j \leq 1$$

Estas restrições são impostas porque os  $X_j$  representam proporções de área dentro de um elemento de cena (INPE-DPI, 2002b).

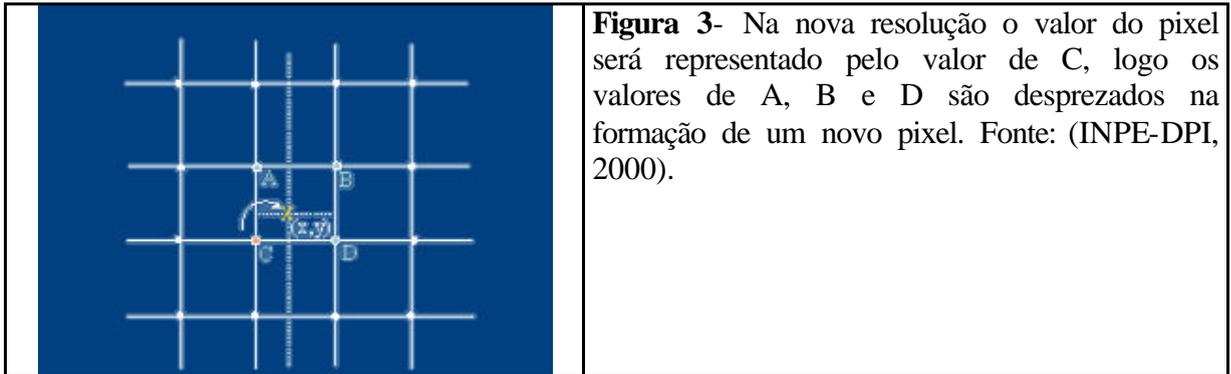
### 2.4 Segmentação e Classificação de Imagens

O método de segmentação visa isolar um conjunto de pixels que representam uma mesma região. Neste processo, divide-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões, um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidades. (INPE-DPI, 2000c).

A Classificação de Imagens é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e regiões homogêneas. Os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que possuem as mesmas propriedades espectrais em imagens digitais. (INPE-DPI, 2002d).

### 2.5 Re-Amostragem do Mosaico

Neste processo a imagem foi transformada de uma resolução espacial de 100m X 100m para 250m X 250m. Para isto, o software SPRING utiliza o algoritmo **Vizinho Mais Próximo** (Nearest Neighbor Algorithm) (Schott, 1997). O método do vizinho mais próximo arredonda para o inteiro mais próximo o resultado do mapeamento inverso, que é um número real. Ou seja, é um método que usa o valor do pixel mais próximo. Na **Figura 3**, a seguir, pode-se perceber este processo.



**Figura 3-** Na nova resolução o valor do pixel será representado pelo valor de C, logo os valores de A, B e D são desprezados na formação de um novo pixel. Fonte: (INPE-DPI, 2000).

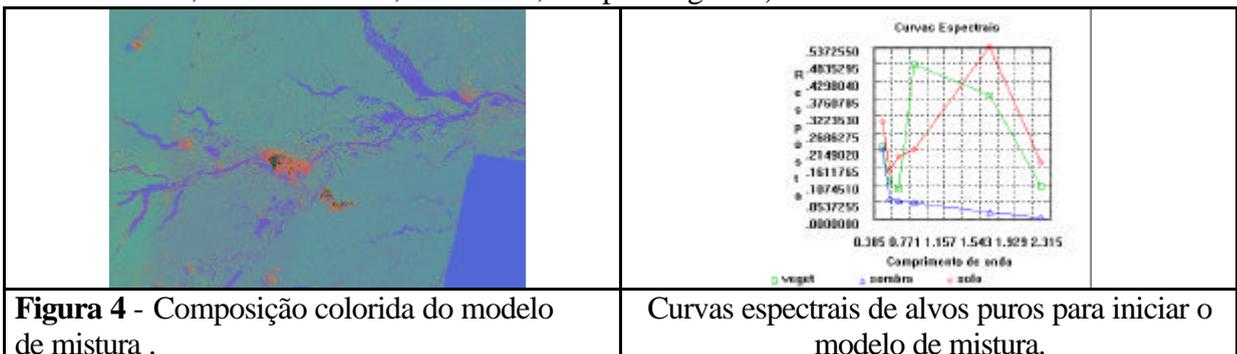
## 3. Metodologia

### 3.1 Aplicação do Modelo de Mistura

Tendo em vista que os alvos que compõem os ecossistemas alagáveis representam uma mistura de plantas de diferentes portes (macrófitas flutuantes, enraizadas, floresta de igapó, floresta inundável, campos e savanas inundáveis), solos e águas turbas, sombras e águas negras, foram definidos três componentes puros (endmembers) a partir da análise de seu comportamento espectral como pode ser visto no **gráfico da figura 4**.

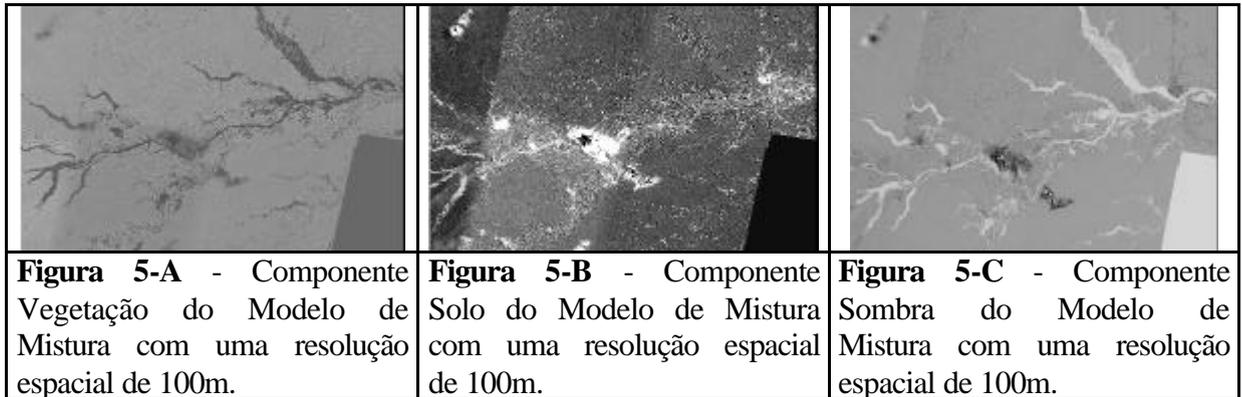
O modelo de mistura foi implementado tendo como dados de entrada as 6 bandas TM-Landsat do espectro reflexivo. Elas foram utilizadas para gerar as curvas espectrais dos componentes puros de cada pixel, ou seja: Veget (vegetação), Sombra e Solo conforme pode ser observado no **gráfico da Figura 4**. O método de ajuste do modelo escolhido foi o M.Q.P. (Mínimos Quadrados Ponderado), pois, é o método mais geral, que busca a solução interativamente com 3 variáveis para as três componentes.

Com a aplicação do modelo, foram geradas três imagens fração que podem ser observadas nas **Figuras 5-A, 5-B e 5-C**, que representam, respectivamente, a componente Vegetação, Solo e Sombra. A análise dos componentes individuais permitiu verificar que a componente Sombra propiciava a melhor separabilidade das classes de interesse, quais sejam: água, vegetação densa (floresta), nuvem e vegetação pouco densa (áreas sujeitas a desmatamento, bancos de areia, macrófitas, campos alagáveis).



**Figura 4 -** Composição colorida do modelo de mistura .

Curvas espectrais de alvos puros para iniciar o modelo de mistura.



### 3.2 Segmentação e Classificação de Imagens

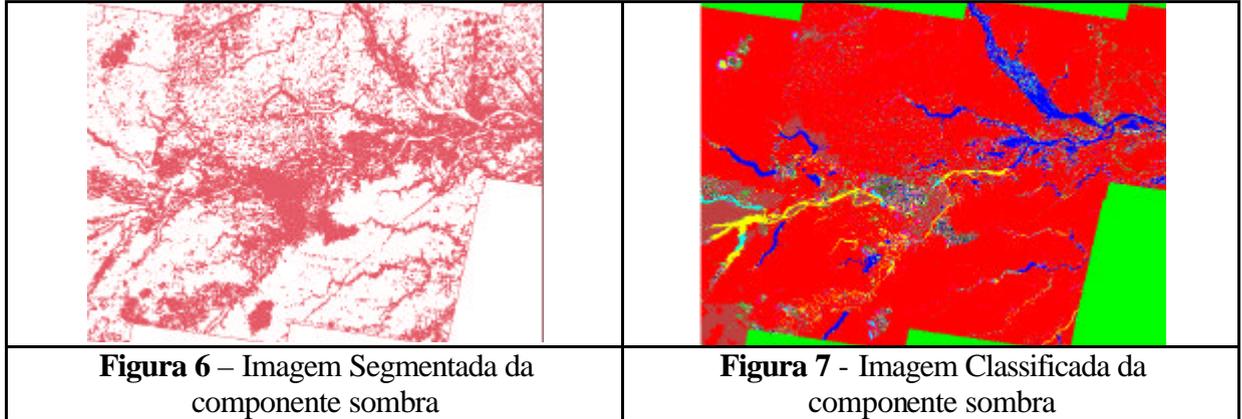
Cada imagem-fração gerada pelo modelo de mistura foi submetida à segmentação, tendo sido gerada sua respectiva imagem-segmentada (**Figura 6**) usando o método de Crescimento de Regiões; Adotou-se como limite de similaridade e tamanho da área (em píxel), **5** e **10**, respectivamente, na resolução de 100m. Para segmentação das imagens de 250m(**Figura 8**) foram utilizados limite de similaridade igual **5** e área igual a **4** para se manter constante o tamanho da região no terreno . Também foi usada a opção de suavização de arcos que visa diminuir o número de pontos da linha.

O limite de similaridade está relacionado à variação do nível de cinza para formação de uma região homogênea. Já o tamanho da área em pixel é dado pela menor área aceita para formação de uma região homogênea. Ou seja, com uma resolução de 100mX100m(cada pixel representando 1ha), logo, uma matriz de 10X10 pixels (representam 100ha). Assim, com uma resolução de 250mX250m(cada pixel representa 6,25ha), sendo necessário, então uma matriz de 4X4 pixels para representar esta mesma área (100ha).

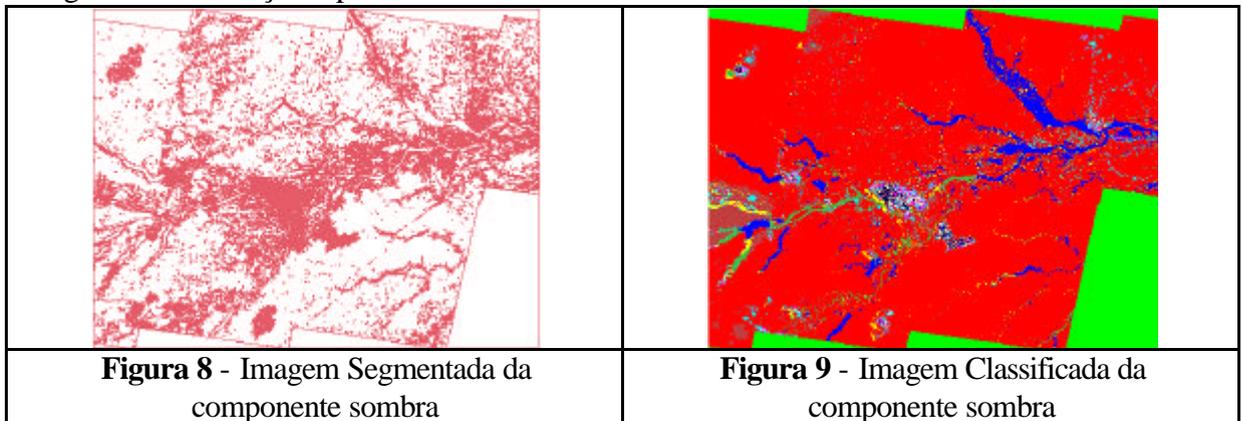
Após a geração das três imagens segmentadas, criou-se um arquivo contexto para cada tema (solo, vegetação e sombra). Este arquivo armazena que bandas serão utilizadas no processo de classificação neste caso, cada banda gerada pelo modelo de mistura. Executado a coleta e análise de amostras, as quais permite verificar a validade dos dados, foi gerada uma imagem classificada para cada tema, utilizando o classificador não-supervisionado ISOSEG (algoritmo de agrupamento de dados) com Limiar de aceitação de 90%. O limiar de aceitação, dado em porcentagem, define uma distância de Mahalanobis (que considera a distância de um ponto e a distribuição de probabilidade da classe), de forma que todas regiões pertencentes a uma dada classe estão distantes da classe por uma distância inferior a esta. Quanto maior o limiar, maior esta distância e conseqüentemente maior será o número de classes detectadas pelo algoritmo.(INPE-DPI,2002d).

Logo após, foi executado o Mapeamento em cada imagem classificada, gerando assim imagens temáticas (**Figura 7 e 9**). Depois do mapeamento das imagens, aplicou-se a Edição Matricial na imagem Temática com intuito de corrigir os erros gerados na classificação, diminuindo então, a divergência entre a imagem Temática e a Sintética RGB.

Imagens com resolução espacial de 100m.



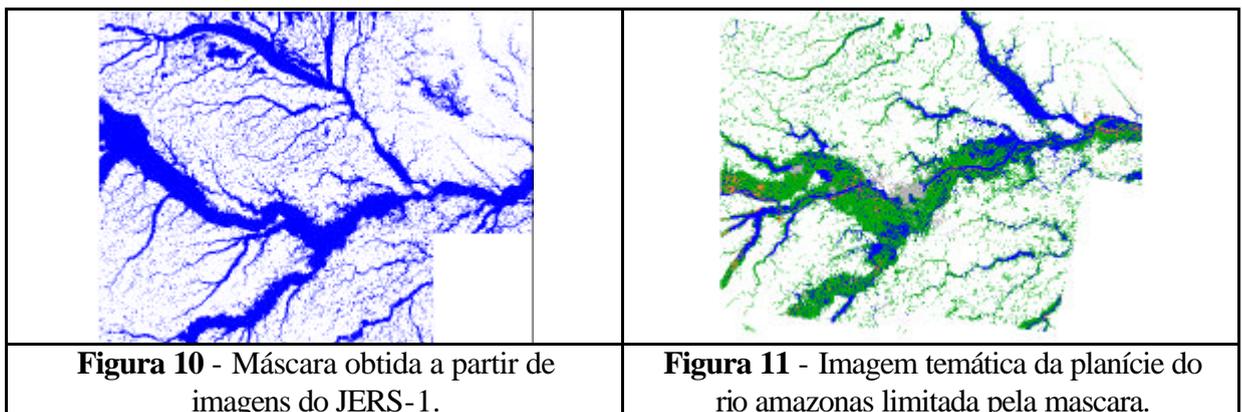
Imagens com resolução espacial de 250m.



### 3.3 Aplicação da Máscara da Planície Amazônica

Para a delimitação da área de estudo foi utilizada uma máscara de Planície da Bacia Amazônica utilizando dados JERS-1 banda L multi-data. Embora as imagens SAR (Synthetic Aperture Radar) geradas a partir de uma frequência única tenham significantes limitações, os dados JERS-1 são os únicos disponíveis para toda a bacia amazônica e que não são obstruídos por cobertura de nuvens, uma constante na região (Barbosa, 2000). A máscara representa toda área sujeita à inundação ao longo da bacia do Rio Amazonas.

A partir da linguagem de programação LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), foi possível editar instruções para aplicação da máscara (**Figura 10**) na imagem temática (**Figura 11**).



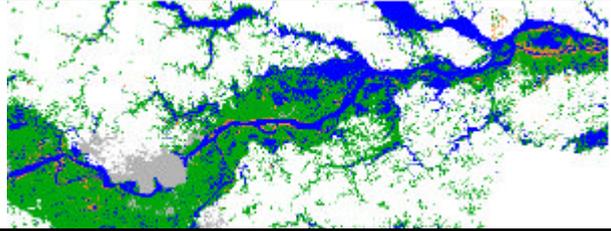
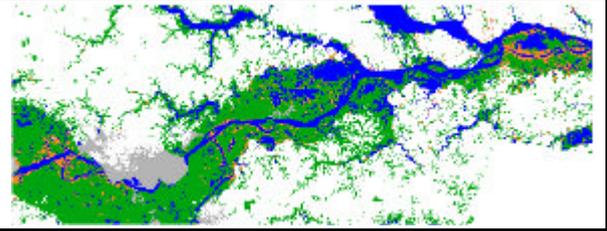
### 3.4 Re-Amostragem do Mosaico

Para re-amostrar o mosaico foi criado um plano de informação de 250m X 250m e então, feita a mosaicagem a partir do plano de informação contendo o mosaico com uma resolução de 100m X 100m.

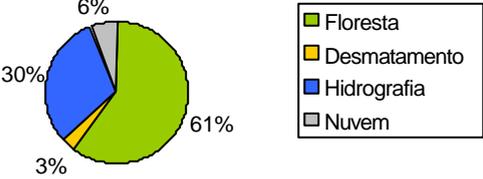
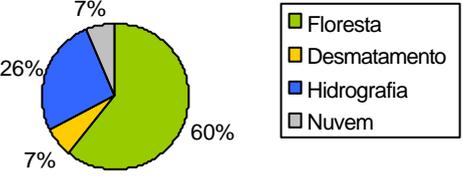
### 4. Resultados e Conclusões

Devido a grande extensão territorial da planície do Rio Amazonas, a área de estudo (**Figura 13 e 14**) escolhida para comparação das resoluções está delimitada pelo retângulo envolvente (6° 35' 14,30'' W, 59° 23' 11,28'' W, 4° 9' 48,86'' S, 2° 57' 5,52'' S), compreendendo uma área classificada de maior que 19.000 km<sup>2</sup>.

Imagens Temáticas obtidas para comparação das resoluções espaciais:

	
<b>Figura 13</b> – Res. Espacial de 100m X 100m, Área (km <sup>2</sup> ) floresta: 12.033,89; desmatamento: 6.24,57; lagos e rios: 6.046,98 ; nuvem: 1.207,46.	<b>Figura 14</b> – Res. Espacial de 250m X 250m, Área (km <sup>2</sup> ) floresta: 12.177,25; desmatamento: 1.330,50; lagos e rios: 5.100,75; nuvem: 1.301,12.

A aplicação do modelo de mistura com uma resolução de 100m mostrou-se mais satisfatória que na resolução de 250m, isto porque no processo de re-amostragem as perdas da resolução espacial foram consideráveis. Com o mosaico numa resolução de 250m e executando os mesmos procedimentos de segmentação e classificação, a área classificada como região desmatada (todas formas de ocupação do solo diferentes de floresta) foi 42 % maior (**Gráfico 2 e 3**), o que demonstra aumento na probabilidade de erro.

<p><b>Áreas Classificadas com uma Resolução Espacial de 100mX100m</b></p>  <p>6% 30% 3% 61%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">■</span> Floresta</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> Desmatamento</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Hidrografia</li> <li><span style="color: gray;">■</span> Nuvem</li> </ul>	<p><b>Áreas Classificadas com uma Resolução Espacial de 250mX250m</b></p>  <p>7% 26% 7% 60%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">■</span> Floresta</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> Desmatamento</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Hidrografia</li> <li><span style="color: gray;">■</span> Nuvem</li> </ul>
<b>Gráfico 2</b>	<b>Gráfico 3</b>

Com uma resolução de 100m temos a área de cada pixel igual a 1 ha, e com a resolução de 250m, cada pixel representa 6,25 ha, isto demonstra que no processo de re-amostragem (algoritmo **Vizinho Mais Próximo**) há uma perda de 5,25 ha para cada novo pixel formado com esta resolução (250m), pois, seriam necessários 6,25 elementos de pixel numa resolução de 100m para representar 1 elemento de pixel na resolução de 250m. É interessante ressaltar que a maior variação entre os **gráficos 1 e 2** está justamente nas regiões

classificadas como *desmatadas e hidrografia(lagos e rios)*, o que pode ser explicado também pela forma geométrica alongada característica dessas classes.

A partir desta simulação foi escolhida a resolução espacial de 100m para que a mesma metodologia de processamento de imagens seja aplicada em todo o Mosaico Digital da Planície do Rio Amazonas.

## 5. Referências Bibliográficas

BARBOSA, C.C.F.; HESS, L.L.; MELACK, J.M.; NOVO, E.M.L.M. "Mapping Amazon Basin Wetlands Trough Region Growing Segmentation and Segmented-Based Classification JERS-1 Data". Proceedings of the IX Latin-American Symposium on Remote Sensing held at Universidad Nacional de Lujan, Misiones, Argentina, Nov-2000.

JUNK, W.J. *Capacidade de suporte de ecossistemas: Amazônia como estudo de caso*. In: TORNISIELO, S.M.T., GOBBI, N., FORESTI, C., LIMA, S.T. - Cap. 02- Unesp, São Paulo, 1995, p. 51-53.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. 2. Ed. New York: J. Wiley, 1987, 850p.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. *The Remote Sensing Tutorial*. [on-line]. <<http://rst.gsfc.nasa.gov/start.html>>, outubro de 2002.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. *History of Remote Sensing: Landsat's Thematic Mapper (TM)*. [on-line]. <[http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2\\_20.html](http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_20.html)>, julho de 2002.

NOVO, E.M.L.M. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. p.308.

SCHOTT, J.R. *Remote Sensing: The Image Chain Approach*, New York, Oxford University Press, 1997.

SHIMABUKURO, Y.E.; NOVO, E.M.L.M.; LEAL, A.K.M. *Mosaico Digital de Imagens Landsat-TM da Planície do Rio Solimões-Amazonas no Brasil*. São José dos Campos. (INPE-6746-RPQ/681)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI – Divisão de Processamento de Imagem, 2000, [on-line]. *Processamento Digital de Imagens*. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/%7Eleila/pagepdi.html>>, fevereiro de 2000.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI – Divisão de Processamento de Imagem, 2002a.[on-line]. *Introdução ao Geoprocessamento*. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/geoproc.htm>>, agosto de 2002.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI – Divisão de Processamento de Imagem, 2002b. [on-line]. *Modelo de Mistura*. Disponível em <[http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c\\_mix.htm](http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c_mix.htm)>, setembro de 2002.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI – Divisão de Processamento de Imagem, 2002c [on-line]. *Segmentação de Imagens*. Disponível em <[http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c\\_segmen.htm](http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c_segmen.htm)>, setembro de 2002.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI – Divisão de Processamento de Imagem, 2002d [on-line]. *Classificação de Imagens*. Disponível em <[http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c\\_clapix.htm](http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c_clapix.htm)>, setembro de 2002.