

COMPARATIVO DE MAPEAMENTOS DA VEGETAÇÃO EM DIFERENTES ESCALAS ESPACIAIS: IMPACTO DA HETEROGENEIDADE ESPACIAL DAS FITOFISIONOMIAS NA QUALIDADE DA REPRESENTAÇÃO

Daniel E Silva¹, Dalton Valeriano de Morisson²

¹Biólogo, Pesquisador bolsista CNPq, INPE, São José dos Campos-SP, esilva@dsr.inpe.br

²Biólogo, Pesquisador, INPE, São José dos Campos-SP, dalton@dsr.inpe.br

RESUMO: Mapear a vegetação em grande escala envolve o uso de uma classificação simplificada, como o sistema de classificação da cobertura da terra (LCCS), que visa harmonizar a legenda, afim de que mapeamentos possam ter usos múltiplos. No entanto, um aumento de escala gera uma perda de informação pela própria simplificação da classificação e pela redução da resolução espacial que o acompanha. A heterogeneidade espacial da vegetação alvo, definida pela sua fragmentação e pela forma dos seus fragmentos, tende a aumentar os tipos de vegetação em um pixel e então condiciona o realismo da representação obtida. Neste trabalho, propõe-se estimar o acerto espacial de mapeamentos de duas escalas espaciais e investigar diferenças de acerto entre classes de vegetação através a análise da sua heterogeneidade espacial. Os mapeamentos do Inventário Florestal de Minas Gerais (IFMG) e do Global Land Cover Network (GLC-SHARE) são confrontados. O acerto espacial é satisfatório para a maioria das fisionomias. Divergências interessam principalmente a associação de áreas de cultura à vegetação do cerrado e da vereda mapeada pelo IFMG. Essas diferenças são relacionadas a uma alta heterogeneidade espacial, consequência da localização em região de grandes interesses agrícolas ou do determinismo ambiental das fisionomias.

PALAVRAS-CHAVE: resolução espacial, heterogeneidade espacial, Cerrado.

INTRODUÇÃO: As características de todo processo de mapeamento da vegetação por sensoriamento remoto (SR) devem atender aos objetivos dos estudos a quais se destina (XIE et al., 2008). Essas características abrangem, entre outros, o nível de detalhamento e a resolução espacial usados para a classificação do alvo. O recente desenvolvimento de novos métodos e sistemas de mapeamento e o aumento da quantidade e qualidade de dados de SR incentivaram ao amplo uso do mapeamento por SR. Uma das consequências é a geração de produtos restritos a objetivos ou aplicação específicos, com escala local e usando classificação própria. Tais produtos são poucos comparáveis, o que impossibilita o seu uso em escalas maiores. O sistema de classificação da cobertura da terra (LCCS) contribui aos esforços da comunidade internacional para gerar informações comparáveis entre elas, independentemente da escala, pré-requisito fundamental para facilitar a construção de uma ciência das mudanças globais (MCCONNELL; MORAN, 2000). Um dos principais objetivos do LCCS é harmonizar a classificação da cobertura da terra, afim de que mapeamentos possam ter usos múltiplos. Este trabalho visa comparar dois mapeamentos de fontes e escalas diferentes, sendo local e mundial. Em geral, um aumento de escala é acompanhado por uma diminuição da resolução e uma simplificação da classificação. O interesse deste estudo é contribuir para a discussão sobre o custo do aumento de escala de mapeamentos, principalmente de redução da resolução espacial, em termos de perda de informação de representação da vegetação. Damos um interesse maior para o bioma Cerrado, cuja vegetação apresenta gradientes de estrutura marcados. Neste trabalho, propõe-se (i) estimar o acerto espacial de mapeamentos de duas escalas espaciais, (ii) avaliar diferenças de acerto entre classes de vegetação, e (iii) investigar as causas de possíveis divergências entre mapeamentos. A hipótese é que essas divergências aumentem para as fisionomias vegetais em que a heterogeneidade espacial é maior.

MATERIAL E MÉTODOS: O primeiro mapeamento, Global Land Cover-SHARE (GLC-SHARE, 2014), foi realizado pela Food and Agriculture Organization (FAO) através do Global Land Cover Network. Esse mapeamento utiliza o MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Vegetation Continuous Fields 2010 (VCF), e envolve toda a superfície terrestre mundial, usando uma resolução espacial de 30" de arco (aproximadamente 1 km). As classes de cobertura do solo tem base na legenda da FAO e SIEA (GONG; WEBER, 2009) e utilizam características biofísicas e de uso do solo. A classificação contínua da vegetação estima a proporção de superfície por pixel de 1 km² para cada classe da legenda. A classe de cobertura dominante por pixel é depois extraída para gerar um mapeamento temático tradicional. As classes definidas são cultura; herbáceas; vegetação arbórea; vegetação arbustiva; vegetação herbácea aquática ou regularmente inundada, entre outras. O segundo mapeamento, de escala local, foi realizado a partir da interpretação de imagens LandsAT 5 TM de resolução espacial fina de 1" de arco (aproximadamente 30 m) e foi utilizado como base para o Inventário Florestal de Minas Gerais (IFMG, 2008). Ele segue um método de classificação automática supervisionada e usa critérios fisionômicos e florísticos, permitindo um maior detalhamento da representação da vegetação em relação ao GLC-SHARE. O mapeamento IFMG foca na vegetação natural ou florestal plantada e discrimina a fisionomia vegetal conforme a classificação definida em Oliveira Filho et al. (2006). Um único plano de informação qualitativo foi gerado para a cobertura da vegetação. As classes representam três tipologias: o Cerrado, com as fisionomias do Cerrado sentido amplo incluindo a vereda, a Mata Atlântica e a Caatinga. Também, duas classes de florestas plantadas são incluídas, sendo eucalipto e pinus. O produto utilizado neste trabalho se refere ao ano 2005. A primeira etapa deste trabalho consiste em avaliar o acerto espacial entre mapeamentos da vegetação, onde o IFMG, de maior resolução e com validação de campo, é utilizado como vegetação de referência. Para isso, a frequência de ocorrência de cada classe GLC-SHARE quando dominante ao nível do pixel é estimada por classe IFMG. A classificação da vegetação do IFMG utiliza critérios adicionais em relação aos produtos do GLC-SHARE, como informações florísticas. Essas diferenças dificultam a comparação desses dois produtos. Por isso, somente os critérios estruturais da vegetação (coberturas arbórea, arbustiva e herbácea, e informações de densidade de indivíduos) nos quais a classificação IFMG se baseia (OLIVEIRA FILHO et al., 2006) são objetos do comparativo. Com o objetivo de reduzir o tempo de processamento, uma amostragem sistemática de quatro por cento dos pontos é realizada. A detecção correta das formas observadas por sensoriamento remoto é dificultada por uma alta heterogeneidade espacial (CINGOLANI et al., 2004; CLARK et al., 2001), que tende a aumentar a diversidade de tipos de vegetação em um pixel. Formas complexas de vegetação também tendem a dificultar a extração de assinaturas espectrais distintas entre tipos de vegetação e a gerar variações dessas assinaturas dentro de um mesmo tipo (SHA et al., 2008). Propõe-se utilizar elementos de métrica da paisagem para estimar a fragmentação e a forma do fragmento que caracterizam a heterogeneidade espacial das fisionomias vegetais mapeadas no IFMG. A fragmentação é abordada através de três critérios. O primeiro corresponde à distribuição da superfície dos fragmentos, dando um interesse especial para o limiar de 100 ha, sendo a resolução do MODIS utilizada na detecção dos alvos no GLC-SHARE. O efeito da classe de vegetação IFMG sobre a superfície do fragmento é testado através um modelo de regressão linear generalizado. Grupos de classes IFMG de superfícies médias estatisticamente diferentes são formados pelo teste de Tukey-Kramer. O segundo critério trata da miscigenação dos tipos de cobertura dentro de um pixel de 1 km². Neste caso, as fisionomias vegetais do IFMG são agrupadas em "floresta" (todas as classes de florestas da Mata Atlântica e Caatinga, a florestas plantadas e a classe de cerradão), "savana" (classes de cerrado, campo cerrado e vereda), "campo" (campo e campo rupestre) e "outra" (a cobertura sobrando, como zonas de cultura, pastagem, área urbana, solo exposto ou água). Para cada pixel de 30 m, a proporção de cada uma dessas classes é estimada na vizinhança de 1 km². As diferenças entre médias de proporção são avaliadas para cada fisionomia IFMG através um modelo de regressão linear generalizado. O terceiro critério interessa o isolamento espacial da vegetação, representado pela cobertura da vegetação natural na vizinhança próxima (2,25 ha) de um dado pixel de 30 m do mapeamento de referência. A influência da classe IFMG sobre os valores de cobertura é testada através um modelo de regressão linear generalizado. A forma do fragmento é representada por um índice de forma (*Shape Index*) adaptado de Patton (1975). Ele representa a complexidade da forma de um dado fragmento comparado a uma forma padrão de mesma área, usando o perímetro como critério de cálculo. A forma padrão aqui escolhida é circular.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A frequência de ocorrência de cada classe de vegetação GLC-SHARE quando dominante ao nível do pixel é representada por fisionomia IFMG na Tabela 1. A grande maioria das fisionomias dos biomas Mata Atlântica e Caatinga mapeadas no IFMG apresentam uma cobertura dominante arbórea, concordante com a definição de Oliveira Filho et al. (2006). As classes de florestas ombrófilas, discriminadas pela elevação no IFMG, podem incluir tanto florestas densas como mistas, as últimas sendo caracterizadas por uma menor densidade de vegetação e uma cobertura arbórea descontínua. Restrições de crescimento em zonas de elevação podem explicar porque as duas classes de maior elevação apresentam coberturas arbustivas importantes. Coberturas dominantes de áreas de cultura variam entre 13,7 e 33,2% dos pontos observados para as fisionomias dos dois biomas, sendo maiores para as classes de florestas estacionais. A cobertura GLC-SHARE das florestas de eucalipto e pinus também coincidem com as suas definições, sendo uma dominância de árvores e arbustos (estágios jovens de plantação). Para essas duas classes, a proporção de pontos onde as áreas de cultura dominam a cobertura GLCN é menor que 15%. As coberturas GLC-SHARE dominantes para parte das fisionomias do bioma Cerrado também mostram uma concordância com as definições de Oliveira Filho et al. (2006). Os estratos arbóreo e arbustivo atingem valores importantes para o cerrado *sensus stricto* e o campo cerrado. O estrato dominante do campo rupestre é quase exclusivamente arbóreo-arbustivo, com uma dominância de arbustos. O campo é dominado por cobertura GLC-SHARE arbustiva, porém, se esperava uma cobertura herbácea mais frequentemente dominante. Essas quatro classes são caracterizadas por uma baixa proporção de áreas de cultura dominante ao nível do pixel, atingindo no máximo 20% (campo cerrado). Ao contrário, a distribuição das coberturas GLC-SHARE dominantes para as fisionomias do cerradão e da vereda diverge das definições. Em ambas, a cobertura de áreas de cultura é superior a 60%. O modelo de regressão linear generalizado, que testa diferenças de superfície dos fragmentos entre fisionomias IFMG, aponta resultados significativos ($p < 0,0001$). O valor do coeficiente de determinação do modelo é muito baixo ($< 0,01$), pois o efeito testado é principalmente representado pela classe pinus, como ilustrado pelo teste de Tukey-Kramer (Tabela 2). As classes de vegetação IFMG cuja proporção de superfície inferior a 100 ha se destaca são as plantações de pinus e de eucalipto, sendo de 13 e 8% respectivamente. Os resultados do modelo de regressão linear generalizado, que testa diferenças de miscigenação entre fisionomias IFMG, indicam que as proporções médias dos quatro tipos de cobertura na vizinhança de 1 km² são significativamente diferentes dentro de cada fisionomia, como detalhado na Tabela 3. Esse resultado é reforçado pelo teste de Tukey, que evidencia as diferenças de proporções entre tipos de cobertura, para cada classe IFMG (Tabela 3). Os valores do coeficiente de determinação oscilam entre 0,43 e 0,85, respectivamente para a fisionomia de campo e a plantação de pinus. As classes de vegetação cuja maior cobertura IFMG vizinha corresponde grandes proporções de pastagem, cultura, área urbana ou solo exposto em volta dos seus fragmentos (classe “outra”), são a floresta ombrófila submontana, o cerradão, a floresta estacional semidecidual submontana, a vereda e a floresta estacional semidecidual montana. As outras fisionomias apresentam como cobertura predominante aquela do tipo a que pertencem. Os valores médios de proporção de superfície coberta por vegetação nativa na vizinhança próxima (2,25 ha), que reflete o isolamento espacial da vegetação, são significativamente diferentes entre classes IFMG, conforme os resultados do modelo de regressão linear generalizado ($R^2 = 0,12$; $p < 0,0001$). As fisionomias de floresta ombrófila submontana, florestas estacionais semidecíduais submontana e montana, cerradão e vereda apresentam proporções médias menores e um segundo modo de distribuição dessas proporções aparece em valores intermediários. Isso indica um maior isolamento dessas classes em relação à vegetação nativa. O modelo de regressão linear generalizado, que testa diferenças de médias do *Shape Index* entre classes IFMG, mostra resultados muito significativos, porém, o coeficiente de determinação é baixo ($R^2 < 0,01$; $p < 0,0001$). As cinco fisionomias que mais se afastam de uma forma padrão são a vereda, o campo, a floresta ombrófila montana, a floresta estacional semidecidual montana e o cerrado. Um aumento de escala de mapeamento tem duas consequências. Em primeiro lugar, a simplificação da classificação da sua vegetação é necessária, o que representa uma oportunidade de harmonizá-la, utilizando sistemas de classificação como o LCCS. Essa harmonização facilita a integração e o tratamento em conjunto de mapeamentos de várias fontes. No entanto, o aumento de escala gera uma perda de informação pela própria simplificação da classificação. O GLC-SHARE, por exemplo, não se ateu em discriminar as fitofisionomias como o IFMG. Também, a redução de resolução que acompanha geralmente o aumento de escala, representa uma perda de informação, levando a coocorrência de alvos diferentes

em um pixel. De fato, isso tende a homogeneizar as assinaturas espectrais entre pixels. Apesar das diferenças de escala e de resolução entre os dois mapeamentos, se observa um acerto espacial satisfatório para a maioria das fisionomias, em termos de dominância de estratos da vegetação. Divergências interessam principalmente a associação de áreas de cultura com a vegetação lenhosa mapeada pelo IFMG. O cerrado e a vereda representam as classes mais sensíveis à mudança de resolução. Essas discrepâncias são relacionadas às características da fisionomia alvo, sendo uma maior heterogeneidade espacial e uma singularidade da forma do fragmento. Mais especificamente, as duas fisionomias apresentam maiores valores de miscigenação na resolução de 1 km² (especialmente com a vegetação cultivada), fragmentos de vegetação frequentemente isolados em relação à cobertura de vegetação nativa na resolução de 2,25 ha e uma forma de fragmento irregular. Essas características resultam muito provavelmente dos grandes interesses agrícolas na região do triângulo mineiro, onde o cerrado é localizado, favorecendo a sua fragmentação, e da forma natural particular dos fragmentos da vereda, limitados a bandas estreitas seguindo os córregos úmidos. Recomenda-se então o uso de uma resolução fina para realizar o mapeamento de fisionomias caracterizadas por uma alta heterogeneidade espacial.

Tabela 1: Frequência de ocorrência de cada classe GLC-SHARE quando dominante ao nível do pixel, por fisionomia IFMG. As coberturas teoricamente dominantes de acordo com a definição do Oliveira Filho (2006) são realçadas em cinza. As classes de cobertura dominante GLC-SHARE mais representadas por fisionomia IFMG aparecem sublinhadas. O acerto teórico representa a proporção de pontos da fisionomia cuja cobertura GLC-SHARE coincide com a definição de Oliveira Filho (2006).

| Classe de vegetação IFMG | Cobertura (%) GLC-SHARE dominante no pixel | | | | Acerto teórico |
|------------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | arbórea | arbustiva | herbácea | cultura | |
| Cerradão | 23,9 | 7,6 | 4,4 | <u>63,2</u> | 23,9 |
| Cerrado | <u>34,6</u> | 29,2 | 18,1 | 17,6 | 64,1 |
| Campo cerrado | <u>45,9</u> | 25,1 | 8,5 | 20,2 | 71,0 |
| Vereda | 17,1 | 11,7 | 6,1 | <u>65,0</u> | 0 |
| Campo rupestre | 32,6 | <u>53,2</u> | 5,2 | 8,7 | 85,8 |
| Campo | 15,8 | <u>53,1</u> | <u>12,3</u> | 18,4 | 65,4 |
| ombrófila submontana | <u>63,1</u> | 4,2 | 11,6 | 20,2 | 63,1 |
| ombrófila montana | <u>37,7</u> | 35,0 | 13,3 | 13,7 | 72,7 |
| ombrófila alto montana | 29,6 | <u>42,3</u> | 13,7 | 14,1 | 71,9 |
| estacional semidecidual submontana | <u>61,3</u> | 5,0 | 3,3 | 29,3 | 61,3 |
| estacional semidecidual montana | <u>52,4</u> | 10,2 | 3,7 | 33,2 | 52,4 |
| estacional decidual submontana | <u>46,3</u> | 3,5 | 21,7 | 27,8 | 46,3 |
| estacional decidual montana | <u>47,9</u> | 6,1 | 13,9 | 31,9 | 47,9 |
| Eucalipto | <u>51,8</u> | 28,1 | 6,6 | 13,1 | 79,9 |
| Pinus | <u>48,9</u> | 29,6 | 6,2 | 14,8 | 78,5 |

Tabela 2: Estatísticas simples da superfície dos fragmentos de vegetação para cada classe IFMG, em hectare. As classes que pertencem a um único grupo de acordo com o teste de Tukey-Kramer são representadas em negrito.

| Classe de vegetação IFMG | N | Média (ha) | Desvio padrão (ha) | Máximo (mil ha) | Grupos de Tukey-Kramer | |
|---|---------|------------|--------------------|-----------------|------------------------|---|
| Pinus | 1.028 | 145,9 | 1174,8 | 25,4 | A | |
| Eucalipto | 15.971 | 70,0 | 580,5 | 44,9 | B | |
| Floresta estacional decidual submontana | 19.668 | 40,3 | 1584,6 | 127,0 | B | C |
| Floresta ombrófila alto montana | 2.631 | 35,9 | 682,6 | 32,4 | B | C |
| Campo rupestre | 19.956 | 30,9 | 1179,8 | 141,7 | B | C |
| Floresta ombrófila montana | 4.299 | 30,0 | 408,0 | 22,4 | B | C |
| Floresta estacional decidual montana | 51.219 | 25,5 | 731,8 | 104,9 | B | C |
| Cerrado | 235.388 | 23,6 | 851,3 | 378,1 | B | C |
| Vereda | 22.848 | 17,8 | 104,7 | 5,7 | B | C |
| Campo | 275.942 | 14,0 | 294,8 | 117,3 | B | C |
| Floresta estacional semidecidual | 324.756 | 14,0 | 334,3 | 111,9 | B | C |
| Cerradão | 26.021 | 13,7 | 46,4 | 1,8 | B | C |
| Floresta estacional semidecidual | 58.902 | 11,5 | 234,1 | 52,6 | B | C |
| Campo cerrado | 135.967 | 11,0 | 95,9 | 9,9 | C | |
| Floresta ombrófila submontana | 174 | 6,5 | 12,3 | 0,09 | C | |

Tabela 3: Modelo de regressão linear generalizado testando as diferenças de médias de proporção de tipo de cobertura (entre florestada, savânica, campestre e outra) na vizinhança de 1 km² de um pixel de 30 m de resolução, por classe de vegetação IFMG. Grupos de Tukey por classe são representados por letras. Classes de vegetação caracterizadas por uma cobertura dominante de tipo diferente na vizinhança são representadas em negrito. Tipos de cobertura dominante são sublinhados. $p < 0,0001$.

| Classe de vegetação IFMG | R ² | Proporção média de tipo de cobertura IFMG na vizinhança de 1 km ² e grupos de Tukey formados | | | |
|--|----------------|---|---------------|---------------|---------------|
| | | florestada | savânica | campestre | outra |
| Cerradão | 0,70 | 41,8 A | 1,6 B | 0,4 C | <u>56,3</u> D |
| Cerrado | 0,54 | 5,7 A | <u>60,3</u> B | 7,7 C | 26,2 D |
| Campo cerrado | 0,50 | 8,4 A | <u>55,5</u> B | 7,9 C | 28,1 D |
| Vereda | 0,53 | 4,0 A | 40,3 B | 4,6 C | <u>51,1</u> D |
| Campo rupestre | 0,77 | 2,9 A | 6,3 B | <u>70,6</u> C | 20,2 D |
| Campo | 0,43 | 5,8 A | 13,6 B | <u>47,9</u> C | 32,8 D |
| Floresta ombrófila alto montana | 0,78 | <u>73,1</u> A | 0,0 B | 6,0 C | 20,9 D |
| Floresta ombrófila montana | 0,74 | <u>61,3</u> A | 0,0 B | 0,8 C | 37,8 D |
| Floresta ombrófila submontana | 0,83 | 43,0 A | 0,0 B | 0,0 B | <u>57,0</u> C |
| Floresta estacional semidecidual montana | 0,52 | 44,6 A | 4,5 B | 3,9 C | <u>47,0</u> D |
| Floresta estacional semidecidual submontana | 0,60 | 46,1 A | 2,1 B | 0,2 C | <u>51,6</u> D |
| Floresta estacional decidual montana | 0,58 | <u>61,8</u> A | 9,8 B | 2,0 C | 26,4 D |
| Floresta estacional decidual submontana | 0,75 | <u>76,8</u> A | 3,0 B | 0,1 C | 20,1 D |
| Pinus | 0,85 | <u>82,5</u> A | 4,4 B | 2,3 C | 10,8 D |
| Eucalipto | 0,78 | <u>76,5</u> A | 6,4 B | 2,1 C | 15,0 D |

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa do Programa de Capacitação Institucional Desenvolvimento (PCI-D) cedida ao primeiro autor. Agradecem também ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que disponibilizou dados, equipamentos, conhecimentos e infraestruturas para a realização desse estudo.

REFERÊNCIAS:

- XIE, Y.; SHA, Z.; YU, M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. **Journal of Plant Ecology**, v. 1, n. 1, p. 9-23, 2008.
- MCCONNELL, W. J.; MORAN, E. F. Meeting in the middle: the challenge of meso-level integration. NA INTERNATIONAL WORKSHOP, Ispra, Italy, 2000. **LUCC report series n. 5**, 2000.
- GLC-SHARE. Global Land Cover Network. Disponível em: <<http://www.glcn.org/>>. Acesso em: 22 agosto 2014, 2014.
- GONG, X.; WEBER, J. L. Land cover and land use classifications in the SEEA revision. FOURTH MEETING OF THE UN COMMITTEE OF EXPERTS ON ENVIRONMENTAL-ECONOMIC ACCOUNTING, New York, USA, 2009. 24 June 2009, 8 p.
- IFMG. Inventário Florestal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.inventarioflorestal.mg.gov.br/>>. Acesso em: 22 agosto 2014, 2008.
- OLIVEIRA FILHO, A. T. DE; SCOLFORO, J. R. S.; DONIZETTE DE OLIVEIRA, A.; CARVALHO, L. M. T.; et al. Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do estado de Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T.; **Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais**. UFLA, Lavras, p. 21-35, 2006.
- CINGOLANI, A. M.; RENISON, D.; ZAK, M.R.; CABIDO, M.R. Mapping vegetation in a heterogeneous mountain rangeland using landsat data: an alternative method to define and classify land-cover units. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, n. 1, p. 84-97, 2004.
- CLARK, P. E.; SEYFRIED, M. S.; HARRIS, B. Intermountain plant community classification using Landsat TM and SPOT HRV data. **Journal of Range Management**, v. 54, p. 152-160, 2001.
- SHA, Z; BAI, Y.; XIE, Y.; YU, M.; ZHANG, L. Using a hybrid fuzzy classifier (HFC) to map typical grassland vegetation in Xilinhe River Basin, Inner Mongolia, China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 8, p. 2317-2337, 2008.
- PATTON, D. R. A diversity index for quantifying habitat "edge". **Wildlife Society Bulletin**, v. 3, p. 171-173, 1975.