

03

A HETEROGENEIDADE DAS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DAS TERRAS NA AMAZÔNIA: EM BUSCA DE UM MAPA DA ESTRADA

Mateus Batistella*
Emilio F. Moran**

Introdução

As mudanças de uso e cobertura das terras, a conseqüente fragmentação de paisagens naturais e seus potenciais impactos nas mudanças globais, ciclos biogeoquímicos, dinâmicas regionais e biodiversidade têm se tornado temas centrais em Ciências da Terra (Vitousek *et al.*, 1997; National Research Council, 1998; Lambin *et al.*, 1999; Moran *et al.*, 2004). Como conseqüência, novas teorias ecológicas (Wilson, 1998; Kates *et al.*, 2001), modernos métodos para o estudo de relações espaciais (Turner *et al.*, 1995; Forman, 1997) e diversas aplicações no planejamento e monitoramento de territórios têm contribuído para uma leitura diferenciada sobre a dominação humana em espaços terrestres (Goodland *et al.*, 1993; Daily *et al.*, 2000). As ciências sociais acompanham essas tendências e catalisam a atividade científica para abordagens mais integradoras (Liverman *et al.*, 1998; Lubchenco, 1998; Berkes & Folke, 2000; Fox *et al.*, 2002).

Por sua abrangência geográfica e relevância socioambiental, o processo mais importante de fragmentação da paisagem em nível regional, e com possíveis con-

* Embrapa Monitoramento por Satélite. E-mail: mb@cnpem.embrapa.br

** Indiana University. E-mail: moran@indiana.edu

seqüências globais, é o desmatamento de florestas tropicais, em particular da Amazônia (Lambin, 1997; Williams, 2003). Têm sido utilizadas diferentes abordagens para estudar mudanças de uso e cobertura das terras associadas a esse fenômeno naquela região. Entre elas, pesquisas têm avaliado as taxas de desmatamento (Skole & Tucker, 1993; Alves & Skole, 1996; Inpe, 2004) e processos sociais, econômicos e ecológicos envolvidos (Brondizio *et al.*, 2002; Geist & Lambin, 2002).

Em particular, têm contribuído para um entendimento mais circunstanciado das tendências, e possíveis riscos ao equilíbrio regional, o uso de sensoriamento remoto e abordagens que levam em conta a dimensão espacial do fenômeno (Skole & Tucker, 1993; Dale *et al.*, 1993, 1994; Frohn *et al.*, 1996; Laurance *et al.*, 1997; Alves, 2002). Essas abordagens conferem um caráter prático às ciências naturais e sociais, estabelecendo novas bases para o planejamento, manejo, conservação e desenvolvimento regional (Leser & Rodd, 1991; Alves *et al.*, 2004). Como a expressão do fenômeno pode ser espacialmente representada, são fundamentais os aspectos relacionados à escala de abordagem (Allen & Starr, 1982; Meentemeyer & Box, 1987; Pickett & CanDENASSO, 1995; Gibson *et al.*, 2000).

Desenvolvimentos teóricos têm relacionado padrões e processos em territórios fragmentados. A alteração de resoluções espaciais, por exemplo, pode afetar nossa habilidade para extrapolar informações através de diferentes escalas (Turner & Gardner, 1991; Pontius, 2002). Tradicionalmente, muitos pesquisadores assumem que processos socioambientais afetando populações e comunidades operam em escalas locais (Dunning *et al.* 1992; Netting, 1993). No entanto, variações no contexto espacial ocorrem em várias escalas e retroalimentam esses processos positiva ou negativamente (Wiens, 1989; Ostrom *et al.*, 1999), tornando o problema da dinâmica espacial uma das fronteiras das ciências naturais e sociais (Levin, 1992; Kareiva, 1994; Gibson *et al.*, 2000). No contexto das mudanças de uso das terras amazônicas e da fragmentação da floresta, o tema atual da biodiversidade – e também da diversidade social e cultural – pode unir as pesquisas sobre a dinâmica populacional e os processos ecológicos (Norton & Ulanowicz, 1992; Turner *et al.*, 1995). Talvez um problema fundamental para a análise e síntese desses padrões e processos resida na dificuldade de repetir observações no tempo e no espaço, ao nível das paisagens, das comunidades, dos municípios e da região. A diacronicidade e a sincronicidade dos sensores remotos, assim como a repetitividade decadal dos dados censitários, ou de séries de dados coletados por projetos de pesquisa em domicílios e comunidades, auxiliam no preenchimento dessas lacunas. Além disso, abordagens quantitativas, através de modelos de análise e simulação, têm grande impacto em descrever e prever processos dessa natureza (Sklar & Constanza, 1991; Constanza *et al.*, 1993; Lambin, 1994; Kaimowitz

& Angelsen, 1998; Laurance *et al.*, 2001; Irwin & Geoghegan, 2002; Parker *et al.*, 2002; Soares Filho *et al.*, 2006). Porém, da mesma forma que na matemática uma coisa só é igual a ela mesma, nas ciências naturais e sociais os modelos serão sempre incompletos. O desafio está em minimizarmos as incertezas relacionadas aos padrões e processos observados, para acertarmos mais na definição de políticas que conjuguem o desenvolvimento regional, a inclusão social e a conservação dos recursos naturais.

Este capítulo discute algumas contribuições para a busca de um 'mapa da estrada' que leve ao entendimento das dimensões biofísicas e humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia, através de distintas escalas de análise.

Trajetórias de uso e cobertura das terras na Amazônia

O entendimento sobre as dimensões biofísicas e humanas das mudanças na paisagem amazônica depende de documentação das alterações, passadas e atuais, na cobertura da terra. Entre as várias iniciativas brasileiras ou internacionais que contribuem para esse entendimento está o Experimento de Grande Escala de Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). Vários projetos deste experimento tratam o uso e cobertura das terras como um tópico secundário ao seu foco nas ciências atmosféricas, hidrologia, dinâmica de nutrientes ou do carbono. Alguns projetos específicos investem no desenvolvimento da habilidade em prever a localização e a magnitude das transformações na região amazônica, procurando responder às seguintes perguntas (Moran & Krug, 2001):

- Que características definem os diferentes usos das terras existentes na Amazônia?
- Como são as mudanças de uso das terras em escalas locais e regionais?
- Como a terra pode ser usada para promover uma renda domiciliar sustentável e a conservação da rica biodiversidade regional?

Para responder essas questões, os grupos de pesquisa em uso e cobertura das terras do LBA estudam:

- taxas, localização e padrões espaciais de conversão de florestas para uso agropecuário;
- taxas de sucessão secundária;
- parâmetros que controlam o uso das terras, através de estudos de caso, dados censitários, dados de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG);
- frequência e susceptibilidade ao fogo;
- frequência e extensão de inundações;
- vetores de mudanças de uso e futuras coberturas das terras utilizando modelos.

Em particular, um grupo de pesquisa do LBA tem contribuído com os seguintes conhecimentos (Batistella & Moran, 2005):

- diferenças na qualidade dos solos explicam grande parte da variância das taxas de sucessão secundária, de escolha da cultura e de permanência dos colonos na propriedade rural (Moran *et al.*, 2000);
- as diferenças na qualidade dos solos mostram-se ainda mais determinantes quando são feitas comparações entre regiões (Tucker *et al.*, 1998);
- quando se comparam localidades dentro de uma certa região, o uso ou manejo da terra explicam melhor as diferenças nas taxas de sucessão secundária (Moran & Brondizio, 1998);
- estágios de sucessão secundária são associados a padrões espaciais e espectrais que podem ser capturados através do processamento de imagens de sensoriamento remoto e utilizados para estimar, com relativa precisão, a distribuição espacial da biomassa. São realizadas intensivas campanhas de campo para aumentar a acurácia das classificações e estimativas (Moran *et al.*, 1994; Lu *et al.*, 2003, 2004, 2005);
- processos de sucessão secundária, mudanças na biomassa e transformações no uso e cobertura das terras variam conforme a escala. É fundamental adotar critérios multiescalares na obtenção e análise de dados para examinar como certas variáveis são mais importantes em algumas escalas e menos importantes em outras (Batistella & Brondizio, 2004);
- a arquitetura dos assentamentos afeta a estrutura da paisagem e os processos de fragmentação da floresta. Assentamentos ortogonais (“espinha de peixe”) produzem maior fragmentação florestal, menor complexidade espacial e menor intercalação entre unidades da paisagem que assentamentos com desenho baseado na topografia (Batistella *et al.*, 2003);
- além das variáveis biofísicas, para entender o uso e cobertura das terras é preciso considerar o papel das variáveis sociais, tais como regimes de posse da terra, tempo e tipo de assentamento, ciclos de desenvolvimento dos domicílios, efeitos de coortes de colonos nos padrões de uso das terras, entre outros (McCracken *et al.*, 1999; Fudemma & Brondizio, 2003);
- na fronteira agropecuária amazônica, existe uma trajetória consistente para os ciclos de desmatamento por colonos (efeito de coorte), no qual os domicílios têm um período inicial de altas taxas de desmatamento, seguido por um forte declínio do corte da floresta, até que a próxima geração assuma a propriedade, iniciando um novo (mas não tão intenso) aumento do desmatamento (Brondizio *et al.*, 2002);
- o efeito de coorte persiste apesar dos efeitos periódicos. Eventos como baixos créditos, hiperinflação e outros sinais de mercado afetam a magnitude do desmatamento, mas não sua trajetória (Evans *et al.*, 2001);

- a conservação de grandes áreas florestais é dependente de arranjos institucionais e fundiários relativos às necessidades da população de colonos e à demarcação de reservas com direito de uso restrito aos atores locais (Batistella, 2001; Dietz *et al.*, 2003).

Uma síntese multiescalar

As contribuições de vários autores permitem identificar padrões e processos relacionados ao uso e cobertura das terras na Amazônia, mas não esgotam a multiplicidade de aspectos relacionados ao tema. Com o objetivo de ampliar e sintetizar nosso entendimento sobre as dimensões biofísicas e humanas das transformações das paisagens amazônicas, necessitamos de uma síntese multiescalar baseada em atividades científicas integradas. As pesquisas devem incluir:

- questionamentos sobre a dinâmica de mudança no uso e cobertura das terras, integrando áreas de estudo, para entender a importância de variáveis demográficas, econômicas, institucionais e biofísicas nas trajetórias observadas;
- desenvolvimento de um estudo integrado de uso das terras, cobertura das terras e interações terra-ar-água-homem, incluindo áreas de estudo com maior robustez de dados;
- desenvolvimento de uma estratégia de colaboração para contribuir com esforços de modelagem e síntese através de parcerias entre projetos.

Em particular, devido ao impacto que causam sobre a cobertura das terras em escala local e regional, devem ser enfatizadas áreas de assentamento rural e de expansão/intensificação agropecuária. Poucas iniciativas têm a relevância social, econômica e ambiental dos projetos de colonização rural, da intensa dinâmica do agronegócio, das obras de infraestrutura e da urbanização na Amazônia. Na história desses processos estão escritos o sucesso ou fracasso de milhares de famílias, questões de desenvolvimento rural, produção de alimentos, e a dinâmica de desmatamento e ocupação da região. Assim, devem ser analisados inúmeros fatores, tais como o potencial produtivo dos solos, a demanda pela terra, os conflitos fundiários, as políticas públicas, o regime de mercados internos e externos. Apesar da importância da questão, ainda são raros os exemplos de planejamento e acompanhamento de processos de ocupação na Amazônia que aproveitem o potencial da geoinformação e das ciências sociais e naturais para entender e integrar analiticamente as trajetórias destas paisagens em transformação (Batistella & Brondizio, 2004).

Estes estudos podem contribuir ao entendimento não só da variação em taxas de desmatamento e regeneração florestal, mas também da articulação de estratégias agropecuárias e, ainda, do papel da infraestrutura, do mercado e dos atores locais na dinâmica de uso e cobertura das terras da Amazônia.

Armadilhas metodológicas em abordagens multiescalares

A literatura sobre problemas freqüentes em análises multiescalares de processos espaciais é extensa. Burt & Barber (1996) descreveram quatro armadilhas metodológicas: a delimitação de áreas de estudo, a escala, as unidades modificáveis (ou reclassificação) e o padrão. Para discutir essas armadilhas, precisamos uniformizar o entendimento sobre determinados termos. Seguindo Turner *et al.* (1989) e Silbernagel (1997), usaremos as seguintes definições:

- Escala é a dimensão temporal ou espacial de um objeto ou processo, caracterizada por seu grão e extensão.
- Resolução é a precisão da medida (tamanho do grão, se espacial).
- Grão é a menor resolução espacial possível em uma base de dados (tamanho do pixel para dados matriciais, domicílios para dados censitários etc.).
- Extensão é o tamanho da área de estudo ou o período temporal sob consideração.

O problema da delimitação é relacionado à extensão e localização dos limites de uma área de estudo, assim como à definição de limites internos no desenho espacial. Isto deve ser uma das primeiras questões a serem consideradas em estudos comparativos sobre fragmentação da paisagem ou fragmentação social na Amazônia. Que limites devem ser escolhidos? Como definir subáreas para o cálculo de métricas de paisagem ou de indicadores socioeconômicos? Essas subáreas deveriam ter a mesma forma e extensão? As respostas a essas perguntas ainda não têm solução generalizada, mas, para evitar conclusões precipitadas, devem ser consideradas algumas opções.

Uma delas é escolher subáreas de análise com exatamente a mesma forma e extensão, o que é virtualmente impossível, pois processos e padrões similares de transformação da paisagem ocorrem em abrangências e formas geográficas distintas. O cálculo de métricas e indicadores pode ser fortemente afetado por problemas de segregação ou integração, não permitindo comparações razoáveis entre áreas diferentes. A outra opção seria estabelecer os limites das áreas de estudo e calcular as métricas e indicadores em relação à extensão total de cada área. Embora com diferentes formas e extensões, o problema da delimitação é, nesse caso, minimizado.

Em estudos sobre mudanças no uso e cobertura das terras, é particularmente importante a escolha dos limites geográficos. Métricas de paisagem, como dominância e contágio, por exemplo, têm maiores valores quando a extensão da área também é maior; já a diversidade tem uma resposta variável (Turner *et al.*, 1989a).

O segundo problema na análise multiescalar de dados espaciais está relacionado ao grão e é também chamado de problema de escala ou problema de agre-

gação de área. Em geral, agregação de área tende a reduzir a variância em mosaicos espaciais (Forman, 1997). Este é um importante aspecto em pesquisas sobre mudanças globais, pois geralmente são sugeridas regionalizações (*scaling up*) e particularizações (*scaling down*) (McConnell & Moran, 2001; National Research Council, 2001).

Em medidas multiescalares, dependendo de como foi definida a escala, diferem as mudanças qualitativas e quantitativas. Portanto, medidas feitas em diferentes escalas podem não ser comparáveis. Além disso, relações entre parâmetros, variáveis, métricas e indicadores variam de acordo com a escala, criando dificuldades para extrapolar de uma área de estudo para outra (Meentemeyer & Box, 1987; Wiens, 1989). Por exemplo, índices de diversidade decrescem linearmente quando o tamanho do grão aumenta, enquanto dominância e contágio não apresentam relação linear. Classes com pequena representação espacial são perdidas quando se aumenta o tamanho do grão e classes com elementos dispersos são perdidas mais rapidamente que classes agregadas (Turner *et al.*, 1989a).

Várias abordagens metodológicas têm procurado superar esses problemas (Burrough, 1981; Mandelbrot, 1983; Curran, 1988; Isaaks & Srivastava, 1989; Milne, 1988; Rossi *et al.*, 1992; Lavorel *et al.*, 1993; Legendre, 1993; Plotnick *et al.*, 1993; Raffy, 1994; Bellehumeur & Legendre, 1998; Withers & Meentemeyer, 1999).

Para pesquisas multiescalares na Amazônia, uma solução simples pode ser a utilização do mesmo grão para as áreas a serem comparadas, permitindo a investigação de processos e padrões de uso e cobertura das terras segundo uma mesma resolução espacial. Podem ocorrer problemas adicionais se forem integrados dados espaciais produzidos em escalas menos detalhadas (por exemplo, mapas de solos, topografia etc.). Nesse caso, para evitar conclusões equivocadas, indica-se precaução.

Um terceiro problema potencial em análises espaciais está associado a unidades modificáveis (ou reclassificação). Quando unidades espaciais são progressivamente agregadas em um número menor de unidades com maior extensão, os resultados variam (Cao & Lam, 1997). Isso pode ocorrer ainda que durante a análise se utilize o mesmo grão e extensão. Em geral, técnicas de suavização ou generalização decrescem a variância e aumentam a autocorrelação espacial (Bian, 1997). No entanto, nem sempre são previsíveis os efeitos da utilização de reclassificações espaciais. Para minimizar armadilhas quando dados espaciais forem agregados, é recomendável unir apenas áreas com atributos similares (Bian & Butler, 1999).

Esse problema é tipicamente reconhecido durante a classificação de dados utilizando esquemas hierárquicos para o uso e cobertura das terras (Anderson, 1976; Gregorio & Jansen, 2000). Unir classes distintas deve ser feito com muito cuidado,

para evitar indesejados decréscimos na variância espacial e generalizações precipitadas. Aspectos importantes a considerar incluem a própria natureza da classificação, o processo de expressão espacial da classificação e o fenômeno sob investigação (Withers & Meentemeyer, 1999). Para estudar de forma comparativa a fragmentação de paisagens na Amazônia, é importante utilizar procedimentos similares, a fim de preservar as relações espaciais em todas as áreas de estudo.

O padrão associado a dados espaciais é outro problema a ser abordado. Muitas análises são incapazes de definir o tipo de padrão presente numa distribuição espacial. Na análise de uso e cobertura das terras na Amazônia, além da composição da paisagem, é importante investigar a variação do arranjo espacial (configuração da paisagem) na série temporal de interesse. Hipoteticamente, diferentes estratégias de uso da terra e conseqüentes alterações na cobertura da terra podem ser derivados desse tipo de abordagem. No entanto, uma importante limitação de muitas análises espaciais reside em sua capacidade de descrever padrões espaciais baseados apenas em relações de zonas vizinhas. Relações espaciais mais complexas, envolvendo manchas não contíguas na paisagem, ainda não estão implementadas.

Atentos a essas condições e conscientes da necessidade de leituras integradas sobre os processos que afetam a dinâmica de ocupação do território amazônico, sugerimos um caminho possível, a partir dos inúmeros esforços já feitos pela comunidade científica, em particular de experimentos e projetos como o LBA.

Um mapa da estrada

A integração de procedimentos metodológicos em estudos sobre uso e cobertura das terras na Amazônia deve envolver a necessidade de interrogar os processos socioeconômicos e suas implicações ambientais. Os compartimentos biofísicos, o contexto político-administrativo e os arranjos espaço-temporais de ocupação delimitam unidades fundamentais de análise a considerar. Os compartimentos biofísicos definem diferentes potenciais e limitações das áreas ocupadas, podendo ser analisados em planos de informação relativos à topografia, bacias hidrográficas, solos, classes de uso e cobertura da terra, entre outros.

O contexto político-administrativo e o arranjo espaço-temporal de ocupação pode ser hierarquizado em diferentes unidades, tais como município, setores censitários, assentamentos, reservas, coortes de propriedades, e propriedades (Battistella & Brondizio, 2004).

Para transitar nesses diversos níveis de abordagem, uma iniciativa multiescalar e multidimensional pode caracterizar e monitorar os processos de mudança de uso e cobertura das terras sob as seguintes perspectivas:

- dimensão espacial – localização e articulação dos processos em propriedades, coortes de propriedades (ou glebas), reservas e o conjunto de assentamentos (ou setores censitários) no município e infra-estrutura regional;
- dimensão temporal – caracterização de fases de ocupação derivadas da mobilidade populacional, da expansão da fronteira agropecuária e dos processos de urbanização;
- dimensão socioeconômica local – caracterização de elementos socioeconômicos e culturais da população, tais como origem, relações sociais na fronteira e experiência como produtor;
- dimensão socioeconômica regional – indicadores sociais e econômicos de produção e dinâmica populacional, influenciando as trajetórias de uso da terra.

A integração entre essas dimensões distintas e interagentes ocorre através da análise dos componentes temáticos, integrados em bases de dados georreferenciados, definindo espacialmente o conjunto de unidades a serem analisadas e sua relação com as propriedades, a paisagem, o município e outras unidades regionais.

A Amazônia apresenta atualmente uma variedade de arquiteturas espaciais e complexos fundiários. Esse mosaico de situações inclui os famosos assentamentos “espinha de peixe”, áreas de colonização espontânea ou desordenada, grandes projetos agropecuários, assentamentos com desenho baseado na topografia, sistemas radiais, entre outros. Informações sobre a posição de propriedades individuais na paisagem, tamanho das propriedades, tempo de ocupação e relação com a infra-estrutura, o contexto socioeconômico e o ambiente biofísico são fundamentais para qualquer análise representativa, por exemplo, do desmatamento e de seus impactos.

Uma efetiva contribuição ao estudo do uso e cobertura das terras amazônicas seria o desenvolvimento e validação de uma metodologia que oferecesse potenciais de integração, análise e monitoramento em um nível de detalhe suficiente para a tomada de decisões referentes ao desenvolvimento rural, melhoramento de infra-estrutura e monitoramento ambiental para a variedade de situações observadas.

A abordagem desses temas tem função primordial em análises de impacto ambiental e em zoneamentos de áreas de conflito, do ponto de vista de seus potenciais e limitações locais e regionais. Os resultados podem fornecer subsídios práticos em planejamento e desenvolvimento. Em particular, estudos comparativos e multidimensionais dessa natureza podem ter aplicação direta nas políticas de reforma agrária, desenvolvimento regional e conservação.

Conclusão

Mudanças na superfície terrestre provocadas pelas atividades humanas têm sido substanciais (Williams, 2003; Watson *et al.*, 2001), afetando potenciais serviços ambientais e contribuindo para alterar ciclos biogeoquímicos que controlam o funcionamento dos ecossistemas (Steffen *et al.*, 2003). A pegada humana em paisagens amazônicas, por exemplo, é tão clara, que não só é difícil mas analiticamente questionável, especialmente em processos terrestres, separar o natural do humano (Vitousek *et al.*, 1997; Wood & Porro, 2002; Clark *et al.*, 2003).

Pesquisas sobre condicionantes do desmatamento tropical revelam que nem uma simples causalidade (por exemplo, pobreza, crescimento populacional etc.), nem complexidades irreduzíveis explicam adequadamente a dinâmica do processo (Geist & Lambin, 2002). O desmatamento e conseqüentes mudanças no uso e cobertura das terras são condicionados por padrões regionais identificáveis, dos quais os mais proeminentes são fatores econômicos, institucionais e políticos, que parecem dirigir a expansão agropecuária, a extração madeireira e o desenvolvimento de infra-estruturas.

O tema do uso e cobertura das terras emergiu como um dos mais importantes aspectos das mudanças globais, mudanças climáticas, dinâmica de sistemas terrestres e programas de pesquisa em sustentabilidade. A partir de sensoriamento remoto, análises em áreas geograficamente abrangentes sofisticaram o entendimento de processos em estudos de caso e, em modelagem, são evidências do potencial já alcançado pela comunidade científica. Do tema à disciplina, o uso e cobertura das terras é hoje reconhecido como um importante foco de pesquisas para documentar e entender as causas e conseqüências das transformações da natureza pelo homem. Programas nacionais e internacionais corroboram essa relevância (Turner II *et al.*, 1995a; Lambin *et al.*, 1999; National Research Council, 2001; Turner II, 2002). Esses esforços estão fundando uma ciência integrada das mudanças da terra, demonstrando o significado e entendimento obtidos de pesquisas interdisciplinares sobre mudanças globais, sistemas terrestres, sustentabilidade, meio ambiente e desenvolvimento, biogeografia, ecologia da conservação, entre outras (Moran *et al.*, 2004).

Tendências programáticas emergentes nesses estudos incluem a ênfase em pesquisas espaciais, em modelos preditivos, em interações das dimensões humanas e ambientais, em pesquisas interdisciplinares e na relevância dos processos de tomada de decisão. Com uma agenda baseada nas mudanças globais em escalas importantes de análise, essas tendências requerem, como premissa, uma ciência integrada sobre mudanças de uso e cobertura das terras.

Na Amazônia, a heterogeneidade de padrões e processos concomitantes de transformação da paisagem praticamente decreta a necessidade de abordagens multiescalares que minimizem maniqueísmos científicos. O reconhecimento e a análise da dimensão fractal das frentes de ocupação podem favorecer o entendimento das dinâmicas regionais sem prejuízo para comunidades locais, em busca de uma síntese que reconheça os processos de tomada de decisão, do domicílio à região. Abordagens comparativas e integradoras, a partir da biblioteca de estudos de caso já existentes e da necessidade de ordenamento territorial, podem preencher lacunas importantes no reconhecimento das mudanças de uso e cobertura das terras promovidas pela atividade humana e em políticas que organizem o fenômeno em direção à sustentabilidade.

Referências bibliográficas

- ALLEN, T. F. H. & STARR, T. B. 1982. *Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity*. Chicago, University of Chicago Press.
- ALVES, D.S. 2002. "Space-time Dynamics of Deforestation in Brazilian Amazonia". *International Journal of Remote Sensing*, 23: 2903-2908.
- ALVES, D. S. & SKOLE, D. L. 1996. "Characterizing Land Cover Dynamics Using Multitemporal Imagery". *International Journal of Remote Sensing*, 17(4):835-839.
- ALVES, D. S.; BECKER, B. K. & BATISTELLA, M. 2004. "Land Cover/Land Use Change and Human Dimension in the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA)". *LUCC-Newsletter*, 10:4-5.
- ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T. & WITMER, R.E., 1976. *A Land Use and Hard Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data*. Washington, D.C., US Printing Office (Geological Survey Professional Paper 964).
- BATISTELLA, M. 2001. *Landscape Change and Land-Use/Land-Cover Dynamics in Rondônia, Brazilian Amazon*. Indiana, USA, School of Public and Environmental Affairs, Indiana University. 399 p. (PhD dissertation).
- BATISTELLA, M. & BRONDIZIO, E. S. 2004. "Uma Estratégia Integrada de Monitoramento e Análise do Impacto Ambiental de Assentamentos Rurais na Amazônia". In: ROMEIRO, A. R. (org.). *Avaliação e Contabilização de Impactos Ambientais*. Campinas, Editora da Unicamp, pp. 74-86.
- BATISTELLA, M. & MORAN, E. F. 2005. "Dimensões Humanas do Uso e Cobertura das Terras na Amazônia: Uma Contribuição do LBA". *Acta Amazonica*, 35 (2): 239-247.
- BATISTELLA, M.; ROBESON, S. & MORAN, E. F. 2003. "Settlement Design, Forest Fragmentation, and Landscape Change in Rondônia, Amazônia". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(7):805-812.
- BELLEHUMEUR, C. & LEGENDRE, P. 1998. "Multiscale Sources of Variation in Ecological Variables: Modeling Spatial Dispersion, Elaborating Sampling Designs". *Landscape Ecology*, 13:15-25.
- BERKES, F. & FOLKE, C. (eds.). 2000. *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge, Cambridge University Press. 459 p.
- BIAN, L. 1997. "Multiscale Nature of Spatial Data in Scaling Up Environmental Models. In: QUATROCHI, D. A. & GOODCHILD, M. F. (eds.). *Scale in Remote Sensing and GIS*. Boca Raton, Lewis, pp. 13-26.

- BIAN, L. & BUTLER, R. 1999. "Comparing Effects of Aggregation Methods on Statistical and Spatial Properties of Simulated Spatial Data". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65(1):73-84.
- BRONDIZIO, E. S.; MCCRACKEN, S. D.; MORAN, E. F.; SIQUEIRA, A. D.; NELSON, D. R. & RODRIGUEZ-PEDRAZA, C. 2002. "The Colonist Footprint: Towards a Conceptual Framework of Deforestation Trajectories among Small Farmers in Frontier Amazônia". In: WOOD, C. & PORRO, R. (eds.). *Land Use and Deforestation in the Amazon*. Gainesville, University Press of Florida.
- BURROUGH, P. A. 1981. "Fractal Dimensions of Landscapes and Other Environmental Data". *Nature*, 294:240-242.
- BURT, J. E. & BARBER, G. G. 1996. *Elementary Statistics for Geographers*. New York, Guilford.
- CAO, C. & LAM, N. S. 1997. "Understanding the Scale and Resolution Effects in Remote Sensing and GIS". In: QUATTROCHI, D. A. & GOODCHILD, M. F. (eds.). *Scale in Remote Sensing and GIS*. Boca Raton, Lewis, pp. 57-72.
- CLARK, W. A.; CRUTZEN, P. & SCHELLNHUBER, H. J. 2003. *Earth System Analysis for Sustainability*. Dahlem, Cambridge, MIT Press (Workshop Report, 91).
- COSTANZA, R.; WAINGER, L.; FOLKE, C. & MALER, K. G. 1993. "Modeling Complex Ecological Economic Systems". *BioScience*, 43(8):545-555.
- CURRAN, P. J. 1988. "The Semivariogram in Remote Sensing: An Introduction". *Remote Sensing of Environment*, 24:493-507.
- DAILY, G.; SÖDERQVIST, T.; ANIYAR, S.; ARROW, K.; DASGUPTA, P.; EHRLICH, P. R.; FOLKE, C.; HANSSON, A.; JANSSON, B. O.; KAUTSKY, N.; LEVIN, S.; LUBCHENCO, J.; MÄLER, K. G.; SIMPSON, D.; STARRETT, D.; TILMAN, D. & WALKER, B. 2000. "The Value of Nature and Nature of Value". *Science*, 289:395-396.
- DALE, V. H.; O'NEILL, R. V.; PEDLOWSKI, M. & SOUTHWORTH, F. 1993. "Causes and Effects of Land-use Change in Central Rondônia, Brazil". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(6):997-1005.
- DALE, V. H.; O'NEILL, R. V.; SOUTHWORTH, F. & PEDLOWSKI, M. 1994. "Modeling Effects of Land Management in the Brazilian Amazon Settlement of Rondônia". *Conservation Biology*, 8(1):196-206.
- DIETZ, T.; OSTROM, E.; STERN, P. C.; GREEN, G.; BATISTELLA, M.; BRODERICK, J.; CASTELLANOS, E.; FUTEMMA, C.; BARRIENTOS, L. M.; NAGENDRA, H.; RAMOS, V. H.; REGMI, A.; ROBLES, R.; SCHWEIK, C.; SWEENEY, S. & VOGT, N. 2003. "The Struggle to Govern the Commons". *Science Magazine Online Supplement*, 302(5652):1907-1912.
- DUNNING, J. B., DANIELSON, B. J. & PULLIAM, H. R. 1992. "Ecological Process that Affect Populations in Complex Landscapes". *Oikos*, 65(1):169-175.
- EVANS, T. P.; MANIRE, A.; de CASTRO, F.; BRONDIZIO, E. S. & MCCRACKEN, S. D. 2001. "A Dynamic Model of Household Decision Making and Parcel-level Land Cover Change in the Eastern Amazon". *Ecological Modeling*, 143(1-2):95-113.
- FORMAN, R. T. T. 1997. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge, Cambridge University Press. 632 p.
- FOX, J.; MISHAR, V.; RINDFUSS, R. & WALSH, S. 2002. *People and the Environment: Approaches for Linking Household and Community Survey to Remote Sensing and GIS*. Amsterdam, Kluwer.
- FROHN, R. C. 1998. *Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators for Monitoring, Modeling and Assessment of Ecosystems*. Boca Raton, Lewis. 99p.
- FUTEMMA, C. & BRONDIZIO, E. S. 2003. "Land Reform and Land-use Changes in the Lower Amazon: Implications for Agricultural Intensification". *Human Ecology*, 31(3):369-402.

- GEIST, H. J. & LAMBIN, E. F. 2002. "Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation". *BioScience*, 52(2):143-150.
- GIBSON, C. C.; OSTROM, E. & ANH, T. K. 2000. "The Concept of Scale and the Human Dimensions of Global Change: A Survey". *Ecological Economics*, 32:217-239.
- GOODLAND, R. J. A.; DALY, H. E. & SERAFY, S. 1993. "The Urgent Need for Rapid Transition to Global Environmental Sustainability". *Environmental Conservation*, 20(4):297-309.
- GREGORIO, A. & JANSEN, L. J. M. 2000. *Land Cover Classification System*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2004. *Projeto Prodes*. São José dos Campos, Inpe.
- IRWIN, E. G. & GEOGHEGAN, J. 2002. "Theory, Data, Methods: Developing Spatially-explicit Economic Models of Land Use Change". *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, 84:7-24.
- ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA, R. M.. 1989. *Applied Geostatistics*. New York, Oxford University Press.
- KAIMOWITZ, D. & ANGELSEN, A. 1998. *Economic Models of Tropical Deforestation: A Review*. Bogor, Indonesia, Center for International Forestry Research. 139 p.
- KAREIVA, P. 1994. "Space: The Final Frontier for Ecological Theory". *Ecology*, 75(1):1.
- KATES, R. W.; CLARK, W. C.; CORELL, R.; HALL, J. M.; JAEGER, C. C.; LOWE, I.; MCCARTHY, J. J.; SCHELLENHUBER, H. J.; BOLIN, B.; DICKSON, N. M.; FAUCHEAUX, S.; GALLOPIN, G. C.; GRÜBLER, A.; HUNTLEY, B.; JÄGER, J.; JODHA, N. S.; KASPERSON, R. E.; MABOGUNJE, A.; MATSON, P.; MOONEY, H.; MOORE III, B.; O'RIORDAN, T. & SVEDIN, U. 2001. "Sustainability Science". *Science*, 292:641-642.
- LAMBIN, E. F. 1994. *Modelling Deforestation Processes: A Review*. Luxemburg, European Commission.
- _____. 1997. "Modelling and Monitoring Land-cover Change Processes in Tropical Regions". *Progress in Physical Geography*, 21(3):375-393.
- LAMBIN, E. F.; BAULIES, X.; BOCKSTAEL, N.; FISCHER, G.; KRUG, T.; LEEMANS, R.; MORAN, E. F.; RINDFUSS, R. R.; SATO, Y.; SKOLE, D.; TURNER II, B. L. & VOGEL, C. 1999. *Land-use and Land-cover Change Implementation Strategy*. Stockholm, International Geosphere-Biosphere Programme Secretariat (IGBP Report, 48; IHDP Report, 10).
- LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD JR., R. O.; GASCON, C.; DIDHAM, R. K.; SMITH, A. P.; LYNAM, A. J.; VIANA, V. M.; LOVEJOY, T. E.; SIEVING, K. E.; SITES JR., J. W.; ANDERSEN, M.; TOCHER, M. D.; KRAMER, E. A.; RESTREPO, C. & MORITZ, C. 1997. "Tropical Forest Fragmentation: Synthesis of a Diverse and Dynamic Discipline". In: LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD JR., R. O. (eds.). *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities*. Chicago, The University of Chicago Press, pp. 502-514.
- LAURANCE, W.F.; COCHRANE, M.A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P.M.; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S. & FERNANDES, T. 2001. "The Future of the Brazilian Amazon." *Science*, 291 (5503):438-439.
- LAVOREL, S.; GARDNER, R. H. & O'NEILL, R. V. 1993. "Analysis of Patterns in Hierarchically Structure Landscapes". *Oikos*, 67(3):521-528.
- LEGENDRE, P. 1993. "Spatial Autocorrelation: Trouble or New Paradigm?" *Ecology*, 74:1659-1673.
- LESER, H. & RODD, H. 1991. "Landscape Ecology: Fundamentals, Aims and Perspectives". In: ESSER, G. & OVERDIECK, D. (eds.). *Modern Ecology*. Amsterdam, Elsevier, pp. 831-844
- LEVIN, S. A. 1992. "The Problem of Pattern and Scale in Ecology". *Ecology*, 73:1943-1983.
- LIVERMAN, D.; MORAN, E. F.; RINDFUSS, R. & STERN, P. (Eds.). 1998. *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*. Washington, D.C., National Academy Press.
- LU, D.; BATISTELLA, M. & MORAN, E. 2005. "Satellite Estimation of Aboveground Biomass and Impacts of Forest Stand Structure." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(8):967-974.

- LU, D.; MORAN, E. F. & BATISTELLA, M. 2003. "Linear Mixture Model Applied to Amazonian Vegetation Classification". *Remote Sensing of Environment*, 87: 456-469.
- LUBCHENCO, L. 1998. "Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science". *Science*, 279:491-497.
- MANDELBROT, B. B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. New York, W. H. Freeman. 468p.
- MCCONNELL, W. J. & MORAN, E. F. (eds.). 2001. *Meeting in the Middle: The Challenge of Meso-Level Integration* [An International Workshop, October 17-20, 2000, Ispra, Italy]. Louvain-la-Neuve, Belgique/ Bloomington, England, LUCC International Project Office/LUCC Focus 1 Office (LUCC Report Series, 5).
- MCCRACKEN, S.; BRONDIZIO, E. S.; NELSON, D.; MORAN, E. F.; SIQUEIRA, A. D. & RODRIGUEZ-PEDRAZA, C. 1999. "Remote Sensing and GIS at Farm Property Level: Demography and Deforestation in the Brazilian Amazon". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65(11):1311-1320.
- MEENTEMEYER, V. & Box, E. O. 1987. "Scale Effects in Landscape Studies". In: Turner, M. G. (ed.). *Landscape Heterogeneity and Disturbance*. New York, Springer, pp.15-34.
- MILNE, B. T. 1988. "Measuring the Fractal Geometry of Landscapes". *Applied Mathematics and Computation*, 27:67-79.
- MORAN, E. F. & BRONDIZIO, E. S. 1998. "Land-use Change after Deforestation in Amazônia". In: LIVERMAN, D.; MORAN, E. F.; RINDFUSS, R. & STERN, P. (eds.). *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*. Washington, D.C., National Academy Press, pp. 94-120.
- MORAN, E. F. & KRUG, T. 2001. "Predicting Location and Magnitude of Land Use and Land Change". *IGBP Newsletter*, 45:4-8.
- MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E. S.; MAUSEL, P. & WU, Y. 1994. "Integrating Amazonian Vegetation, Land-Use, and Satellite Data". *BioScience*, 44(5):329-339.
- MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E. S.; TUCKER, J. M.; SILVA-FORSBERG, M. C.; MCCRACKEN, S. D. & FALESI, I. 2000. "Effects of Soil Fertility and Land-Use on Forest Succession in Amazônia". *Forest Ecology and Management*, 139:93-108.
- MORAN, E. F.; SKOLE, D. & TURNER II, B. L. 2004. "The Development of the International Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) Research Program and Its Links to Nasa's Land-Cover and Land-Use Change (LCLUC) Initiative". In: GUTMAN, G.; JANETOS, A. C.; JUSTICE, C. O.; MORAN, E. F.; MUSTARD, J. F.; RINDFUSS, R. R.; SKOLE, D.; TURNER II, B. L. & COCHRANE, M. A. (eds.). *Land Change Science: Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface*. New York, Springer. 461p. (Remote Sensing and Digital Image Processing Series, 6).
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1998. *Global Environmental Change: Research Pathways for the Next Decade*. Washington, D.C., National Research Council.
- _____. 2001. *Grand Challenges in Environmental Sciences*. Committee on Grand Challenges in Environmental Sciences, Oversight Commission for the Committee on Grand Challenges in Environmental Sciences. Washington, D.C., National Academy Press.
- NETTING, R. M. 1993. *Smallholders, Householders: Farm Families and the Ecology of Intensive, Sustainable Agriculture*. Stanford, Stanford University Press. 389 p.
- NORTON, B.G. & ULANOWICZ, R. E. 1992. "Scale and Biodiversity Policy: A Hierarchical Approach". *Ambio*, 1(3):244-249.
- OSTROM, E.; BURGER, J.; FIELD, C. B.; NORGAARD, R. B. & POLICANSKY, D. 1999. "Revisiting the Commons: Local Lessons, Global Challenges". *Science*, 284:278-82.

- PARKER, D.; BERGER, T.; MANSON, S. & MCCONNELL, W. J. 2002. *Agent-Based Models of Land-Use and Land-Cover Change*. Louvain-la-Neuve, Belgique, LUC International Project Office (LUCC Report Series, 6).
- PICKETT, S. T. A. & CADENASSO, M. L. 1995. "Landscape Ecology: Spatial Heterogeneity in Ecological Systems". *Science*, 269:331-334.
- PLOTNICK, R. E.; GARDNER, R. H. & O'NEILL, R. V. 1993. "Lacunarity Indices as Measures of Landscape Texture". *Landscape Ecology*, 8(3):201-211.
- PONTIUS, R. G. 2002. "Statistical Methods to Partition Effects of Quantity and Location During Comparison of Categorical Maps at Multiple Resolutions". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68: 1041-1049.
- RAFFY, M. 1994. "Change of Scale Theory: A Capital Challenge for Space Observation Of Earth". *Int. J. Remote Sensing*, 15(12):2353-2357.
- ROSSI, R. E.; MULLA, D. J.; JOURNEL, A. G. & FRANZ, E. H. 1992. "Geostatistical Tools for Modeling and Interpreting Ecological Spatial Dependence". *Ecological Monographs*, 62:277-314.
- SILBERNAGEL, J. 1997. "Scale Perception: From Cartography to Ecology". *Bulletin of the Ecological Society of America*, 78(2):166-169.
- SKLAR, F. H. & Costanza, R. 1991. "The Development of Dynamic Spatial Models for Landscape Ecology: A Review and Prognosis". In: TURNER, M. G. & GARDNER, R. H. (eds.). *Quantitative Methods in Landscape Ecology: The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity*. New York, Springer, pp. 239-288.
- SKOLE, D., & TUCKER, C. J. 1993. "Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988". *Science*, 260:1905-1910.
- SOARES FILHO, B.S.; NEPSTAD, D.; CURRAN, L.; VOLL, E.; CERQUEIRA, G.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; MC DONALD, A.; LEFEBVRE, P. & SCHLESINGER, P. 2006. "Modeling Conservation in the Amazon Basin". *Nature*, 440:520-523.
- STEFFEN, W.; SANDERSON, A.; TYSON, P.; JÄGER, J.; MATSON, P.; MOORE III, B.; OLDFIELD, F.; RICHARDSON, K.; SCHELLNHUBER, H. J.; TURNER II, B. L. & WASSON, R. 2003. *Global Change and the Earth System: A Planet under Pressure*. Berlin, Springer (IGBP Global Change Series).
- TUCKER, J. M.; BRONDIZIO, E. S. & MORAN, E. F. 1998. "Rates of Forest Regrowth in Eastern Amazônia: A Comparison of Altamira and Bragantina Regions, Pará State, Brazil". *Interciencia*, 23(2):64-73.
- TURNER II., B. L. 2002. "Toward Integrated Land-Change Science: Advances in 1.5 Decades of Sustained International Research on Land-use and Land-cover Change". In: STEFFEN, W., JÄGER, J., CARSON, D. & BRADSHAW, C. (eds.). *Challenges of a Changing Earth*. Heidelberg, Springer, pp. 21-26.
- TURNER II, B. L.; SKOLE, D.; SANDERSON, S.; FISCHER, G.; FRESCO, L. & LEEMANS, R. 1995a. *Land-use and Land-cover Change Science/Research Plan*. Stockholm, International Geosphere-Biosphere Programme Secretariat (IGBP Report, 35; IHDP Report, 7).
- TURNER, M. G. & GARDNER, R. H. (eds.). 1991. *Quantitative Methods in Landscape Ecology: The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity*. New York, Springer, 534 p.
- TURNER, M. G.; DALE, V. H. & GARDNER, R. H. 1989. "Predicting Across Scales: Theory Development and Testing". *Landscape Ecology*, 3(3/4):245-252.
- TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. & O'NEILL, R. V. 1995. "Ecological Dynamics at Broad Scales; Ecosystems and Landscapes". *BioScience*, 45(6):29-33 (Special Supplement).
- TURNER, M. G.; O'NEILL, R. V.; GARDNER, R. H. & MILNE, B. T. 1989a. "Effects of Changing Spatial Scale on the Analysis of Landscape Pattern". *Landscape Ecology*, 3(3/4):153-62.

- WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J. & DOKKEN, D. J. 2001. *Land use, land-use change and forestry*. Cambridge, Cambridge University Press (Special Report of the IPCC-Intergovernmental Panel of Climate Change).
- WIENS, J. A. 1989. "Spatial Scaling in Ecology". *Functional Ecology*, 3:385-97.
- WILLIAMS, M. 2003. *Deforesting the Earth: From Prehistory to Global Crisis*. Chicago, University of Chicago Press.
- WILSON, E. O. 1998. "Integrated Science and the Coming Century of the Environment". *Science*, 279:2048-2049.
- WITHERS, M. A. & MEENTEMEYER, V. 1999. "Concepts of Scale in Landscape Ecology". In: KLOPATEK, J. M. & GARDNER, R. H. (eds.). *Landscape Ecological Analysis: Issues and Applications*. New York, Springer, pp. 205-251.
- WOOD, C. & PORRO, R. (eds.) 2002. *Deforestation and Land Use in the Amazon*. Gainesville, University of Florida Press.