

## Avaliação de técnicas de reamostragem de dados de uso e cobertura da terra para resolução espacial moderada (MODIS)

Marcus Andre Fuckner<sup>1</sup>  
Ramon Morais de Freitas<sup>1</sup>  
Pablo Santana Santos<sup>1</sup>  
Antônio Roberto Formaggio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{ramon, marcus, santos, formag}@dsr.inpe.br

**Abstract.** This paper compare thematic maps obtained from resampling of medium spatial resolution data for moderate resolution through of the application of unmixing, nearest neighbor and bilinear techniques, considering the RMSE and bias statistics. The study area is Aguanil, Minas Gerais State. The results allow to conclude that error is directly proportional on the rise of the spatial degradation and that the nearest neighbor interpolator show, considering the three distinct resampling techniques, the biggest correlations to reference map, considering distinct land use classes, with high or low representativity in the total area.

**Palavras-chave:** spatial resolution, cropland, resampling, unmixing, nearest neighbor, bilinear, resolução espacial, agricultura, reamostragem, *unmixing*, vizinho mais próximo, bilinear.

### 1. Introdução

Mapas de distribuição espacial das classes agrícolas podem ser comumente gerados a partir da classificação de imagens Landsat obtidas nos diferentes estádios de crescimento das culturas. Todavia, fatores como a resolução temporal do satélite Landsat em relação à incidência de nuvens, principalmente durante o ciclo agrícola, tornam necessária a obtenção de dados com uma alta frequência temporal, justificando então o uso de dados de outros sensores remotos, como o MODIS, presente nos satélites Terra e Aqua (NASA, 2006 a, b).

A combinação de diversas vantagens dos dados coletados pelo sensor MODIS, tais como a alta frequência temporal de imageamento, a diversidade de produtos, um significativo número de bandas espectrais (36), além da gratuidade dos dados, estende seu potencial de aplicação em usos agrícolas, assim como no monitoramento do desflorescimento e na classificação da cobertura vegetal.

No entanto, um pixel MODIS (250, 500 ou 1000 metros de resolução espacial) representa, em geral, a radiância de um conjunto de elementos do terreno, que podem ser: água, estradas, solos expostos, culturas agrícolas, pastagens, florestas, edificações ou ainda sombras. A heterogeneidade espacial de um ambiente influi na sua heterogeneidade espectral e isto pode trazer erros à classificação de imagens de resoluções intermediárias e baixas, como as do sensor MODIS. Como exemplo, pixels de áreas urbanas em imagens de média resolução espacial são extremamente misturados espectralmente.

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi quantificar e avaliar a influência de diferentes resoluções espaciais para a extração de informação dos alvos terrestres a partir de mapas temáticos de uso e cobertura da terra. O ponto de partida é a reamostragem de dados obtidos por sensores de média resolução espacial, neste caso, da ordem de 30 metros, através das técnicas de *unmixing* e pela aplicação dos interpoladores vizinho mais próximo e bilinear.

### 2. Fundamentação Teórica

A resolução espacial de um sistema sensor está associada à sua capacidade de discretizar alvos próximos entre si e depende do número e dimensão dos elementos sensores, bem como da altitude de operação e da distância focal do sistema óptico.

O estudo do impacto da degradação da resolução espacial de uma imagem – aumento no tamanho do pixel – sobre a classificação de diferentes tipos de uso e cobertura da terra tem sido o enfoque de diferentes pesquisas, com aplicação à agricultura (Pax-Lenney e Woodcock, 1997), floresta (Ponzoni e Rezende, 2002), monitoramento do desflorestamento (Morton et al., 2005; Costa e Souza Júnior, 2005), entre outras.

Pax-Lenney e Woodcock (1997) concluíram que as estimativas de terras produtivas no Egito foram subestimadas com a degradação da resolução TM para 120, 340, 480 e 960 metros, havendo também um aumento do erro em função do aumento do tamanho do pixel.

Ponzoni e Rezende (2002) observaram que, para a estimativa de áreas florestais na Amazônia, as maiores discrepâncias em termos quantitativos ocorreram nos mapas gerados a partir das imagens com 200 metros de resolução espacial, e as categorias que dominavam a cena em termos espectrais e espaciais aumentaram em área à medida que a resolução espacial foi degradada.

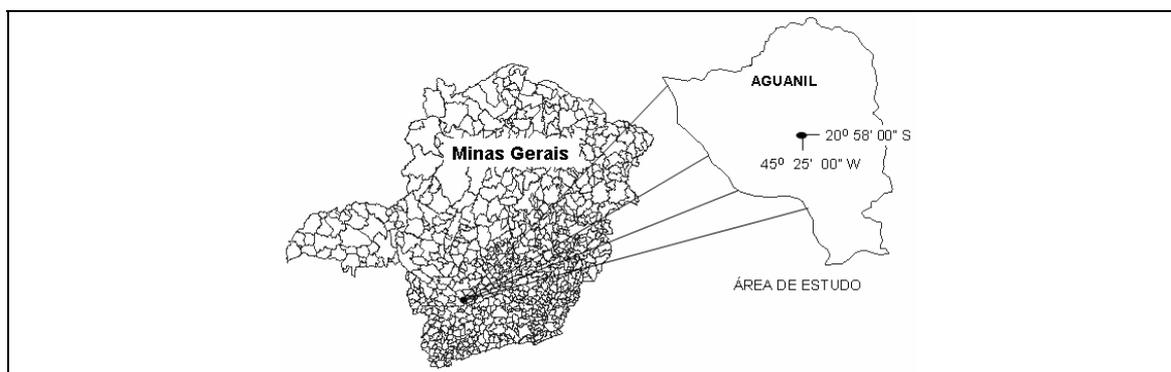
Os resultados obtidos no trabalho de Costa e Souza Júnior (2005) mostram que as imagens MODIS com resolução de 250 metros possuem elevada acurácia para detectar desmatamento em áreas maiores que três hectares. Além disso, as imagens MODIS podem ser usadas para estimar a área desmatada de incrementos maiores que 70 hectares, com erro menor que 5% relativo às estimativas de área obtidas com imagens Landsat.

Uma das técnicas empregadas na tentativa de mitigar o problema da mistura espectral é o *unmixing*. Esta técnica tem sido utilizada em trabalhos como o de Lobell e Asner (2004) e apresentado resultados significativos, na tentativa de capturar, ao invés de ignorar, a heterogeneidade sub-pixel.

Para Morton et al (2005), *spectral unmixing* de dados de reflectância da superfície do sensor MODIS (produto MOD09) nas resoluções espaciais de 250 e 500 metros são úteis para a classificação de diferentes tipos de cobertura da terra.

### 3. Material e Métodos

Este trabalho tem como área de estudo o município de Aguanil, centro-sul do Estado de Minas Gerais (**figura 1**), região sudeste do Brasil, com coordenadas geográficas centrais de 20° 58' de latitude sul e 45° 25' de longitude oeste. O município é caracterizado por solos de baixa fertilidade de relevo ondulado.

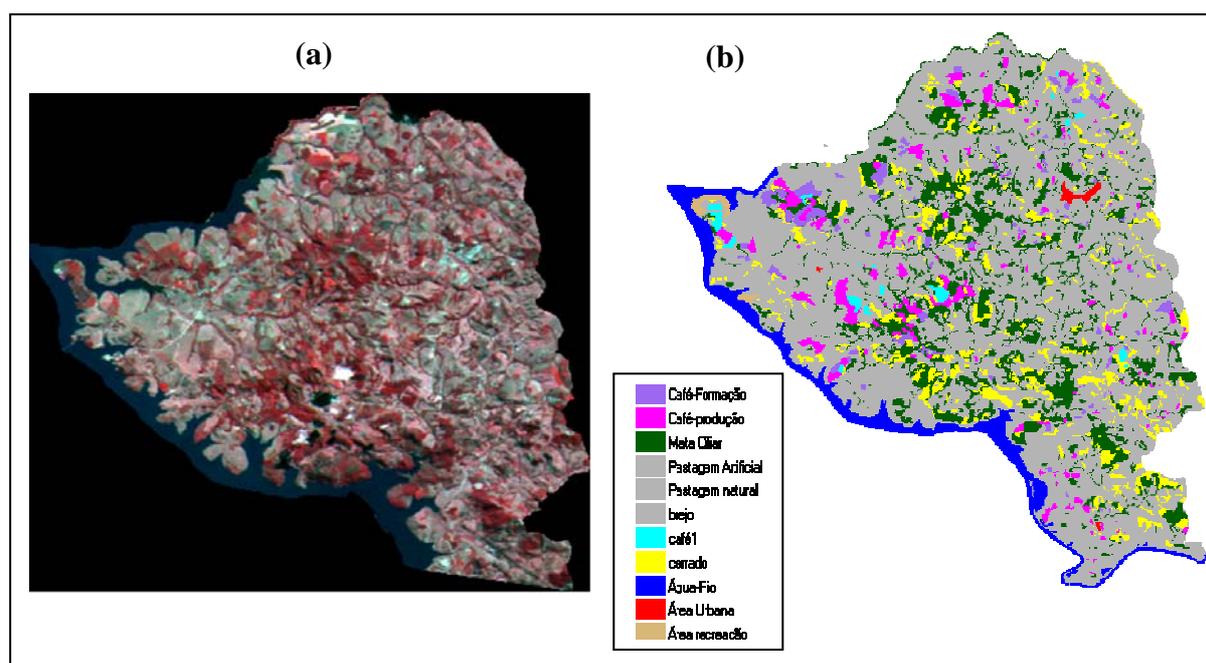


**Figura 1:** Localização da área de estudo: município de Aguanil/MG.

De modo geral o café, principal cultivo agrícola, é mais abundante no relevo suave ondulado, tanto em número de lavouras quanto em área plantada. Em sua maioria, as lavouras em áreas de relevo acidentado são circundadas por matas ou cerrado, enquanto que, nas áreas de relevo suave ondulado, quase sempre estão adjacentes a pastagens naturais ou artificiais e lavouras de verão.

O mapa temático utilizado como dado de referência foi elaborado por interpretação visual, tomando como base critérios de forma, textura e comportamento espectral. Foram utilizadas as seguintes imagens: TM/Landsat-5 obtida em 22/07/2004 e CCD/CBERS-2 obtida em 30/07/2004 (**figura 2a**).

A imagem TM/Landsat serviu de base para o sorteio de amostras para cada classe do mapa temático gerado (**figura 2b**). O uso e a cobertura da terra no município foram divididos em onze classes. Para avaliar os erros de classificação, foram consideradas quatro classes representativas da área em estudo: café-produção, cerrado, mata ciliar e pastagem natural.



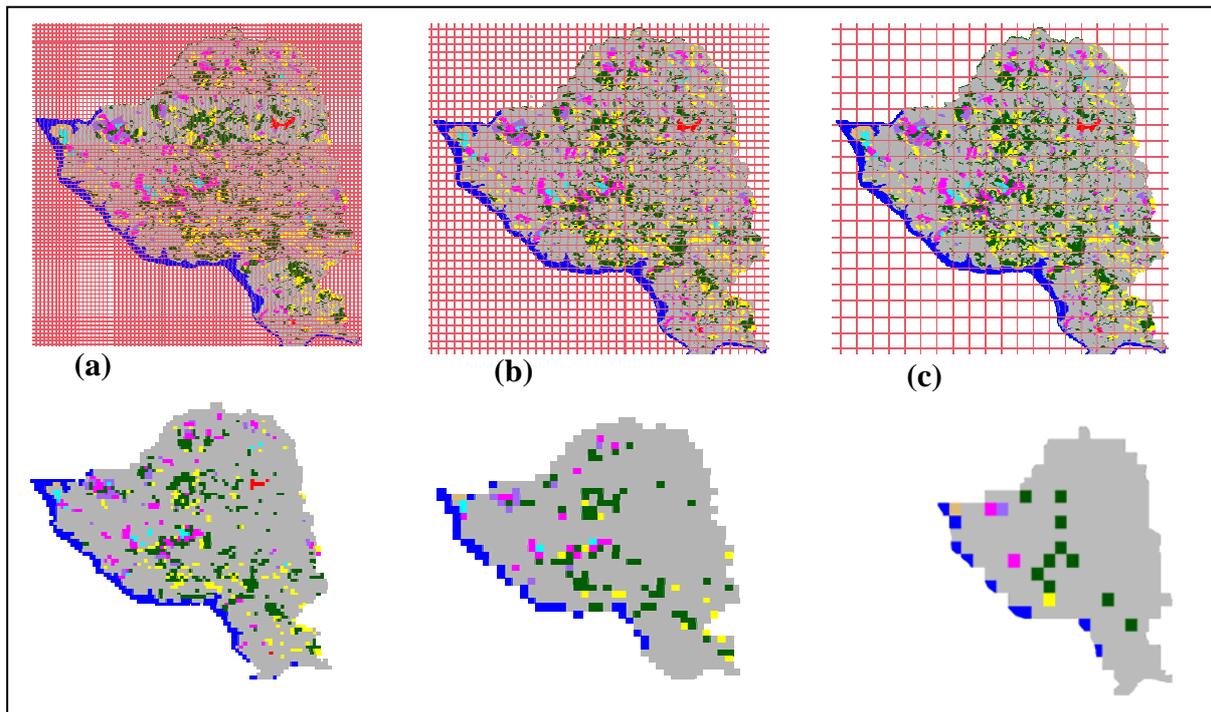
**Figura 2:** Imagem CCD/CBERS-2, composição colorida R4G3B2 do município de Aguanil (a) e mapa temático gerado a partir de interpretação visual (b).

A imagem classificada foi tomada como referência (verdade terrestre) para a comparação da área ocupada por cada classe. Estes dados originais, com 30 metros de resolução espacial, foram reamostrados para as seguintes resoluções espaciais: 250, 500 e 1000 metros (**figura 3**), simulando as diferentes resoluções espaciais do sensor MODIS, acoplado nos satélites Terra e Acqua.

A reamostragem foi efetuada através da aplicação das técnicas de *unmixing* e dos interpoladores vizinho mais próximo e bilinear, sendo que o critério escolhido para a classificação das imagens com resolução espacial degradada foi a classe predominante (*hard classification*) – maior porcentagem de área – dentre as quatro selecionadas. Nesse caso, quando é trabalhado unicamente com duas classes, o pixel que tiver mais de 50 % de uma classe será atribuído como pertencente a esta classe.

Em seguida, para cada escala espacial, foi calculada a área total ocupada por cada classe.

Para quantificar o erro da classificação foram consideradas janelas selecionadas aleatoriamente de 2x2, 4x4, 6x6, 8x8, 10x10, 12x12, 14x14 e 16x16 pixels (**figura 4**). A área ocupada por cada classe nestas janelas foi quantificada, considerando a imagem de referência e as imagens reamostradas.



**Figura 3:** Reamostragem da imagem original para as resoluções de 250 (a), 500 (b) e 1000 metros (c).

O erro da classificação foi avaliado considerando o RMSE e o *bias*.

O erro médio quadrático – RMSE (*Root Mean Square Error*) é uma estatística que pode ser utilizada para indicar a exatidão de uma determinada classificação em relação a uma verdade (referência) (1). O *bias* ou viés, por sua vez, é um termo empregado em estatística para caracterizar o erro sistemático ou tendenciosidade (2).

$$\text{RMSE}_{(s)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{a}_i - a_i) / n} \quad (1)$$

$$\text{Bias}(s) = \sum_{i=1}^n (\hat{a}_i - a_i) / n \quad (2)$$

em que:

$s$  = escala espacial (unidade de área);

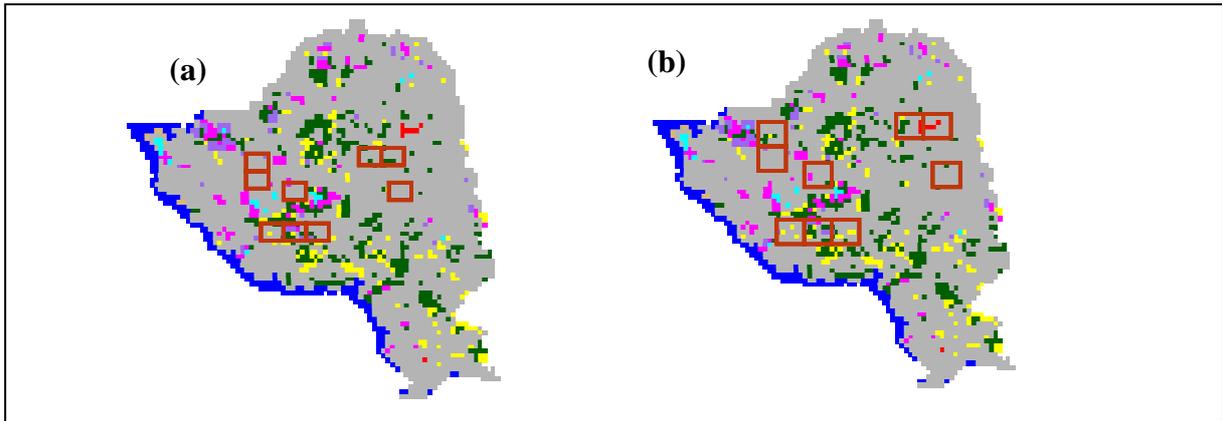
$a_i$  = valores do TM (30 metros);

$\hat{a}_i$  = valores das resoluções MODIS (250, 500 e 1000 metros);

$n$  = número de observações.

A técnica de reamostragem considerando o *unmixing* foi tomada como referência para a comparação dos resultados obtidos através de dois interpoladores comumente utilizados em Sistemas de Informações Geográficas: vizinho mais próximo e bilinear, para as resoluções de 250 e 500 metros.

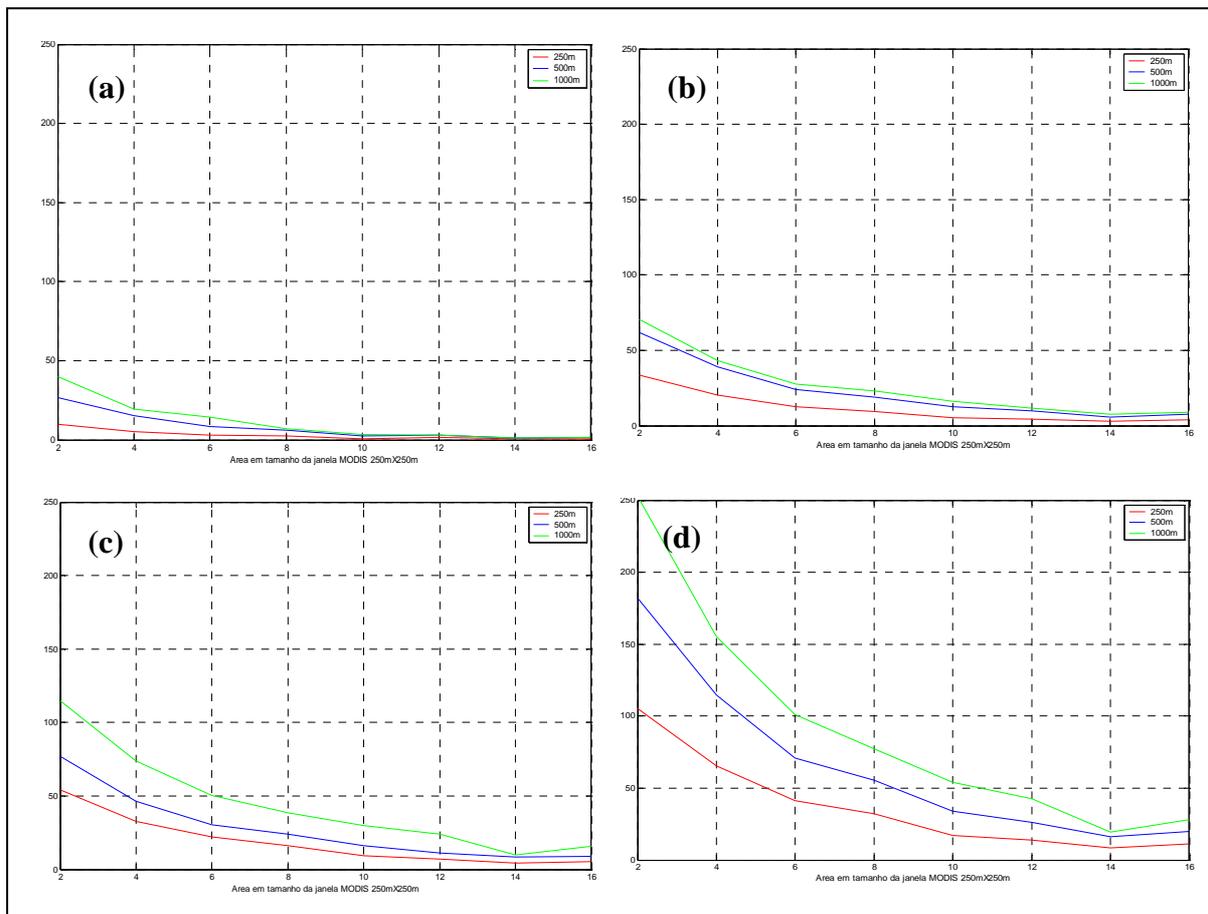
Os valores da área ocupada por cada classe nas diferentes reamostragens foram correlacionados com a verdade (mapa temático) tanto para a *hard classification* quanto para os interpoladores vizinho mais próximo e bilinear.



**Figura 4:** Exemplo de amostragem aleatória de janelas de 2 x 2 (a) e 4 x 4 (b) pixels na imagem degradada para a resolução de 250 metros.

#### 4. Resultados e discussão

Como pode ser observado na **Figura 5**, para todas as classes em estudo, o RMSE encontrado foi maior na resolução de 1000 metros, chegando a valores de aproximadamente 250 %, e foi menor na resolução de 250 metros.

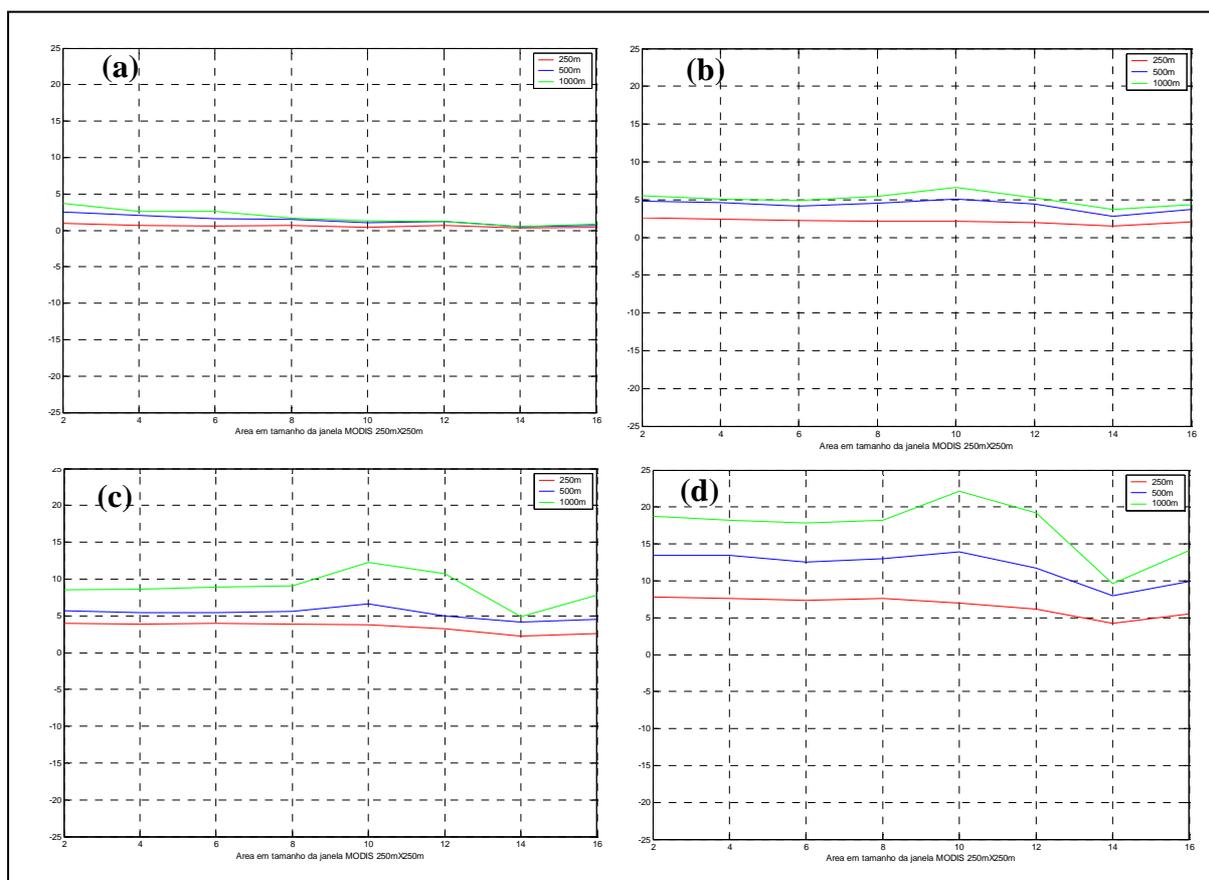


**Figura 5:** RMSE obtido na classificação da imagem 250 metros para café-produção (a), cerrado (b), mata ciliar (c) e pastagem natural (d).

Na comparação entre a classificação com 30 metros e sua reamostragem para 250 metros, foi observado que quanto menor o tamanho das janelas, maior foi o erro, ou seja, o erro diminui conforme aumenta o tamanho da janela. O mesmo ocorreu para 500 e 1000 metros, sendo esta diminuição mais nítida na classe de pastagem natural, por apresentar maior RMSE.

Este resultado confirmou a hipótese de que dados de resolução grosseira não se aplicam a áreas onde a heterogeneidade de alvos é significativamente grande e a classificação de imagens requer um alto grau de detalhamento, como é o caso das classes agrícolas presentes na área de estudo.

Em relação ao *bias*, os resultados apresentaram superestimação para 250, 500 e 1000 metros (**figura 6**).



**Figura 6:** *Bias* obtido na classificação da imagem 250 metros para café-produção (a), cerrado (b), mata ciliar (c) e pastagem natural (d).

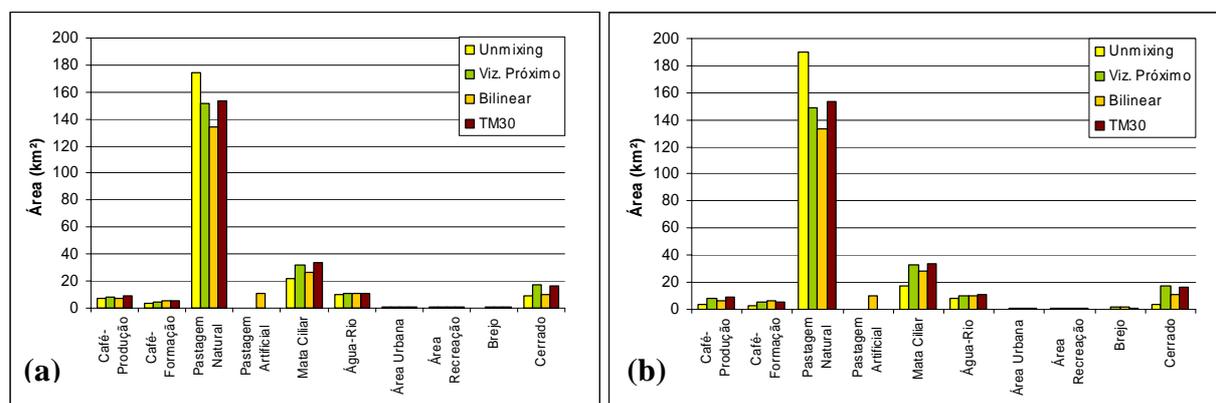
Os valores do *bias* foram menores para as classes de café-produção e cerrado e mais acentuados para a mata ciliar e a pastagem natural, com uma ligeira ascensão no caso das janelas de 10 x 10 pixels. Em todas as classes os valores foram maiores para a resolução espacial de 1000 metros.

Dentre as diferentes técnicas empregadas para a classificação degradando-se a resolução espacial, diferentes valores de área para cada classe de uso e/ou cobertura da terra foram comparados em relação à referência (**tabela 1**). Na maioria das classes, como a pastagem natural, aquela que mais se aproximou da referência foi a do vizinho mais próximo (**figura 7**). Para esta classe, a mais representativa no município estudado, a técnica de *unmixing* superestimou a área, enquanto que o interpolador bilinear subestimou. Esta análise se aplica tanto para o mapa de 250 metros quanto para o de 500 metros de resolução.

**Tabela 1:** Área ocupada por classe na classificação original e nas reamostragens (em km<sup>2</sup>)

	TM 30 metros	MODIS 250 UNM	MODIS 500 UNM	MODIS 1000 UNM	MODIS 250 VIZ	MODIS 500 VIZ	MODIS 250 BIL	MODIS 500 BIL
<b>Café-Produção</b>	8.676	7.1253	3.9798	1.9899	8.4375	8.25	7.125	6.25
<b>Café-Formação</b>	5.1471	3.5685	2.466	1.0098	4.9375	5.5	5.8125	6
<b>Pastagem Natural</b>	153.1548	174.249	189.549	198.5247	151.4375	148.5	134.0625	133
<b>Pastagem Artificial</b>	0.045	0	0	0	0.0625	0	10.6875	9.75
<b>Mata Ciliar</b>	33.75	22.1283	16.9947	10.0107	32.1875	33.25	26.5	28.75
<b>Água-Rio</b>	11.2464	10.3455	7.9785	6.813	10.875	9.75	11.375	10
<b>Área Urbana</b>	0.6048	0.4977	0	0	0.625	0.5	1.125	0.75
<b>Área Recreação</b>	0.7704	0.5049	0.5049	0.9801	0.8125	1	1.0625	1.25
<b>Brejo</b>	0.927	0.333	0	0	1	1.75	1	2.25
<b>Cerrado</b>	16.2738	9.1098	3.7008	1.0098	16.9375	17.75	10.25	11

Diferentemente do que ocorreu com a classe de maior representatividade, a técnica de *unmixing* subestimou a área ocupada por todas as demais classes, o que não foi verificado com tanta intensidade nos resultados da aplicação dos interpoladores.



**Figura 7:** Comparação entre os resultados obtidos com a aplicação das técnicas de *unmixing*, vizinho mais próximo e bilinear quanto a área total classificada para cada uso da terra nas resoluções de 250 (a) e 500 metros (b) e o mapa temático de referência (30 metros).

A **Tabela 2** confirma as afirmações anteriores apresentando as correlações entre os mapas temáticos. Analisando a matriz de correlação, observa-se que embora todas as correlações sejam elevadas em virtude da grande amplitude de valores de área ocupada por diferentes classes (**tabela 1**), o que configura pastagem natural, por exemplo, como um *outlier*, as maiores correlações com o mapa de referência são apresentadas pelos mapas reamostrados para 250 metros, diminuindo a correlação com o aumento da degradação espacial.

**Tabela 2:** Matriz de correlação entre os mapas temáticos

MAPA TEMÁTICO	TM 30 metros	MODIS 250 UNM	MODIS 500 UNM	MODIS 1000 UNM	MODIS 250 VIZ	MODIS 500 VIZ	MODIS 250 BIL	MODIS 500 BIL
<b>TM 30</b>	1	0.9951	0.9901	0.9840	0.9999	0.9998	0.9955	0.9966
<b>MODIS 250</b>		1	0.9990	0.9967	0.9955	0.9942	0.9960	0.9951
<b>MODIS 500</b>			1	0.9992	0.9906	0.9889	0.9937	0.9922
<b>MODIS 1000</b>				1	0.9848	0.9827	0.9895	0.9873
<b>MODIS 250 VIZ</b>					1	0.9999	0.9954	0.9964
<b>MODIS 500 VIZ</b>						1	0.9945	0.9960
<b>MODIS 250 BIL</b>							1	0.9996
<b>MODIS 500 BIL</b>								1

Comparando as técnicas de reamostragem, as maiores correlações foram observadas com o vizinho mais próximo, seguido pelo bilinear e, com valores inferiores, o *unmixing*.

## 5. Conclusões e recomendações

Os resultados deste trabalho permitem concluir que os erros são diretamente proporcionais ao aumento na degradação da resolução espacial. No caso da técnica de *unmixing*, o RMSE é maior na resolução espacial de 1000 metros e é inversamente proporcional ao tamanho da janela analisada (quantidade de pixels).

Por sua vez, o interpolador vizinho mais próximo apresenta, considerando as três diferentes técnicas de reamostragem, os maiores coeficientes de correlação com o mapa de referência, considerando diferentes classes de uso e cobertura da terra, com grande ou pequena representatividade na área total. O *unmixing* superestimou as classes de maior representatividade, enquanto subestimou as demais classes, com maior intensidade se comparado com o vizinho mais próximo e o bilinear.

A partir dos resultados encontrados pode ser observado que, no caso específico da agricultura, dados de resolução espacial moderada tendem a superestimar extensas áreas onde há a prática da agricultura comercial, enquanto subestimam outros usos e tipos de cobertura da terra menos representativos em área. Isto aponta para o grande cuidado que deve ser tomado ao efetuar estimativas da área plantada de um determinado cultivo agrícola a partir de imagens de resolução moderada, bem como ressalta a necessidade de validação dos resultados obtidos com a classificação destes dados.

## 6. Agradecimentos

Agradecemos ao pesquisador do INPE Dr. Maurício A. Moreira, pela concessão do mapa temático original.

## 7. Referências Bibliográficas

Costa, A. S.; Souza Júnior, C. M. Comparação entre imagens Landsat ETM+ e MODIS/Terra para detecção de incrementos de desmatamento na região do baixo Acre. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 2, p. 93-102, 2005.

Lobell, D.B.; Asner, G.P. Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. , p. 412-422, 2004.

Morton, D. C.; Espírito-Santo, F. D. B.; Shimabukuro, Y. E.; DeFries, R. S.; Anderson, L. O. Validation of MODIS annual deforestation monitoring with CBERS, Landsat, and field data. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005, p. 3159-3166.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Terra, the EOS flagship**. Disponível em: <<http://terra.nasa.gov>>. Acesso em: 06/11/2006a.

\_\_\_\_\_. **Aqua Project Science**. Disponível em: <<http://aqua.nasa.gov>>. Acesso em: 06/11/2006b.

Pax-Lenney, M.; Woodcock, C. E. The Effect of Spatial-Resolution on the Ability on to Monitor the Status of Agricultural Lands **Remote Sensing of Environment**, v. 61, n. 2, p. 210-220, 1997.

Ponzoni, F. J.; Rezende, A. C. P. Influência da resolução espacial de imagens orbitais na identificação de elementos da paisagem em Altamira-PA. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 403-410, 2002.