

Simulação de resolução espacial moderada e seu efeito no padrão espacial de classes temáticas

Dênis de Moura Soares^{1,2}
Antônio Roberto Formaggio¹
Lênio Soares Galvão¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{denis, formag, lenio}@dsr.inpe.br

²Diretoria de Serviço Geográfico - DSG
QGEx - Bloco F - 2º Andar – SMU - CEP 70630-901 – Brasília - DF, Brasil
dsg@citex.eb.mil.br, dsge@eb.mil.br

Abstract. The objective of this work was to evaluate the differences between crop area estimation from coarse resolution data (e.g. MODIS/Terra, with 250m) and ETM+/Landsat resolution data (30m), using real and simulated data, different crop types and their spatial pattern quantified by landscape metrics. The analysis was applied for three different crops: corn, sugarcane and soybean. The thematic classes woodland, pasture and bare soils were also included in the analysis. To reach the objective, the behavior of the landscape metrics was studied as a function of the simulation of different levels of spatial resolution (90m, 150m, 210m and 270m) from ETM+ data using texture and majority filtering. The behavior of landscape spatial pattern with respect to the effects of changing spatial aggregation was evaluated. Texture filtering was more realistic than majority analysis.

Palavras-chave: coarse resolution, spatial pattern, landscape metric, texture filtering, majority filtering, resolução moderada, padrão espacial, métrica da paisagem, filtragem de textura, filtragem de maioria.

1. Introdução

Tendo em vista a alta resolução temporal, sensores como o MODIS podem, em determinados casos, ser interessantes alternativas a sensores como o CCD/CBERS-2 e instrumentos similares aos da série Landsat, cuja revisita não é inferior a 16 dias. Entretanto, para garantir a elevada repetitividade dos dados, normalmente há uma redução da resolução espacial, o que pode comprometer as informações geradas por classificações de áreas agrícolas.

Neste sentido, diversos trabalhos têm avaliado o impacto da resolução espacial na estimativa de áreas, tais como, Henderson-Sellers et al. (1985), Turner et al. (1989), Moody e Woodcock (1994), Moody e Woodcock (1995), Ponzoni et al. (2002), Ponzoni e Rezende (2002) e Wu et al. (2002). Estes estudos basearam-se na degradação de mapas temáticos obtidos por meio de imagens de resolução espacial semelhante ao Landsat/TM. Mayaux e Lambin (1995), entretanto, afirmam que tal procedimento de degradação acarreta a mudança de tamanho e forma de certos fragmentos e o desaparecimento de pequenos objetos.

Frohn e Hao (2006), por sua vez, aplicaram processos de degradação da imagem original e da classificação temática, o que garantiu subsídio para análise da eficiência das duas metodologias. Os autores obtiveram resultados semelhantes para ambos os métodos de degradação. A comparação foi realizada com o cálculo de medidas que denotam o padrão espacial dos elementos, o qual pode ser quantificado por índices, ou métricas da paisagem, que utilizam diversos conceitos tais como: indicadores geométricos (fragmentação, distância simples); fractais (perímetro/área), teoria da informação (contágio, espalhamento, domínio, entropia) (Mayaux e Lambin, 1995). Para exemplos de aplicação dessas técnicas para medida de padrão espacial de culturas, sugere-se a consulta aos trabalhos de Haralick (1979), Legendre e Fortrin (1989), Cullinan e Thomas (1992), Jeanjean et al. (1994) e Frohn e Hao (2006).

Métricas da paisagem são grandezas que quantificam a composição e a configuração espacial do cenário, para um mapa ou imagem de sensoriamento remoto (Frohn and Hao, 2006). Os efeitos da resolução espacial na performance de métricas da paisagem foram estudados por diversos autores, tais como: Frohn, 1998; Saura, 2002, 2004; Shen et al., 2004; Wu, 2004; Wu et al., 2000, 2002, Frohn e Hao, 2006.

O objetivo deste trabalho foi, portanto, avaliar dados simulados por dois métodos de filtragem espacial, quais sejam, textura e maioria, sendo, para isso, empregadas métricas da paisagem, cuja evolução, à medida que se variou o tamanho da janela de filtragem, foi estudada. As dimensões de filtros aplicadas foram 3×3 (90m), 5×5 (150m), 7×7 (210m), e 9×9 (270m) *pixels*. Por fim, foi avaliada a eficiência das duas técnicas de representação da resolução moderada, por intermédio da comparação estatística entre os dados simulados de 270m e originais de 250m (MODIS/Terra).

2. Área de Estudo

A área de estudo está localizada no norte do Estado de São Paulo e corresponde aos municípios de Ipuã, Guará e São Joaquim da Barra (coordenadas W 47° S 22°).

A região é tipicamente agrícola e os principais cultivos são de soja, cana-de-açúcar e milho. O padrão espacial da soja é caracterizado por uma baixa fragmentação (polígonos grandes e regulares); o arranjo da cana-de-açúcar é intermediário; e o milho é a cultura mais fragmentada (polígonos pequenos e irregulares). Em consonância, Soares (2006) afirma que o índice CLUMP para soja, cana-de-açúcar e milho foi de, respectivamente, 0,87, 0,77 e 0,57.

3. Metodologia

3.1. Simulação de Resolução Espacial por Filtragem

Foram utilizados dois métodos de filtragem para permitir uma análise comparativa entre diferentes técnicas de degradação de dados de resolução espacial fina.

A textura em uma imagem orbital está relacionada à distribuição espacial (estatística) dos tons de cinza e é uma das características importantes usadas na identificação de objetos ou regiões de interesse. Seu uso é muito importante, uma vez que traz informações relevantes para discriminação de feições da imagem (Haralick et al., 1973). Assim, foram geradas imagens de co-ocorrência (média) por meio de filtragens de dimensão 3×3, 5×5, 7×7 e 9×9, sobre as quais foi aplicado o algoritmo k-médias de classificação não-supervisionada.

Em forma distinta de geração de mapas temáticos de menores resoluções, foi aplicada uma regra de maioria sobre a classificação da imagem Landsat/ETM+ gerando produtos equivalentes aos níveis de abstração das análises de textura efetuadas. Segundo Frohn e Hao (2006) e Saura (2004), esse é o método mais comum de comparação do padrão espacial da paisagem com relação à agregação dos dados. Pax-Lenney e Woodcock (1997), entretanto, questionam sua eficiência em representar realisticamente imagens adquiridas por sensores de resolução moderada.

No presente trabalho, a simulação de diferentes níveis de resolução espacial, pela filtragem espacial de dados ETM+/Landsat-7, teve os seguintes objetivos: (a) avaliar o comportamento das métricas da paisagem em função da resolução espacial e da cultura agrícola sob análise; (b) avaliar a técnica de filtragem mais adequada para simulação do dado de resolução fina.

Para efetuar as devidas comparações dos resultados das filtragens, foram implementados, sobre as bandas 3 e 4 do sensor ETM+/Landsat-7 (cena 220/74, de 05 de janeiro de 2002), uma classificação digital não-supervisionada k-médias com 15 classes e 20 iterações, como propõem Frohn e Hao (2006).

3.2. Cálculo e Evolução das Métricas de Paisagem em Função da Resolução Espacial

Após a realização das filtragens, com o uso do programa *Fragstats*, procedeu-se ao cálculo de 20 índices (métricas da paisagem), o que possibilitou a caracterização do padrão espacial das classes temáticas de interesse. As principais medidas são apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Principais métricas da paisagem estudadas.

Área	Forma de Classe (LSI)	Dimensão Fractal (PAFRAC)	Interposição e Justaposição (IJI)	Trama (MESH)
Número de Polígonos (NP)	Forma de Classe Normalizada (NLSI)	Número de Fragmentos Nucleares (NDCA)	Agrupamento (CLUMP)	Fragmentação (SPLIT)
Maior Fragmento (LPI)	Área Core Total (TCA)	Coesão (COHE)	Divisão (DIV)	

Para a variável Índice de Área Nuclear (*Core*), considerou-se o isolamento da vizinhança ao se reservar uma faixa de 2 *pixels* da borda. Tal critério levou em consideração apenas fatores de formação da imagem, não havendo uma abordagem voltada à dinâmica da paisagem. Afinal, o que se objetiva é uma análise comparativa entre imagens de resoluções espaciais distintas, devendo-se, assim, manter as análises tangenciando o conceito inserido no elemento de resolução.

A confecção de gráficos que expressam os valores das métricas em função do tamanho da janela de filtragem permitiu a análise da sensibilidade dos índices à variação do nível de abstração do cenário.

3.3. Determinação da Técnica de Simulação (Filtragem) mais Realística

Foram gerados 216 subconjuntos (blocos) de dimensão 125×125 *pixels* para a imagem simulada e 15×15 *pixels* para a imagem MODIS. Este processo permitiu a realização de um estudo estatístico robusto na comparação entre os dados originais do sensor MODIS/Terra (250m de resolução espacial) e os resultantes da simulação de 270m (9×9 *pixels*) nas filtragens de maioria e textura. Procedeu-se, assim, a uma análise de regressão entre áreas (MODIS original versus MODIS simulado), utilizando-se cada um dos 216 recortes (blocos) de ambas as imagens, para a determinação da técnica de filtragem mais adequada para fins de simulação de resolução espacial.

4. Resultados e Discussão

A **Figura 1** apresenta a classificação não-supervisionada (k-Médias) das imagens geradas pela alteração do tamanho das janelas de filtragem de textura e maioria. Para melhor visualização dos efeitos causados pela variação da escala, foi extraído um recorte da área trabalhada.

A degradação da resolução de 30m para 270m implica em redução da complexidade do cenário. Muitos polígonos agregaram classes vizinhas para se tornarem mais compactos, enquanto outros vão reduzindo-se até, em alguns casos, desaparecerem. Faixas estreitas, que trazem, portanto, informação de alta fragmentação, são exemplos de agregações ocorridas. Resultados compatíveis foram obtidos por Frohn e Hao (2006). Saura (2004) argumenta que a filtragem de maioria resulta em padrões mais fragmentados do que em uma imagem real.

Comparativamente à filtragem de textura, no entanto, pode-se perceber que a agregação com a filtragem de maioria é muito mais severa. As classes mais fragmentadas tendem, portanto, a sofrer maiores transformações. Pela comparação dos resultados da **Figura 1** observa-se, ainda, que as classes cana e soja dominam o cenário, apresentando áreas maiores e mais compactas, tendendo a agregar as demais classes à medida que se aumenta o tamanho da janela de filtragem. Em sentido oposto, o milho e a mata são as classes mais fragmentadas, sendo compostas por polígonos menores e mais dispersos, sofrendo, portanto, muito mais severamente o efeito de degradação da resolução espacial.

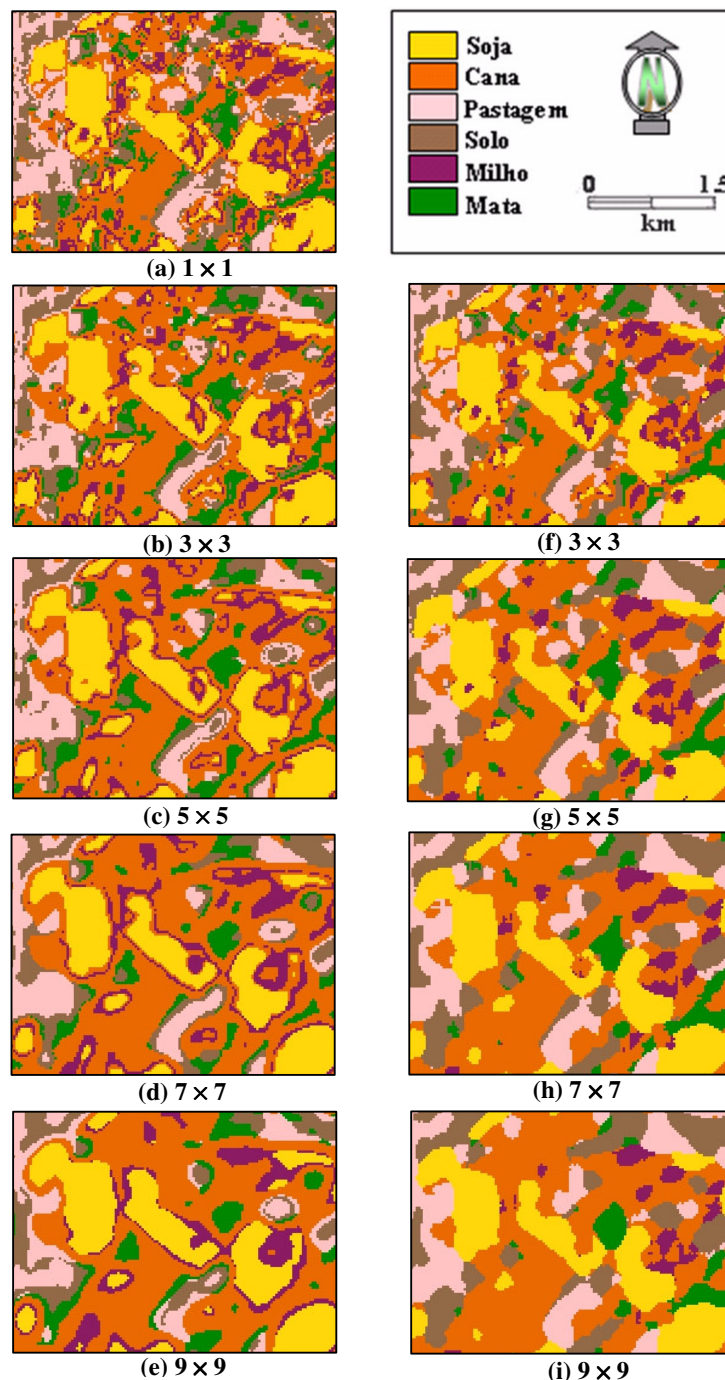


Figura 1 – Recortes dos resultados dos processos de filtragens, sendo (a) a imagem Landsat/ETM+ (30m); (b), (c), (d), (e) relativos às análises de filtragem de textura; e (f), (g), (h), (i) referentes aos filtros de maioria aplicados.

A **Figura 2** introduz as primeiras métricas estudadas. Conforme esperado, a eliminação de fragmentos pouco representativos, em função da degradação, causou uma redução muito significativa do número de polígonos (*NP*), para todas as classes que compõem as análises. Wu et al. (2002) e Frohn e Hao (2006) obtiveram semelhantes resultados.

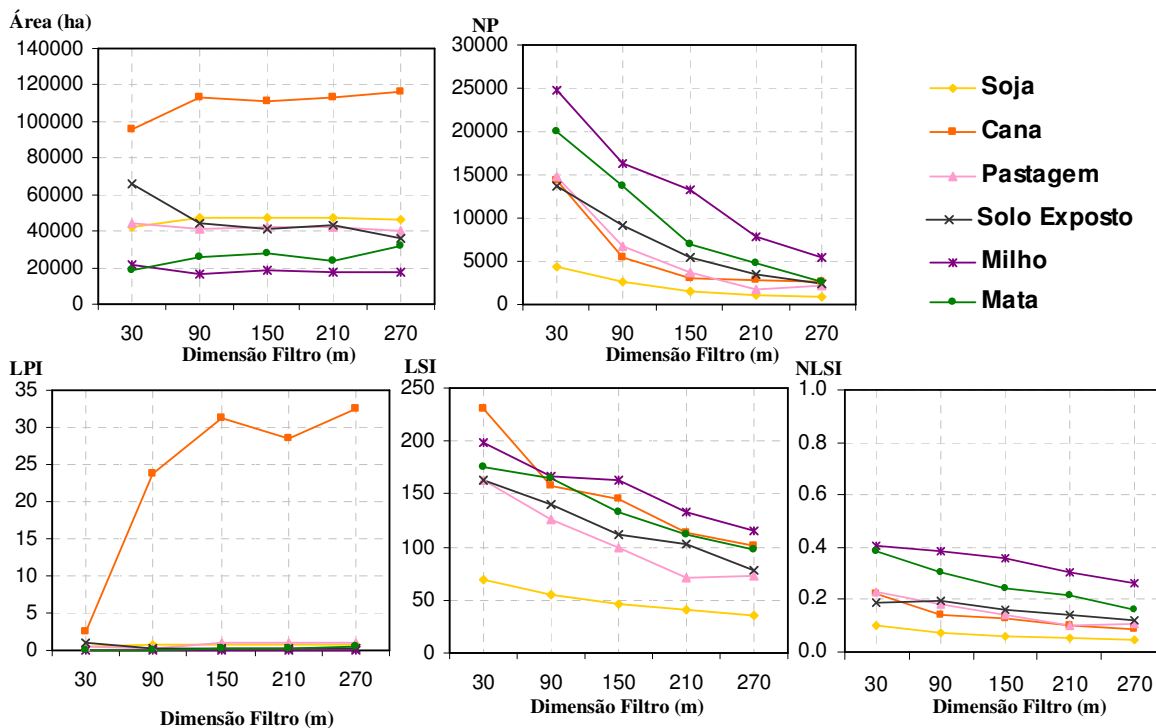


Figura 2 – Comportamento dos índices de área/densidade/borda à variação da dimensão do filtro de textura (resolução espacial).

Os índices *LSI* (Forma de Classe) e *NLSI* (Forma de Classe Normalizada) também mostraram uma redução na magnitude de seus valores com a degradação da resolução espacial de 30m para 270m, decorrente da queda da complexidade dos polígonos.

Finalmente, a análise do gráfico de *LPI* (Maior Fragmento) demonstrou que a maior área de cana aumentou de 2% para 32% do cenário, evidenciando que desde a primeira variação do tamanho da janela de filtragem (3 x 3 pixels) já houve forte agregação por parte da referida classe. Essa constatação pode ser observada também na **Figura 1**, que mostra a classe cana transformando-se em um grande polígono, decorrente do desaparecimento de polígonos muito fragmentados. As demais classes, no entanto, não foram muito afetadas pela variação da resolução espacial da imagem. Saura (2002, 2004), Shen et al. (2004), Wu (2004), Wu et al. (2000, 2002) observaram certa estabilidade para *LPI*, enquanto Frohn e Hao (2006) obtiveram resultados opostos, uma vez que para alguns anos estudados houve erraticidade da métrica.

Pela **Figura 3**, que traz os índices de área nuclear, forma e conectividade, observa-se o desempenho previsível de *TCA* (área nuclear), pois à medida que se reduz a resolução espacial espera-se que os polígonos tendam a não apresentar área nuclear. As classes mais fragmentadas tendem a desaparecer, como se observou para a mata e o milho, que, a partir de 150m, apresentaram a nulidade para a métrica. Os mesmos comentários podem ser utilizados para explicar o comportamento *NDCA*, dada sua semelhança com *TCA*.

O gráfico de *PAFRAC* (Dimensão Fractal), ainda na **Figura 3**, demonstra uma queda significativa para a complexidade das diversas culturas. Cao e Lam (1997) associam tal resultado a profundas mudanças na geometria das amostras. Frohn e Hao (2006) obtiveram resultados semelhantes, entretanto, Frohn (1998) concluiu pela instabilidade da métrica.

O índice *COHE* (Coesão) apresentou tendência de crescimento com a degradação da resolução. As classes milho e mata corroboram seus padrões, exibindo valores iniciais de coesão muito inferiores às demais classes. Aquelas, ao serem muito afetadas pela agregação espacial, têm seus patamares elevados acentuadamente em função da degradação da resolução espacial.

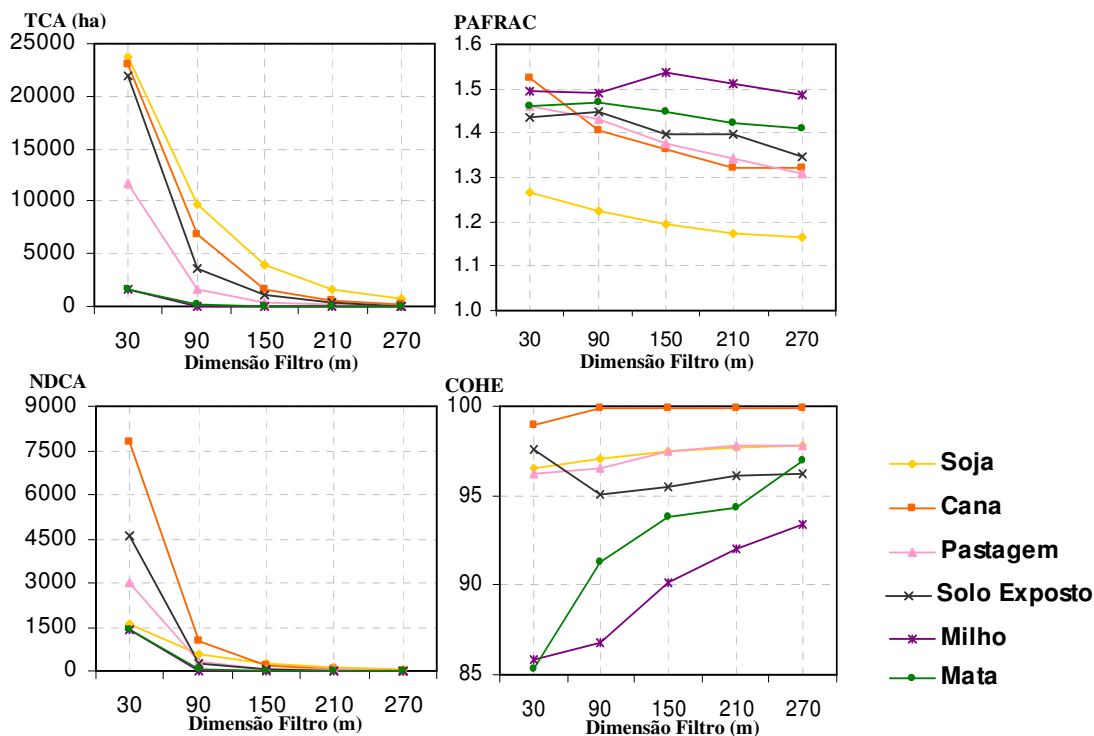


Figura 3 – Comportamento dos índices de área nuclear, forma e conectividade à variação da dimensão do filtro de textura (resolução espacial).

Finalmente, as métricas de contágio/espalhamento são apresentadas na **Figura 4**, que exemplifica a atuação da filtragem de maioria, em oposição às **Figuras 2 e 3**. O aumento de *CLUMP* (Agrupamento) com a redução da escala é decorrente da maior agregação que as classes tendem a assumir para resoluções moderadas. Por sua vez, o índice *IJI* (Interposição e Justaposição) mostrou-se pouco influenciado a partir de 90m, em conformidade com Millington et al. (2003). Quando se compara o incremento do índice para a primeira variação de tamanho da janela de filtragem, com as demais mudanças ocorridas nas demais janelas, percebe-se que estas não são significativas. O mesmo observa-se para *DIV* (Divisão), excetuando-se a cana. A **Figura 1** ilustra a forte redução da granulometria desta classe.

Ainda na **Figura 4**, o gráfico do indicador *MESH* (Tamanho de Trama Efetiva), função da resolução espacial, apresentou perfil inverso ao do *DIV*. Novamente, apenas a cana se destaca quanto à variação da magnitude da métrica.

O índice *SPLIT* (Fragmentação), por fim, não mostrou uma tendência específica para todas as classes. É notável, entretanto, o efeito sobre as classes mais fragmentadas, mata e milho. Para elas, é nítido o efeito de célere redução de polígonos, típico da diminuição da fragmentação causada pela degradação de resolução espacial.

Para atingir plenamente os objetivos desta pesquisa, a **Figura 5** apresenta a regressão entre a área estimada a partir do sensor MODIS e estimada pelas duas técnicas de filtragem. Tendo em vista que cada observação equivale à área de uma classe temática, para um determinado bloco, a análise estatística foi bastante significativa. Observou-se que a filtragem de textura foi mais

realística, uma vez que apresentou um maior coeficiente de determinação, além da inclinação da reta de regressão indicar uma menor superestimativa dos dados. Análises realizadas para cada classe, separadamente, atingiram resultados equivalentes.

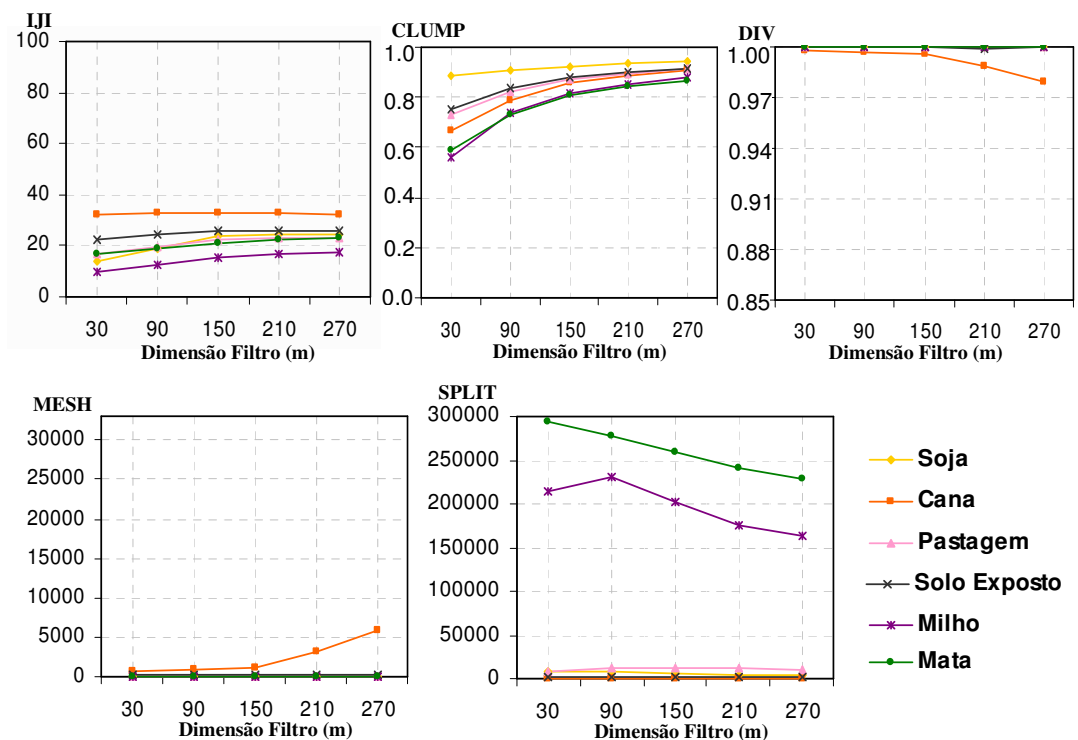


Figura 4 – Comportamento dos índices de Contágio/Espalhamento à variação da dimensão do filtro de maioria (resolução espacial).

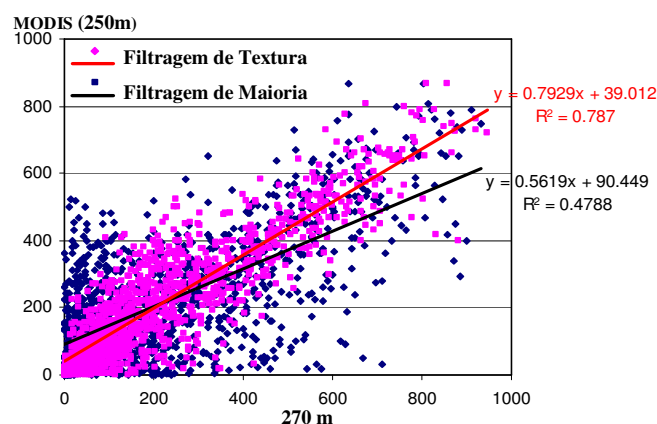


Figura 5 – Comparação entre a área (em hectares) apresentada pela imagem MODIS/Terra (250m) e pelas simulações (270m), para todas as classes analisadas.

6. Conclusões

Os estudos conduzidos demonstraram o comportamento do padrão espacial das classes agrícolas, à medida que a escala de representação dos dados se degrada e mostrou que classes mais fragmentadas tendem a sofrer mais severamente os efeitos da moderação na resolução espacial, que, realizada por filtragem de textura, mostrou-se mais realística do que abordagem homóloga, por análise de maioria.

Referências

- Cao, C.; Lam, N. Understanding the Scale and Resolution Effects in Remote Sensing and GIS. *In: Quattrochi, D.A. e Goodchild, M.F. (Eds.) Scale in Remote Sensing and GIS*. CRC Lewis: Boca Raton, FL, USA, p. 57-72. 1997.
- Cullinan, V. I.; Thomas, J. M. A comparison of quantitative methods for examining landscape pattern and scale. **Landscape Ecology**, v. 7, n. 3, p. 211-227, Sep.1992.
- Frohn, R. **Remote sensing for landscape ecology**: New metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems. Boca Raton, FL: Lewis, 1998. 99 p.
- Frohn, R. C.; Hao, Y. Landscape metric performance in analyzing two decades of deforestation in the Amazon Basin of Rondonia, Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, n. 2, p. 237-251, Jan.2006.
- Haralick, R. M. Statistical and structural approaches to texture. **Proceedings of the IEEE**. v. 67, n. 5, p. 786-804, May 1979.
- Haralick, R. M.; Shanmugan, K. ; Dinstein, I. Textural features for image classification. **IEEE Transactions, Man, and Cybernetics**, v. 3, n. 6, 610–621 Nov.1973.
- Henderson-Sellers, A.; Wilson, M. F.; Thomas, G. The effect of spatial resolution on archives of land cover type. **Climate Change**, v.7, n. 4, 391-402, Dec. 1985
- Jeanjean, H.; Malingreau, J. P.; Achard, F. Forest fragmentation: typology and characterization. In: European Symposium on Satellite Sensing, 2. (ESSS), 26-30 Sep. 1994, Rome, Italy. **Proceedings...** Rome: SPIE, 1994.
- Legendre, P.; Fortin, M.-J. Spatial pattern and ecological analysis. **Vegetatio**, v. 80, n. 2, p. 107-138, Feb. 1989.
- Mayaux, P.; Lambin E. F. Estimation of tropical forest area from coarse spatial resolution data: a two-step correction function for proportional errors due to spatial aggregation. **Remote Sensing of Environment**, v. 53, n. 1, p. 1-15, July 1995.
- Millington, A. C.; Velez-Liendo, X. M.; Bradley, A. V. Scale dependence in multitemporal mapping of forest fragmentation in Bolivia: implications for explaining temporal trends in landscape ecology and applications to biodiversity conservation. **ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 289-299, Feb. 2003.
- Moody, A.; Woodcock, C. E. Scale-dependent errors in the estimation of land-cover proportions – implications for global land-cover datasets. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, n. 5, p. 585-594, May 1994.
- Moody, A.; Woodcock, C. E. The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on land-cover mapping using remote sensing. **Landscape Ecology**, v.10, n. 6, p. 363-379, Dec. 1995.
- Pax-Lenney, M.; Woodcock, C. E. The effect of spatial resolution on the ability to monitor the status of agricultural lands. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, n. 2, p. 210-220, Aug.1997.
- Ponzoni, F. J.; Galvão, L. S.; Epiphanyo, J. C. N. Spatial resolution influence on the identification of land cover classes in the Amazon environment. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 74, n. 4, p. 717-725, Dec. 2002.
- Ponzoni, F. J.; Rezende, A. C. P. Influência da resolução espacial de imagens orbitais na identificação de elementos da paisagem em Altamira – PA. **Árvore**, v. 26, n. 4, p. 403-410, jul./ago. 2002.
- Saura, S. Effects of minimum mapping unit on land cover data spatial configuration and composition. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 22, p. 4853– 4880, Nov. 2002.
- Saura, S. Effects of remote sensor spatial resolution and data aggregation on selected fragmentation indices. **Landscape Ecology**, v.19, n. 2, p. 197-209, Feb. 2004.
- Shen, W., Jenerette, G. D., Wu, J., & Gardner, R. H. Evaluating empirical scaling relations of pattern metrics with simulated landscapes. **Ecography**, v.27, n. 4, p. 459– 469, Aug. 2004.
- Soares, D. M. **Áreas agrícolas em sensores com resolução espacial de 30m estimadas a partir de dados originais e simulados MODIS e métricas de paisagem**. 2006-05-30. (INPE--TDI/). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.
- Turner, M. G.; O'Neill, R. V.; Gardner, R. H.; ; Milne, B. T. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. **Landscape Ecology**, v. 3, n. 3-4, p. 153-162, 1989.
- Wu, J.; Shen, W.; Sun W.; Tueller, P. T. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. **Landscape Ecology**, v.17, n. 8, p. 761-782, Nov. 2002.
- Wu, J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: Scaling relations. **Landscape Ecology**, v. 19, n. 2, p. 125– 138, Mar. 2004.
- Wu, J., Jelinski, D. E., Luck, M., & Tueller, P. Multiscale analysis of landscape heterogeneity. *Geographic Information Sciences*. v. 6, n. 1, p. 6– 19, Jun. 2000.