



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE CRÍTICA DO PAPEL DAS GEOTECNOLOGIAS COMO INSUMO PARA ESTUDOS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL.

Rodrigo de Campos Macedo

Monografia de Qualificação do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento
Remoto

INPE
São José dos Campos
Novembro de 2010

RESUMO

Esta análise revisou algumas definições acerca de geotecnologias e de valoração ambiental, evidenciando a crescente integração entre ciências econômicas e geociências. O aprofundamento nas questões que envolvem as características dos dados geográficos é imprescindível para a adequada aplicação de geotecnologias em processos de valoração. A modelagem dinâmica espacial possibilita análises apropriadas para mudanças de uso e cobertura da terra, principalmente devido à explicitação das variáveis espaciais. Sendo assim, há um grande potencial para a utilização e/ou desenvolvimento de ferramentas computacionais aptas para lidar com a complexidade envolvida na caracterização das funções ecossistêmicas e, conseqüentemente, na valoração de seus serviços ambientais.

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
APP	Área de Preservação Permanente
AVNIR-2	Advanced Visible and Near Infrared Radiometer Type 2
AWiFS	Advanced Wide Field Sensor
CBERS	China-Brasil Earth Resources Satellite
CCD	Charge-Coupled Device
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
HRC	High Resolution Camera
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRMSS	Infra Red Multi Spectral Scanner
LISS	Linear Imaging Self-Scanning Sensor
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSS	Multi Spectral Scanner
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PIB	Produto Interno Bruto
PRISM	Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping
RFL	Reserva Florestal Legal
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TM	Thematic Mapper
WFI	Wide Field Imager

SUMÁRIO

Pág.

INTRODUÇÃO	1
1. CONCEITOS E INTRODUÇÃO DA IMPORTÂNCIA DA VALORAÇÃO NA COMUNIDADE CIENTÍFICA DE SENSORIAMENTO REMOTO/GEOCIÊNCIAS.....	3
2. ASPECTOS CRÍTICOS DE IDENTIFICAÇÃO, LEVANTAMENTO E INTEGRAÇÃO DE DADOS: NÍVEL DE DETALHAMENTO E INCERTEZAS. 15	
3. MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PASSÍVEIS DE CONVERSÃO DE COBERTURA DA TERRA.....	26
CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

INTRODUÇÃO

A presente análise é crítica no sentido de apresentar características positivas e negativas do papel das geotecnologias como insumo nos estudos de valoração ambiental. Geotecnologia tem sido considerada como uma das três “mega-tecnologias” do século XXI, juntamente com biotecnologia e nanotecnologia (GEWIN, 2004). Os recentes desenvolvimentos na ciência da informação geográfica e sensoriamento remoto (SR) aprofundaram o entendimento de processos ecossistêmicos, principalmente através da disponibilização de dados espaciais e ferramentas para processá-los (RUNDELL et al., 2009).

Apesar de haver diferentes definições acerca de geotecnologia, esta pode ser entendida como um conjunto de produtos e processos relacionados à obtenção, manipulação e aplicação de dados geográficos. Geotecnologia envolve fotogrametria, SR, sistema de posicionamento (GNSS), geodésia, desenho assistido por computador, cartografia digital, sistema de informações geográficas (SIG), processamento digital de imagens, geoprocessamento, análise espacial, geoestatística e modelagem espacial. Porém, neste documento foram consideradas somente as fontes de dados obtidos através de SR e alguns aspectos pertinentes à integração, processamento e modelagem.

A principal motivação relacionada ao tema desta análise refere-se à crescente integração entre as geociências e as ciências sociais. Esta integração é bidirecional, ou seja, tanto os pesquisadores da área de geociências vêm incorporando dados e procedimentos oriundos das ciências sociais quanto o inverso. Isto é muito salutar, pois grande parte dos fenômenos só é suficientemente explicada e/ou prevista considerando-se os fatores culturais e biofísicos (bióticos e abióticos). Em geral, análises oriundas das geociências tendem a desconsiderar variáveis econômicas que influenciam grandemente nas decisões dos agentes envolvidos. Por outro lado, análises estritamente socioeconômicas tendem a desconsiderar fatores biofísicos relacionados ao

espaço. Ambas estão fadadas a falhar, principalmente no que tange à gestão territorial. A integração de variáveis econômicas e espaciais pode torná-las mais representativas da realidade, permitindo maior assertividade em suas aplicações.

O primeiro capítulo (Conceitos e introdução da importância da valoração na comunidade científica de sensoriamento remoto/geociências) conceitua valoração ambiental e aborda a interface geociências/ciências sociais no que tange às iniciativas de valoração.

O segundo capítulo (Aspectos críticos de identificação, levantamento e integração de dados: nível de detalhamento e incertezas) discute as características relacionadas às principais fontes de informação, incluindo as dificuldades encontradas na integração de dados e os efeitos de simplificação e de generalização na valoração.

O terceiro capítulo (Modelagem dinâmica espacial para identificação de áreas passíveis de conversão de cobertura da terra) é dedicado ao entendimento da lógica funcional da modelagem dinâmica espacial e seu potencial em estudos de mudança de uso/cobertura da terra. Por fim, foram apresentadas as considerações finais e algumas recomendações para futuros estudos.

1 CONCEITOS E INTRODUÇÃO DA IMPORTÂNCIA DA VALORAÇÃO NA COMUNIDADE CIENTÍFICA DE SENSORIAMENTO REMOTO/GEOCIÊNCIAS

Neste capítulo foi conceituado serviço ambiental ou ecossistêmico e sua respectiva valoração. Além disso, foram apresentados alguns exemplos de valoração com aplicação de geotecnologias, evidenciando a integração entre ciência social aplicada (economia) e geociência.

Como Brown (1981) assinalou, a economia global depende, fundamentalmente, de certos ecossistemas básicos, como os mares, as florestas e agricultura. Quando estes recursos são gastos ou perturbados, a economia sofre conseqüências; os bens e serviços de todos os tipos tornam-se mais escassos, custando mais para serem produzidos ou mantidos.

O entendimento da dinâmica dos ecossistemas requer um esforço de mapeamento das chamadas funções ecossistêmicas, as quais podem ser definidas como as constantes interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema e que podem se traduzir em serviços ecossistêmicos, na medida em que beneficiam as sociedades humanas (ROMEIRO e MAIA, 2010).

Neste sentido, *“Serviços ambientais ou ecossistêmicos são aqueles que a natureza presta, ao absorver, filtrar e promover a qualidade da água; ao reciclar nutrientes e assegurar a estrutura dos solos; manter a estabilidade do clima, amenizando desastres como enchentes, secas e tempestades; ao garantir e incrementar a produção agropecuária e industrial, seja ao prover a necessária biodiversidade e diversidade genética para melhoria das culturas ou para fármacos, cosméticos ou novos materiais, seja complementando processos que a tecnologia humana não domina nem substitui, como polinização, fotossíntese e decomposição de resíduos”* (JOHN, 2008; p. 459).

Costanza et al. (1997) classificaram os serviços ecossistêmicos em 17 categorias e a Terra em 16 ecossistemas primários (Quadro 1).

Serviços Ecossistêmicos		Ecossistemas Primários	
1.	Regulação de gases;	1.	Oceanos;
2.	Regulação climática;	2.	Estuários;
3.	Regulação de distúrbios;	3.	Algas e ervas marinhas;
4.	Regulação de água;	4.	Recifes de corais;
5.	Oferta de água;	5.	Plataformas continentais;
6.	Controle de erosão e de sedimentos;	6.	Florestas tropicais;
7.	Formação de solo;	7.	Florestas temperadas/boreais;
8.	Ciclagem de nutrientes;	8.	Pastagens;
9.	Tratamento de água;	9.	Manguezais;
10.	Polinização;	10.	Pântanos e planícies aluviais;
11.	Controle biológico;	11.	Lagos e rios;
12.	Refúgio (pragas, predadores e vetores);	12.	Desertos;
13.	Produção de comida;	13.	Tundra;
14.	Materiais crus e fibras;	14.	Geleiras;
15.	Recursos genéticos;	15.	Agroecossistemas;
16.	Recreação;	16.	Centros urbanos.
17.	Culturais.		

Quadro 1 – Classificação de serviços ecossistêmicos e de ecossistemas.

Fonte: Costanza et al. (1997)

De acordo com MEA (2003), os recursos naturais são classes de bens que não são produtíveis pelo ser humano. Podem ser agrupados em:

- Sustentação ou Suporte: manutenção de processos ecológicos e biológicos (ciclagem de nutrientes, formação de solos, produção primária etc.);
- Provisão: Água, alimentos, fibras, recursos genéticos, bioquímicos, florestais e pesqueiros;
- Regulação: Clima, poluição, conservação do solo, equilíbrio hidrológico, polinização, controle sanitário e epidemiológico;

- Culturais: Lazer, recreação, turismo, valores estéticos e educacionais, patrimônio histórico/cultural.

A valoração ambiental é a mensuração do valor de um recurso natural e/ou ambiental para corrigir valores distorcidos ou atribuir explicitamente um valor que não é reconhecido. Isto ocorre porque são bens não-excludentes, tais como os bens públicos (não-rivais) ou de propriedade coletiva (rivais). Para estas categorias de bens, os consumidores não revelam suas preferências mediante transações no mercado e tendem a agir como oportunistas¹ (DAILY, 1997). O próprio termo *recurso* pressupõe utilidade e, geralmente é classificado em produtos (matérias-primas, por exemplo) e serviços². Segundo Motta (1998), existem pelo menos três formas de valoração ambiental, de acordo com preceitos econômicos, políticos e éticos:

- Valor expresso em preferências individuais – estas preferências permitem avaliar os preços de bens e serviços ambientais através da criação de um mercado artificial;
- Valor das preferências públicas (normas sociais) – como os bens e serviços ambientais são propriedades comuns, a avaliação social pode representar os valores adequados com relação ao meio ambiente;
- Valor físico funcional do ecossistema – o sistema ecológico possui um valor intrínseco, independente das preferências humanas, que são baseados em leis físicas.

Em processos de valoração, normalmente são consideradas as classes de bens relacionadas à produção agropecuária e não são consideradas as seguintes classes de bens: recreação, paisagem, carbono, biodiversidade, conservação de solo e de água. Os valores mais altos de uma floresta, por exemplo, são os relacionados à madeira e retenção de carbono, mas

¹ Caronas ou *free-riders*.

² Para Randall (1972), recurso natural é produto e recurso ambiental é serviço. Para Georgescu-Roegen (1971), recurso é encarado como estoque (fundo) e serviço como fluxo.

especificamente no caso das florestas tropicais, a biodiversidade e a recreação atingem os valores mais altos (PEARCE e PEARCE, 2001; BANN, 2002).

A valoração dos serviços ambientais deve considerar a escala de produção sustentável, distribuição justa e alocação eficiente (COSTANZA e FOLKE, 1997) e é parte integrante do primeiro estágio do argumento econômico-ambiental para corrigir os vieses do sistema econômico: demonstrar que há valor econômico nos sistemas naturais e estimá-lo. O segundo estágio envolve o redesenho de instituições, inserindo este valor econômico no fluxo financeiro e nos processos de tomada de decisão (PEARCE e TURNER, 1990). Costanza et al. (1997) revelam que, considerando os serviços prestados por todos os biomas existentes, o valor anual médio estimado desses serviços é de US\$33 trilhões, praticamente o dobro do PIB de toda a economia mundial³. A princípio, estes serviços eram considerados custos ambientais e estavam associados às avaliações de impactos. Essa caracterização negativa - de custo - evoluiu para um conceito positivo - de prestação de serviço - e, geralmente, não remunerado adequadamente.

Há muitos exemplos de mecanismos de captura dos valores referentes aos serviços prestados pela natureza – taxas ambientais, protocolos verdes, multas etc. A valoração e as políticas de pagamento por serviços ambientais são estratégias de compatibilização entre crescimento econômico e manutenção dos benefícios provenientes da natureza, adotadas pelas principais agendas ambientais (YOUNG e FAUSTO, 1997; FEARNSIDE, 2004). Lee e Mahanty (2009) salientam que o próprio pagamento por serviço ambiental é uma atitude política.

O pagamento por serviços ecossistêmicos visa estimular práticas que mantenham ou aumentem a oferta e/ou a qualidade dos serviços ambientais (remuneração por área florestada, por ex.) e desestimular práticas que os

³ US\$18 trilhões, na época da publicação.

depreciem (desmatamento evitado, por ex.). Reconhece a figura do protetor-recebedor e propicia a adequação do modelo produtivo convencional para um sistema mais sustentável, que garanta ao mesmo tempo melhorias ambientais e geração de renda. Não se trata de indenização e nem de interpretação da conservação ambiental como ônus (ISA, 2008).

A título de exemplo:

- A Agência Nacional das Águas (ANA), através do Programa do Produtor de Água, realizou convênios e parcerias com diversos estados, municípios e entidades civis⁴, tais como o Programa de Melhoria da Qualidade e da Quantidade de Água em Bacias Rurais, com incentivo financeiro aos produtores rurais de Extrema (MG), Joanópolis (SP) e Nazaré Paulista (SP);
- O Estado de São Paulo implementou sua Política Estadual de Pagamentos por Serviços Ambientais, com os programas Protetor das Águas e Protetor do Verde;
- A Fundação O Boticário coordena o Projeto Oasis: Proteger Mananciais da Região Metropolitana de SP, que estabeleceu um sistema de pagamento por serviços ecossistêmicos como um mecanismo de conservação de terras privadas;
- O Instituto Oikos e Caixa Seguros promovem o Programa Carbono Seguro, adotando um sistema de pagamento proporcional à área reflorestada.

Todos os exemplos citados utilizam fotografias aéreas, imagens orbitais, GNSS e os manipulam em SIG, principalmente para análise de localização, levantamento básico de dados, avaliação ambiental e monitoramento ambiental (MMA, 2000; ISA, 2008; ANA, 2010).

⁴ The Nature Conservancy (TNC).

O Projeto de Lei 5487/2009 instituiu a Política Nacional dos Serviços Ambientais para disciplinar a atuação do Poder Público neste assunto. O Anteprojeto de Lei 271/2010 (Estado de SP) diferencia serviços ecossistêmicos de serviços ambientais. Serviços ecossistêmicos são os benefícios propiciados pelos ecossistemas, imprescindíveis para a manutenção de condições necessárias à vida. Serviços ambientais são as iniciativas que favorecem a conservação, manutenção, ampliação ou a recuperação de serviços ecossistêmicos. Trata-se de uma distinção conceitual específica para a operacionalização dos pagamentos e não está presente na maior parte das definições encontradas na literatura, como por exemplo, em Costanza et al. (1997), Costanza (1998), MEA (2005) e Andrade e Romeiro (2009).

Para que os valores dos serviços prestados pelo capital natural sejam internalizados de maneira apropriada pelo sistema econômico, é necessário criar mecanismos socioeconômicos, mas as abordagens convencionais até então utilizadas para a valoração dos serviços ecossistêmicos enfatizam ou o sistema econômico ou os ecossistemas, não se preocupando com as inter-relações entre os dois sistemas (WINKLER, 2006).

Faz-se necessário uma valoração dinâmico-integrada dos serviços ecossistêmicos, que amplie o escopo dos exercícios valorativos até então realizados. De acordo com Nogueira e Rodrigues (2007), a aplicação dos procedimentos de valoração ambiental depara-se com dificuldades decorrentes de concepções distintas. Profissionais de ambas as áreas de conhecimento podem se beneficiar mutuamente se entenderem mais detalhadamente as necessidades operacionais de cada área.

A integração entre ciências sociais e geociências ocorre principalmente de duas maneiras: i) adoção de geotecnologias como ferramenta adicional nas ciências sociais; ii) incorporação de dados e fundamentos socioeconômicos em

geociências, principalmente em análises e modelagens nos processos de mudança de cobertura e uso da terra. Parafraseando Geoghegan et al (1998), trata-se de “*pixelizar* o social” e “socializar o *pixel*”. A socialização do *pixel* favorece representações mais realistas, previsões mais assertivas, Avaliações de impactos ambientais (AIA’s) mais abrangentes etc. A consideração de variáveis econômicas é fundamental, principalmente porque grande parte das decisões é pautada em retorno financeiro.

De acordo com Maia (2002), a natureza interdependente das funções ecossistêmicas faz com que a análise de seus serviços requeira a compreensão das interconexões existentes entre os seus componentes. Além disso, o fato de as funções e serviços ecossistêmicos ocorrerem em várias escalas espaciais e temporais torna suas análises uma tarefa ainda mais complexa. Uma disciplina isoladamente não tem condições de avaliar tudo o que está em jogo num processo de valoração de um dado ecossistema.

Geoghegan et al (1998) aprofundam questões sobre a integração entre SR e ciência social na avaliação de mudança no uso e cobertura da terra e afirmam que reunir funções ecológicas e comportamento humano em uma mesma análise, amplia a capacidade de explicar quais fatores afetam o valor da terra e de recursos naturais com diferentes usos. De acordo com os autores, deve haver o esforço para integrar dados remotamente obtidos de uso e cobertura da terra, modelos econômicos e ecológicos, dados físicos e socioeconômicos.

Para a operacionalização dos programas de pagamento por serviços ambientais, é necessário valorar e gerar informações espacializadas – área, perímetro, forma, distância, proximidade etc. Neste sentido, a aplicação de geotecnologias nos processos de valoração contribui na viabilização de estratégias efetivas para compatibilizar crescimento econômico e manutenção dos serviços ambientais (TOLLEFSON, 2009).

A utilização de SIG para valoração ambiental é relativamente recente – desde 1996 – e incrementou as análises, evitando suposições irreais e simplificações excessivas, tanto criticadas nas análises meramente econômicas (BATEMAN et al., 2003).

Uma aplicação tradicional que integra SR e economia é a utilização de imagens noturnas para análises socioeconômicas. Em geral, o PIB é correlacionado com a quantidade de energia luminosa captada nas imagens noturnas. Esta energia emitida é mais espacialmente explícita que qualquer dado econômico relativo ao PIB e pode ser observada diretamente e atualizada anualmente (SUTTON e COSTANZA, 2002). A capacidade de gerar dados em uma grade contínua – em posição às unidades administrativas, tradicionalmente adotadas em pesquisas socioeconômicas – é uma grande vantagem apresentada pelos dados remotamente obtidos (DOLL et al., 2006). O desenvolvimento de métodos objetivos – tais como SR – para realizar estimativas é desejável, principalmente quando os métodos tradicionais são considerados insuficientes (GHOSH et al., 2009).

Young e Fausto (1998) estudaram a expansão agrícola e enfatizaram a importância da escala e da caracterização do objeto de estudo a ser valorado. Jin et al. (2008) vincularam índices de vegetação e aspectos econômicos, principalmente os relacionados à expansão de áreas agrícolas e concluíram que dados de SR integrados com SIG melhoram o entendimento da complexa relação espacial e socioeconômica.

Bastian et al. (2002) utilizaram dados geográficos para medir amenidades relacionadas à recreação e beleza cênica de propriedade rural. Um modelo de preços hedônicos específico, com medidas geográficas, foi utilizado para estimar o impacto das amenidades, comparando-se com a produção agrícola. Os resultados indicam que o preço da terra é influenciado não somente pela

produção agrícola, mas também por suas amenidades ambientais. As variáveis relacionadas às amenidades ambientais mais significativas incluem pesca esportiva, a distância da cidade e a beleza cênica. Concluem que a adoção de dados geográficos permitiu obter estimativas melhores de valores de amenidades ambientais do que somente a aplicação de técnicas hedônicas.

Wainger et al. (2010) aprimoraram o monitoramento de infestação de ervas daninhas, utilizando um modelo de otimização integrado a um SIG, valorando serviços agroecossistêmicos através de custo-efetividade e, formalizaram processos informais de tomada de decisão, tornando os resultados mais objetivos, robustos e práticos.

Para MUNIZ-MIRET et al. (1996), que avaliaram serviços ambientais em açazeiros, a distância é uma variável muito importante, justificando a incorporação de geotecnologias em aplicações de valoração de recursos e serviços ambientais de florestas. Stone (1998) utilizou SIG e um modelo dinâmico-espacial de extração madeireira e projetou diversos cenários de extração e estoque de recursos florestais sob diferentes regimes de preços e políticas, tais como áreas protegidas, estradas, etc. O autor enfatizou o potencial de utilizar SIG para pesquisa em gestão aplicada, pois permitiu integrar comportamento econômico com aspectos ambientais.

Rocha et al. (2000) propuseram metodologias para se estimar as distribuições de probabilidade do estoque de madeira comercial nas áreas de concessão. Para o estoque de madeira, programaram um modelo espacial que especifica o preço futuro em função de características geográficas da área (solo, vegetação, clima, distância do mar, altitude etc.) e de sua vizinhança. Os cartogramas que consideraram os modelos com tendência espacial foram mais exatos e precisos que os cartogramas que utilizaram modelos não-espaciais.

Mattos et al. (2007) estimaram o valor monetário das áreas de preservação permanente (APP's), utilizando o Método de Valoração Contingente, obtendo a disposição a pagar. Segundo os autores, a unidade de área foi importante para expressar o resultado em R\$/ha.ano, visando políticas de conservação e/ou recuperação. Ainda em APP's, Vilar (2009) afirmou que foi necessário usar informações geográficas – principalmente declividade e clima – para a estimativa de biomassa e de estoque de carbono da vegetação arbórea e da vegetação graminácea-herbácea.

Rodrigues et al.(2007) avaliaram a viabilidade de implantação de sistemas agroflorestais como estimuladores à restauração das áreas de RFL's, compatibilizando interesses econômicos e ambientais. Os sistemas agroflorestais podem representar uma alternativa de estímulo econômico à recuperação florestal, levando à incorporação do componente arbóreo e podem ser adotados na recuperação de áreas de RFL's. Além disso, podem gerar renda ao produtor graças ao consórcio agrícola. Sua maior ou menor viabilidade econômica irá depender de um manejo mais intensificado na área para a produção agrícola e de preços satisfatórios para venda no mercado.

Brereton et al. (2008) empregaram dados desagregados em níveis local e individual para demonstrar que as amenidades relacionadas ao clima e condições ambientais são críticas quando analisa-se o bem-estar (conceito subjetivo). Fatores relacionados à localização tiveram um impacto direto na satisfação. O poder de análise da função de utilidade aumenta significativamente quando as variáveis ambientais são incluídas. Os resultados mostraram que o clima possui uma influência significativa no bem-estar, juntamente com a velocidade do vento, temperaturas mínimas e máximas, acesso aos meios de transporte e proximidade à costa, aos aeroportos, às estradas federais e aterros sanitários. A idéia-chave é a de que a dimensão espacial influencia sensivelmente o bem-estar, pois as variáveis espaciais apresentaram os coeficientes mais significativos. A geografia e o ambiente têm

grande influência no bem-estar, tão importante quanto os fatores sócio-econômicos e demográficos mais críticos, como desemprego e status marital.

The Eliasch Review (2008) afirma que a valoração de serviços e recursos florestais (principalmente carbono), depende de SR e SIG. Para Bateman (2009), a distribuição espacial é essencial e tal como Pagiola et al. (2004) concluíram, as variáveis relacionadas ao “onde” são imprescindíveis nos processos de valoração.

Para os problemas relacionados aos impactos ambientais negativos provenientes principalmente de alteração no uso e cobertura da terra, tais como desflorestamento, expansão agropecuária, expansão urbana, aumento da malha viária etc., é nítida a importância da análise integrada dos aspectos socioeconômicos e biofísicos. A AIA que utiliza técnicas de valoração produz resultados com alto potencial de uso prático, pois converte os aspectos econômicos e ambientais em uma mesma base, facilitando a avaliação e sua posterior tomada de decisão.

De acordo com CBD (2001), os métodos de AIA efetivos deveriam incluir geotecnologias para se obter uma perspectiva espacial da organização e da disponibilidade destes recursos em relação a localização e organização de centros econômicos. As geotecnologias possibilitam a incorporação desta complexidade através da manipulação de diversas bases de dados de diferentes formatos, evitando excessivas simplificações e suposições irreais.

Para Melo e Motta (2006), o gerenciamento a partir de informações geográficas viabiliza uma adequada caracterização dos serviços ambientais. O tamanho, forma, grau de isolamento, tipo de vizinhança e histórico de perturbações apresentam relações com fenômenos biológicos e, conseqüentemente, afetam a dinâmica dos fragmentos florestais.

A existência de múltiplas dimensões de valor dos recursos naturais requer a utilização de análises multicriteriais no processo de valoração. No entanto, estas múltiplas dimensões do valor dos recursos naturais associadas à complexidade ecossistêmica resultam em um número elevado de variáveis e parâmetros ecológicos, econômicos e sociais que não podem ser manejados sem uma ferramenta que os integre em um modelo. De acordo com Costanza (2001), a integração das várias abordagens significa a emergência de um novo paradigma transdisciplinar de valoração, no qual se leva em consideração os objetivos de sustentabilidade ecológica, justiça distributiva e eficiência econômica. Embora uma metodologia completa de valoração econômico-ecológica esteja ainda em construção, os conhecimentos disponíveis permitem estabelecer um protocolo de procedimentos para os processos unidimensionais de valoração econômica (monetária) capaz de torná-lo menos reducionista e mais completo. Certamente valorar considerando a dimensão espacial amplia o poder de análise e potencializa a assertividade, precisão e exatidão das estimativas.

2 ASPECTOS CRÍTICOS DE IDENTIFICAÇÃO, LEVANTAMENTO E INTEGRAÇÃO DE DADOS. NÍVEL DE DETALHAMENTO E INCERTEZAS.

A aplicação de geotecnologias e disponibilização de dados e informações geográficas têm peso cada vez maior no atendimento às demandas presentes na sociedade, principalmente relacionadas à gestão territorial e ambiental, mitigação de riscos e impactos de fenômenos naturais.

A valorização da informação geográfica é decorrente da ampliação, em nível global, de uma mentalidade mais responsável com o ambiente e das demandas socioeconômicas por uma melhor compreensão da realidade territorial, na medida em que subsidia a implementação de políticas de gestão e desenvolvimento sustentável.

Nas últimas décadas, a evolução das geotecnologias iniciou uma verdadeira revolução no tratamento e gerenciamento da informação geográfica. De acordo com o Banco Mundial (2003), graças a esta evolução tecnológica, foi possível coletar e manipular grandes volumes de estatísticas detalhadas de uso da terra, além de valorar e modelar corpos naturais (como florestas, rios e lagos) com maior exatidão.

Em 1992, a Agenda 21, documento final da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, em sua Seção IV, Capítulo 40, intitulado “Informação para a Tomada de Decisão”, enfatizou a necessidade de se incrementar as atividades de aquisição, avaliação e análise de dados utilizando novas tecnologias tais como: SIG, SR e GNSS (MARUYAMA e AKIYAMA, 2003).

Porém, uma das conclusões da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992, foi o reconhecimento de que em muitas áreas a qualidade dos dados usados não é adequada e que, mesmo

onde existem dados, e ainda que estes sejam de qualidade satisfatória, a sua utilidade é reduzida por restrições de acesso ou por falta de padronização dos conjuntos de dados. Houve crescimento exponencial da produção de dados digitais e a migração de dados analógicos para o meio digital, mas a adequação ao ambiente computacional nem sempre ocorreu de forma ordenada.

A evolução da ciência da computação, da tecnologia da informação e suas aplicações na produção de dados têm barateado e popularizado o uso de geotecnologias, contudo a integração consistente de dados oriundos de diversas fontes (bases cartográficas de referência e bases temáticas) requer conhecimento de conceitos, normas e especificações inerentes aos dados e às aplicações a que se destinam.

Segundo CINDE (2010), a produção de bases cartográficas e temáticas sem a devida documentação associada inviabiliza a aferição de sua qualidade. O controle e a documentação da produção fornecem as garantias de geração consistente de dados, de preservação dos investimentos de produção e de disseminação eficiente.

O aumento da conscientização sobre o papel central dos acordos de compartilhamento de bases de dados, com vistas à integração, compatibilização e disponibilização daquelas consideradas de uso comum, foi um fator que impulsionou a construção das chamadas infra-estruturas de dados espaciais no mundo. Desde o início da década de 1990, a evolução destas infra-estruturas vem sendo considerada uma ação essencial de boa governança, tanto pelo Estado quanto pela sociedade, em diversos países (ONSRUD, 2001).

O termo infra-estrutura de dados espaciais é usado freqüentemente para denotar um conjunto básico de tecnologias, políticas e arranjos institucionais

que facilitam a disponibilidade e o acesso a dados espaciais (COLEMAN e MCLAUGHLIN, 1997; GSDI, 2000).

No Brasil, o Decreto n. 6.666, de 27/11/2008 (DOU de 28/11/2008, p. 57), instituiu a Infra-estrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), que tem o objetivo de ordenar a geração, armazenamento, acesso, compartilhamento, disseminação e uso dos dados geográficos de origem federal, estadual, distrital e municipal; promover a utilização, na produção dos dados geográficos, dos padrões e normas homologados pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR); e evitar a duplicidade de ações e o desperdício de recursos na obtenção de dados geográficos pelos órgãos da administração pública, por meio da divulgação dos metadados relativos a esses dados disponíveis nas entidades e nos órgãos públicos.

Conforme apresentado por Aronoff (1989) e Borges (1997), dados espaciais são quaisquer tipos de dados que descrevem fenômenos aos quais esteja associada alguma dimensão espacial. A medida observada de um fenômeno ou ocorrência sobre ou sob a superfície terrestre é o que se denomina dado geográfico. Dados geográficos ou geoespaciais ou georreferenciados são dados espaciais em que a dimensão espacial refere-se ao seu posicionamento na Terra e no seu espaço próximo, num determinado instante ou período de tempo (CINDE, 2010).

Informação é o dado com valor agregado. Para CINDE (2010), informações geográficas são, por exemplo, os dados cartográficos e topográficos que representam o território, as malhas que representam a infra-estrutura de transportes, a localização e descrições que representam as áreas protegidas, a descrição e representação dos imóveis urbanos e rurais, assim como os distintos usos do solo. Também são consideradas informações geográficas as de natureza estatística que descrevem aspectos demográficos, bem como a distribuição da população ou suas variáveis sócio-econômicas.

Segundo CINDE (2010), a complexidade da produção e disseminação, inerente à própria complexidade espacial, tem trazido dificuldades para instituições e pesquisadores interessados no reaproveitamento de dados já trabalhados em outros projetos, planos, produtos ou programas. Além da dimensão continental e complexidade do Brasil, alguns fatores dificultam a reutilização dos dados, tais como:

- Inexistência ou não observação de padrões definidos;
- Produção descentralizada com métodos distintos;
- Documentação incipiente sobre a metodologia e padrão utilizados na produção;
- Dificuldades burocráticas de acesso aos dados; e
- Desconhecimento dos acervos existentes.

Grande parte dos fatores listados acima é referente à ausência ou inconsistência de metadados. Os metadados são “dados sobre os dados”, isto é, descritores que fornecem informações sobre conjuntos de dados e devem informar a situação dos dados geográficos quanto à consistência lógica, acurácia posicional, temporal e temática. Eles visam descrever, localizar, facilitar a recuperação e gerência de um recurso de informação e são requisitos fundamentais para a integração (CINDE, 2010).

Além da ausência ou inconsistência de metadados, a forma como os aplicativos escrevem o dado ainda é individualizada. Os formatos-proprietários são dependentes do aplicativo gerador, como por exemplo, as bases de dados de extensão mdb⁵ e arquivos de projeção, ambos tipicamente reconhecidos apenas pelos aplicativos geradores. Além disso, ocorrem alterações de versão na mesma extensão de arquivo, limitando a interoperabilidade, tais como os formatos dgn v7 e dgn v8 e a enorme quantidade de versões de dxfs⁶. As

⁵ Microsoft Data Base

⁶ Drawing Exchange Format.

tabelas de atributos – dbf's⁷ por exemplo – costumam ser outra fonte de atenção, pois a caracterização das variáveis, o tamanho dos campos, etc. são elementos dependentes do aplicativo de criação e, infelizmente, sem padrões estabelecidos.

Outro fator relacionado às dificuldades para a plena integração de dados é o sistema de referência. O Brasil passou por mudanças recentes e, oficialmente, houve a adoção de um datum geocêntrico, o SIRGAS2000. Porém, o país ainda convive com, no mínimo, três data: Córrego Alegre, SAD69 e WGS84, além de uma diversidade de sistemas de projeção.

Em relação aos aplicativos disponíveis gratuitamente no Brasil, atualmente há o Spring (<http://www.dpi.inpe.br/spring>), o TerraView (<http://www.dpi.inpe.br/terraview>), a TerraLib (<http://www.terralib.org.br>), desenvolvidos e distribuídos pelo INPE. Há a plataforma de modelagem Dinamica EGO, de domínio público, desenvolvida e distribuída pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (www.csr.ufmg.br/dinamica), programa para conversão de coordenadas, desenvolvidos e distribuído pelo IBGE (ftp://geofp.ibge.gov.br/programa/Transformacao_de_Coordenadas).

Há uma vasta gama de disponibilização de dados, porém sua distribuição no território brasileiro ainda é desigual. Foram citadas e comentadas apenas algumas fontes de dados em nível nacional e/ou relevante para o Estado de São Paulo, classificadas de acordo com o CINDE (2010): i) dados de referência; ii) dados temáticos e; iii) dados de valor agregado.

Dados de referência são dados ou conjuntos de dados que proporcionam informações genéricas de uso não particularizado, elaborados como bases imprescindíveis para a produção de informação geográfica.

⁷ Data Base File.

Nelson e Robertson (2007), visando avaliar o potencial para análises econômicas dos determinantes de uso da terra, compararam os conjuntos de dados-referência GLC2000⁸ (resolução espacial de 1km, proveniente do Vegetation/SPOT4) e GeoCover LC (resolução espacial de 30m, proveniente do TM/LANDSAT5) e concluem que, com exceção da diferença quanto à resolução espacial, ambas as bases de dados apresentaram bons resultados em relação à exatidão e precisão.

Os dados de referência podem variar com uma série de fatores tais como: o desenvolvimento ambiental, científico e socioeconômico do país; o nível tecnológico da produção de suas agências governamentais; as suas características geográficas, territoriais e ambientais. Os dados de referência compreendem os seguintes conjuntos de dados:

- De controle geodésico;
- Das cartas topográficas e cadastrais;
- Imagens;
- Modelos numéricos;
- Nomes geográficos (toponímias);
- Limites político-administrativos;
- Elevação e batimetria; e
- Registro de propriedades e terras.

Estes conjuntos de dados são produzidos e distribuídos por diversas instituições. Foram citados apenas alguns exemplos relacionados às bases cartográficas, imagens e modelos numéricos, de instituições brasileiras que apresentem disponibilização gratuita⁹ e sistemática em nível nacional ou relevante para o Estado de SP. As características resumidas para as imagens e modelos numéricos estão expressas no Quadro 2.

⁸ Global Land Cover 2000.

⁹ As imagens referentes ao satélite ALOS são comercializadas pelo IBGE, mas é possível solicitá-las para pesquisas e aplicações de interesse público.

Satélite/Shuttle	Sensor	Resolução espacial (*)	Escala (*)
ALOS	PALSAR	10m	1:50.000
ALOS	AVNIR-2	10m	1:25.000
ALOS	PRISM	2,5m	1:5.000
CBERS 2	IRMSS	75m	1:250.000
CBERS 2 e 2B	WFI	260m	1:500.000
CBERS 2 e 2B	CCD	20m	1:50.000
CBERS 2B	HRC	5m	1:25.000
LANDSAT 1, 2 e 3	MSS	80m	1:250.000
LANDSAT 5	TM	30m	1:50.000
LANDSAT 7	ETM+	15m	1:50.000
RESOURCESAT-1	AWIFS	56m	1:100.000
RESOURCESAT-1	LISS 3	25m	1:50.000
RESOURCESAT-1	LISS 4	6m	1:25.000
TERRA	MODIS	250m	1:500.000
AQUA	MODIS	250m	1:500.000
ENDEAVOUR (+)	SRTM	90m	1:250.000
ENDEAVOUR (#)	SRTM	30m	1:100.000
(*) Foi citada a melhor resolução espacial e a maior escala de trabalho recomendada			
(+) Modelo numérico de elevação disponibilizado pela Embrapa			
(#) Modelo numérico de elevação disponibilizado pelo INPE			

Quadro 2 – Resumo das características presentes nas imagens e modelos numéricos disponibilizados sistematicamente.

- O IBGE disponibiliza uma série de cartas gerais, contínuas e articuladas, elaboradas seletiva e progressivamente, em consonância com as prioridades conjunturais, nas escalas-padrão de 1:1.000.000 e 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000, sendo que as duas menores estão disponíveis em nível nacional. Em relação às imagens, o IBGE comercializa imagens dos sensores PALSAR, AVNIR-2 e PRISM, embarcados no satélite ALOS;
- O INPE distribui gratuitamente imagens dos sensores MSS e TM, embarcados nos satélites da série Landsat (1, 2, 3 e 5); imagens dos

sensores WFI, IRMSS, CCD e HRC, embarcados nos satélites da série CBERS (2 e 2B), imagens dos sensores LISS3 e AWIFS, embarcados no satélite RESOURCESAT-1 (ou IRS-P6) e; produtos derivados dos sensores MODIS embarcados nos satélites Terra e Aqua;

- Há os projetos “Brasil Visto do Espaço” e “Brasil em Relevo”, coordenados pela Embrapa Monitoramento por Satélite. Ambos permitem que sejam visualizados dados pela *Internet*, por região, por Estado, por município ou nas articulações 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000, para todo o território nacional. O “Brasil Visto do Espaço” contém composições coloridas de imagens dos sensores TM e ETM+ (Landsat 5 e 7, respectivamente) de 2000/2001. O “Brasil em Relevo” contém modelos de elevação com resolução espacial de 3 arco-segundos (~90m), derivados dos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Além da visualização, é possível capturar os arquivos referentes aos modelos numéricos, na articulação 1:250.000 (MIRANDA et al., 2005).

Os dados temáticos são os conjuntos de dados e informações sobre um determinado fenômeno ou temática (clima, educação, indústria, vegetação, etc.). Incluem valores qualitativos e quantitativos que se referem espacialmente aos dados de referência, e normalmente estão ligados aos objetivos centrais da gestão dos seus respectivos órgãos produtores. Os dados temáticos são gerados por diferentes atores setoriais, regionais, estaduais, municipais ou de outro âmbito.

- O IBGE disponibiliza dados referentes ao mapeamento dos temas de geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso da terra, nas escalas 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000.

Além dos dados de referência e dos dados temáticos, há os dados de valor agregado. Trata-se de dados adicionados por usuários ou produtores (públicos ou privados) aos dados de referência e temáticos, por determinado interesse e utilização específica, e que podem pertencer aos âmbitos setoriais, regionais,

estaduais, municipais, urbanos e outros. Os dados de valor agregado podem ter uma ampla diversidade de detalhamento temático e de cobertura geográfica. Este grupo de dados é derivado dos dois primeiros, sendo adicionados por usuários ou produtores (públicos ou privados) aos dados de referência, por determinado interesse e utilização específica, e podem ter uma ampla diversidade de detalhamento temático e de cobertura geográfica.

- Um exemplo de dado de valor agregado é a base disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (SINIMA), com três eixos estruturantes: o desenvolvimento de ferramentas de acesso à informação baseadas em programas computacionais livres; a sistematização de estatísticas e elaboração de indicadores ambientais; a integração e interoperabilidade de sistemas de informação de acordo com uma arquitetura orientada a serviços. O sistema disponibiliza informações ambientais sobre todo o território brasileiro em arquivos georreferenciados (SILVA, 2007);
- Outro exemplo de dado de valor agregado extremamente útil para estudos de valoração, é o compêndio de indicadores de sustentabilidade, do IBGE (IBGE, 2010);
- O projeto CANASAT fornece informações sobre a distribuição espacial da área cultivada com cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil utilizando imagens TM/LANDSAT e CCD/CBERS. O monitoramento do cultivo da cana-de-açúcar vem sendo feito através do Canasat desde 2003 no Estado de São Paulo e desde 2005, para os demais estados produtores de cana da região centro-sul. O projeto Canasat identifica e mapeia a área cultivada com cana-de-açúcar, gerando anualmente, mapas temáticos com a distribuição espacial da cana (RUDORFF et al., 2010);
- O projeto “TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométrico do Brasil”, coordenado pelo INPE, oferece livre acesso a variáveis geomorfométricas locais derivadas de dados SRTM para todo o território nacional, na articulação 1:250.000 - modelo digital de elevação, relevo sombreado,

classes de declive, orientação de vertentes, curvatura vertical, curvatura horizontal, forma de terreno, talvegues, divisores de água e microbacias. Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) por krigagem (VALERIANO, 2008);

- A Fundação SOS Mata Atlântica, em parceria com o INPE, produziu o Atlas dos Remanescentes Florestais e Ecossistemas Associados da Mata Atlântica, com publicações de 5 em 5 anos desde 1990. Trata-se do mapeamento e monitoramento da Mata Atlântica e seus ecossistemas associados nos Estados abrangidos pelo bioma. O período 1985-1990 foi publicado escala 1:1.000.000; o período 1990-1995 foi publicado em escala 1:250.000, com identificação de fragmentos maiores que 25ha; o período 1995-2000 foi publicado em escala 1:50.000, com identificação de fragmentos maiores que dez hectares e; o período 2000-2005 foi publicado em escala 1:25.000, com identificação de fragmentos maiores que três hectares (SOS MATA ATLANTICA, 2009);
- O Instituto Florestal de São Paulo também realizou um levantamento dos remanescentes florestais no Estado – o Inventário Florestal do Estado de São Paulo. Diferentemente do exemplo anterior, este inventário incorpora todas as fisionomias florestais, porém somente do Estado de São Paulo. As primeiras publicações (1993 e 2000) foram realizadas em escala 1:50.000, utilizando imagens provenientes dos sensores TM/Landsat e CCD/CBERS. A mais recente utiliza a escala 1:25.000, utilizando imagens AVNIR/ALOS (KRONKA, 2005).

Para comparar estes conjuntos de informações citados, um aspecto relevante a ser considerado é a base cartográfica utilizada. Em decorrência da ausência ou desatualização de bases cartográficas compatíveis com a escala de trabalho, é comum que cada instituição edite e produza sua própria base, dificultando a integração.

Boyd e Foody (2010) revisaram as pesquisas mais recentes que envolveram detecção de mudanças de uso e cobertura da terra, com SR e SIG. Os autores salientam que os maiores pontos de atenção incluem tópicos como as características da aquisição de dado, precisão posicional e a capacidade efetiva de detecção do fenômeno observado. A resolução espacial pode efetivamente limitar o detalhamento do estudo, com os alvos de interesse menores que a unidade mínima a ser mapeada. De acordo com estes autores, a resolução espacial inadequada com os objetivos de estudo é uma das maiores fontes de erro e incerteza.

A qualidade dos resultados obtidos depende de fatores como acurácia da informação de entrada e a apropriação da estrutura de dados utilizada para armazenar representações digitais do fenômeno estudado. A habilidade para integrar bases de dados aumenta a capacidade de entendimento e predição das variáveis. Igualmente importantes são as saídas esperadas (produtos finais), permitindo ao tomador de decisão compreender o impacto das alternativas possíveis (BATEMAN et al., 2003).

A correta definição do nível de detalhamento (complexidade) e de generalizações (simplificação) dependerá do escopo e do objeto de valoração. Também devem ser consideradas questões relacionadas aos recursos (tempo e recursos financeiros) disponíveis ao estudo.

3 MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PASSÍVEIS DE CONVERSÃO DE COBERTURA DA TERRA.

A detecção de mudanças de uso e cobertura da terra é extremamente relevante na gestão ambiental, nos processos de zoneamento e de AIA. Simular estas mudanças é um desafio devido à incapacidade para prever ações que ainda ocorrerão. Porém, através de modelagem dinâmica espacial é possível gerar cenários futuros, com critério e rigor metodológico. Desta forma, os cenários gerados apóiam processos de tomadas de decisão

Um modelo pode ser descrito como uma representação proposital de um sistema, o qual consiste em elementos estruturais e suas relações internas, além de inter-relações destes com os ambientes subjacentes. As especificações dos elementos estruturais e dos relacionamentos internos e externos determinam em que medida um modelo pode ser considerado integrado e interdisciplinar (PEARCE e TURNER, 1990).

Os três atributos de um modelo que permitem avaliar a eficiência da ferramenta da modelagem econômico-ecológica são o realismo (simulação de um sistema de uma maneira qualitativamente realística), a precisão (simulação de um sistema de uma maneira quantitativamente precisa) e a generalidade (representação de um amplo intervalo de comportamentos sistêmicos com o mesmo modelo). Nenhum modelo poderá maximizar simultaneamente estes três atributos e a escolha de qual deles é mais importante dependerá dos propósitos fundamentais para o qual o modelo está sendo construído (ROMEIRO e MAIA, 2010).

A modelagem espacialmente explícita que gera o desenvolvimento de conceitos e métodos analíticos efetivos para considerar mudanças no tempo e no espaço. O modelo deve começar com um entendimento teórico

comportamento humano em relação a diferentes tipos de usos da terra e a distribuição destas terras no território (GEOGHEGAN e BOCKSTAEEL, 1997). Turner et al. (1995), já demonstraram a importância dos modelos espacialmente explícitos para análises econômico-ambientais.

Modelos que utilizam autômatos celulares como base conceitual podem auxiliar na geração de cenários futuros, que por sua vez, propiciam insumos para tomadas de decisões que envolvem o uso de recursos. Soares-Filho et al. (2001) mencionam que o uso de cenários hipotéticos gerados por modelagem é uma importante ferramenta para o estudo da dinâmica de uso e cobertura da terra, pois permitem o entendimento das forças de tal dinâmica.

A Dinâmica EGO (Environment for Geoprocessing Objects) opera a partir da vizinhança de Moore (janela 3x3) e apresenta a vantagem de utilizar algoritmos estocásticos de alocação de cobertura da terra. (SOARES-FILHO et al., 2002). De maneira geral, os procedimentos podem ser resumidos nas seguintes fases:

1. A partir de mapas de cobertura e uso da terra, geração das matrizes de transição global;
2. Seleção das variáveis explicativas;
3. Determinação dos intervalos dos pesos de evidência;
4. Determinação dos coeficientes dos pesos de evidência;
5. Correlação dos pesos de evidência e análise das variáveis;
6. Definição dos parâmetros *Patcher* e *Expander*;
7. Calibração e avaliação do modelo;
8. Geração de cenários.

Com os mapas de uso e cobertura da terra, gera-se um mapa de mudanças e uma matriz de tabulação cruzada, visando auxiliar nas análises preliminares das mudanças ocorridas no intervalo de tempo considerado. A determinação

da tabulação cruzada e das matrizes de transição é imprescindível para o diagnóstico e análise do problema abordado.

O cálculo das probabilidades globais de transição refere-se ao total de mudanças para cada tipo de transição da cobertura da terra em um dado período de simulação sem levar em consideração as particularidades espaciais locais, que são aquelas pertencentes a cada célula da área de estudo em termos de características do sítio físico ou de infra-estrutura.

Ximenes et al. (2008) salientam que a escolha adequada das variáveis explicativas é determinante para o sucesso do uso de modelos, pois através de suas relações com a variável dependente são definidas as células com maior ou menor probabilidade de transição de cobertura da terra.

Na determinação dos intervalos dos pesos de evidência, calculam-se os intervalos para categorizar variáveis contínuas, tais como distâncias da própria classe. Este resultado é utilizado no cálculo dos coeficientes de peso de evidência, que por sua vez, são utilizados para derivar os mapas de probabilidade de transição.

O método de peso de evidência possibilita analisar quais variáveis são as mais importantes em cada transição. Tal fato tem papel fundamental no entendimento do processo de mudança de uso e cobertura (GONÇALVES et al., 2007).

Como a determinação dos pesos das variáveis explicativas pressupõe a independência de eventos (Teorema de Bayes), há a necessidade de verificar a existência de tal pressuposto. Isto pode ser realizado através dos testes de análises de significância e de análise de entropia, considerando-se os seguintes índices: Crammer (V) e o Joint Information Uncertainty (JIU). Estes

índices operam com valores reais e percentuais, respectivamente, e avaliam a dependência espacial das variáveis utilizadas. Conforme Bonham-Carter (1994), valores abaixo de 0,5 sugerem uma dependência espacial entre as variáveis consideradas.

A última etapa para a geração dos cenários simulados é a definição dos parâmetros de *Patcher* e *Expander*. Esse dois parâmetros referem-se a dois algoritmos de transição, responsáveis pela alocação de mudanças de cobertura da terra. A função *Expander* responde pela expansão de manchas previamente existentes de certa classe de cobertura da terra. A função *Patcher*, por sua vez, destina-se a gerar novas manchas, através de um mecanismo de constituição de sementes (SOARES-FILHO et al., 2002).

Além da proporção entre *Patcher* e *Expander*, são necessários os seguintes parâmetros: média e variância da área de mudança (calculadas a partir da vetorização do mapa de mudança) e isometria.

Há diversos métodos para calibrar um modelo. Hagen (2003) sugere um método baseado no conceito de *fuzziness of location*¹⁰, no qual a representação de uma célula é influenciada por ela mesma, e, em menor magnitude, pelas células na sua vizinhança. Trata-se de um teste de comparação de similaridade *fuzzy* entre o mapa simulado e o mapa-referência. Turner et al. (1998) detalham diversos métodos de calibração e avaliação de modelos. Após o modelo ser devidamente calibrado, diversos cenários podem ser gerados, de acordo com o escopo da modelagem.

Nepstad et al. (2009) calcularam o custo marginal e o custo de oportunidade, da redução das taxas de desflorestamento, considerando o mercado de

¹⁰ Dubiedade de localização.

créditos de carbono. Teixeira et al. (2009) investigaram mudanças ocorridas em locais de Mata Atlântica para simular paisagens futuras, avaliando os efeitos de possíveis estratégias conservacionistas. Maeda et al. (2010) simularam a expansão agropecuária na região do Xingu para gerar os cenários futuros e analisar os processos de mudança de uso e cobertura da terra. As três referências acima utilizaram o Dinamica EGO.

Maxwell e Costanza (1997) descrevem os principais elementos que uma linguagem de programação deve ter para permitir a construção de modelos espacialmente explícitos. Há várias linguagens de programação desenvolvidas especialmente para facilitar a elaboração de modelos não-lineares, de sistemas dinâmicos, porém umas das mais populares é a STELLA. Muitos pesquisadores têm utilizado esta linguagem para a realização de modelagem dinâmica espacial (COSTANZA et al., 1998; COSTANZA e GOTTLIEB, 1998; EDITORIAL, 2001).

Outra linguagem que tem sido utilizada é a SIMILE (System Dynamics and object-based modelling and simulation software)¹¹. Trata-se de um ambiente visual de modelagem desenvolvido para facilitar a elaboração de modelos dinâmicos espaciais (MUETZELFELDT e MASSHEDER, 2003). É nesta plataforma que está sendo construído o MIMES (Multi-scale Integrated Models of Ecosystem Services)¹².

O MIMES é uma plataforma, cuja intenção é integrar os modelos de serviços ecossistêmicos. Envolve diversos sub-modelos que auxiliam no entendimento da contribuição dos serviços ecossistêmicos, através da quantificação dos efeitos de das mudanças de uso e cobertura da terra, em níveis global, regional e local.

¹¹ <http://www.simulistics.com/>

¹² <http://www.uvm.edu/giee/mimes/>

Outro importante conjunto de ferramentas para modelagem é o InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)¹³, que permite mapear e valorar. Há um grupo de profissionais chamado Natural Capital Project¹⁴ que atua ativamente para desenvolver e aplicar estas modelagens com valoração (TALLIS e POLASKY, 2009)

Diversos grupos de pesquisa que abordam questões relacionadas às mudanças de uso e cobertura da terra, utilizam algum tipo de modelagem dinâmica espacial. Aspectos em comum entre eles são o dinamismo do modelo e a necessidade de integrar variáveis socioeconômicas e espacialmente explícitas (LOW et al., 1999; NALLE et al., 2004; ANDERSEN e GRANGER, 2007; ROBINSON et al., 2008; SMITH et al., 2009; SWETNAM et al., 2010).

¹³ <http://invest.ecoinformatics.org>

¹⁴ <http://www.naturalcapitalproject.org>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A valoração ambiental é parte integrante nas análises de mudança de uso e cobertura da terra, pois os serviços ambientais prestados pelos ecossistemas variam de acordo com a própria mudança do território. Neste sentido, as geotecnologias já são partes integrantes dos processos de valoração ambiental. Isto requer certo esforço na formação de equipes de trabalho multidisciplinares ou mesmo uma formação voltada para a valoração ambiental em um sentido amplo, que incorpore as geotecnologias em seu arcabouço metodológico.

As características relacionadas à aquisição e processamento de dados geográficos influenciam enormemente nos resultados da valoração. A precisão geométrica, a resolução espacial, a resolução temporal, a qualidade radiométrica, a quantidade, largura e posição das bandas espectrais determinam as características de aquisição do dado. A correção geométrica, a correção radiométrica, o georreferenciamento, a mosaicagem, a interpretação, a classificação, o modo como se extrai feições e a modelagem determinam o processamento do dado.

O conhecimento em relação às geotecnologias é imprescindível, tão importante quanto o conhecimento dos métodos de valoração e do “objeto” a ser valorado. Sem esta profundidade multidisciplinar, há grandes chances de existirem resultados errôneos. A definição de classes de interesse e a extração de informações como área, volume, distância, largura, comprimento, etc. requerem uma adequada compatibilização entre escala de trabalho e as características dos dados.

A modelagem dinâmica espacial – justamente por explicitar as variáveis espaciais e temporais, além de propiciar o acoplamento de fenômenos biofísicos e socioeconômicos – é o melhor tipo de modelagem para analisar mudanças de uso e cobertura da terra e valorar serviços e bens ambientais.

Nesta análise crítica das geotecnologias como insumo em estudos de valoração ambiental, ficou destacado que as geotecnologias são essenciais nos processos de valoração ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS). **Programa de Melhoria da Qualidade e da Quantidade de Água em Bacias Rurais, através do Incentivo Financeiro aos Produtores**: O Programa Produtor de Água GESP, ANA, TNC e Prefeitura de Extrema (MG) Joanópolis e Nazaré Paulista (PCJ). Disponível em: <http://www.ana.gov.br/produagua/>. Acesso em: 16/11/2010.
- ANDERSEN, L. E.; GRANGER, C. W. J. Modeling Amazon deforestation for policy purposes: reconciling conservation priorities and human development. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 8, p. 201-210. 2007.
- ANDRADE, D. C. e ROMEIRO, A. R. **Capital Natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico**: rumo a uma “Economia dos Ecossistemas”?. Texto p/ Discussão n. 159, Instituto de Economia da UNICAMP, 2009.
- ARONOFF, I. **Geographical information system**: management perspective. Ottawa: WDL Publications, 1989.
- BANN, C. **The Economic Value of Tropical Forests**: Understanding and Capturing the Multiple values of Tropical Forests. Tropenbos International, Wageningen, the Netherlands: 2002, 4p.
- BASTIAN, C. T.; McLEOD, D. M.; GERMINO, M. J.; REINERS, W. A.; BLASKO, B. J. Environmental amenities and agricultural land values: a hedonic model using geographic information systems data. **Ecological Economics**, v. 40, p. 337–349, 2002.
- BATEMAN, I. J. Bringing the real world into economic analyses of land use value: Incorporating spatial complexity. **Land Use Policy**, v. 26S, p. S30–S42, 2009.
- BATEMAN, I. J.; LOVETT, A. A.; BRAINARD, J. S. **Applied Environmental Economics**: A GIS Approach to Cost-Benefit Analysis, 2003. Cambridge Press. London. 336p.
- BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists**: Modelling with GIS. Ontario: Pergamon, 1994, 305p.
- BORGES, K. A. B. **Uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas**. Dissertação de mestrado. Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997.

- BOYD, D. S.; FOODY, G. M. An overview of recent remote sensing and GIS based research in ecological informatics. Aceito, **Ecological Informatics**. 2010.
- BRERETON, F.; CLINCH, J. P.; FERREIRA, S. Happiness, geography and the environment. **Ecological Economics**, v. 65, p.386-396, 2008.
- BROWN, L. R. **Building a Sustainable Society**. New York: Norton, 1981. 433p.
- CBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity). **The value of forest ecosystems**. Technical Series, n. 4. Montreal, Quebec, Canada, 2001. 40p.
- CINDE (COMITÊ DE PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS). **Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. Rio de Janeiro, 2010, 205p.
- COLEMAN, D. J.; MCLAUGHLIN, J. D. **Defining global geospatial data infrastructure (GGDI): components, stakeholders and interfaces**. Canadá: Department of Geodesy and Geomatics Engineering. University of New Brunswick, 1997.
- COSTANZA, R. Introduction. The value of ecosystem services. Special section: Forum on valuation of ecosystem services. **Ecological Economics**, v. 25, p. 1-2, 1998.
- COSTANZA, R. Visions, values, valuation, and the need for an ecological economics. **BioScience**, v. 51, p. 459-468, 2001.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997.
- COSTANZA, R.; DUPLISEA, D.; KAUTSKY, U. Ecological Modelling on modelling ecological and economic systems with STELLA. **Ecological Modelling**, v. 110, p. 1-4. 1998.
- COSTANZA, R.; GOTTLIEB, S. Modelling ecological and economic systems with STELLA: Part II. **Ecological Modelling**, v. 112, p. 81-84. 1998.
- COSTANZA R.; FOLKE, C. Valuing ecosystem services with efficiency, fairness and sustainability as goals. In: DAILY, G. (ed). **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Island Press, Washington, DC, pp 49-68, 1997.
- Daily, G.C. (Ed.). **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Island Press, Washington, DC, USA, 1997.
- DOLL, C. N. H.; MULLER, J.; MORLEY, J. G. Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. **Ecological Economics**, v. 57, p. 75-92, 2006.

EDITORIAL. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III Ecological Modelling 143 (2001) 1–7

FEARNSIDE, P. M. Serviços ambientais como base para o uso sustentável de florestas tropicais na Amazônia Brasileira. p. 9-23. In: **IV Workshop Advances in Energy Studies: Ecology - Energy in Latin America**, realizado na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), 15-19 de junho de 2004.

GEOGHEGAN, J.; PRITCHARD Jr., L.; OGNEVA-HIMMELBERGER, Y.; CHOWDHURY, R. R.; SANDERSON, S.; TURNER II, B. L. "Socializing the Pixel" and "Pixelizing the Social" in Land-Use and Land-Cover Change. p.51-69. In: LIVERMAN, D.; MORAN, E. F.; RINDFUSS, R. R.; STERN, P. C. (Ed.). **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. National Academy Press, Washington, D.C, 1998. 267p.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1971.

GEWIN, V. Mapping opportunities. **Nature**, v 427, p. 376–377, 2004.

GHOSH, T.; ANDERSON, S.; POWELL, R. L.; SUTTON, P. C.; ELVIDGE, C. D. Estimation of Mexico's Informal Economy and Remittances Using Nighttime Imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 1, p. 418-444, 2009.

GONÇALVES, D. A.; SOUSA JÚNIOR, W. C.; ALMEIDA, C. M. Modelagem de alteração de uso e cobertura da terra em uma porção do município de Minas-GO utilizando o método de pesos de evidência. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2007, Natal. XII SBGFA. **Anais...** Natal: UFRN, 2007. v. 1. 13p.

GSDI. **Developing spatial data infrastructures: the sdi cookbook**. [s. l.], 2000. Disponível em: <http://www.gsdi.org/gsdicookbookindex.asp>. Acesso em 17/11/2010.

HAGEN, A. Multi-method assessment of map similarity. In: 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, 2003, Palma, Spain. **Anais...** Palma: Universitat de les Illes Balears, 2003. p. 171–182.

IBGE (FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Informação Geográfica, n. 7. 443p. Rio de Janeiro, 2010.

ISA (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL). **Serviços Ambientais: conhecer, valorizar e cuidar**. Subsídios para a proteção dos mananciais de São Paulo, 2008. 119p.

JIN, X. M.; WAN, L.; ZHANG, Y.-K.; SCHAEPMAN, M. Impact of economic growth on vegetation health in China based on GIMMS NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 13, p. 3715–3726, 2008.

JOHN, L. Serviços Ambientais. In: INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). Almanaque Brasil Socioambiental. Uma nova perspectiva para entender a situação do Brasil e a nossa contribuição para a crise planetária. São Paulo, 2008. 553p.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C. K.; KANASHIRO, M. M.; YWANE, M. S. S.; PAVÃO, M.; DURIGAN, G.; LIMA, L. M. P. R.; GUILLAUMON, J. R.; BAITELLO, J. B.; BORGO, S. C.; MANETTI, L. A.; BARRADAS, A. M. F.; FUKUDA, J. C.; SHIDA, C. N.; MONTEIRO, C. H. B.; PONTINHA, A. A. S.; ANDRADE, G. G.; BARBOSA, O.; SOARES A. P.; COUTO, H. T. Z. do; JOLY, C. A. **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: Imprensa Oficial, 2005. 200p.

LEE, E.; MAHANTY, S. **Payments for Environmental Services and Poverty Reduction: Risks and Opportunities**. The center for People and Forests. Issues Paper. Bangkok 10903, Thailand, 2009. 40p.

LOW, B.; COSTANZA, R.; OSTROM, E.; WILSON, J.; SIMON, C. P. Human–ecosystem interactions: a dynamic integrated model. **Ecological Economics**, v. 31, p. 227–242, 1999.

MAEDA, E. E.; ALMEIDA, C. M.; XIMENES, A. C.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; PELLIKKA, P. Dynamic modeling of forest conversion: Simulation of past and future scenarios of rural activities expansion in the fringes of the Xingu National Park, Brazilian Amazon. Aceito: **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 2010.

MAIA, A. G. **Valoração de recursos ambientais**. 199p. Dissertação de mestrado - Instituto de Economia da. Campinas/SP. 2002.

MARUYAMA, H.; AKIYAMA, M. Responsibility of NMO's for sustainable development. In: CAMBRIDGE CONFERENCE, 2003, Southampton. **Anais...** Southampton, 2003.

MATTOS, A. D. M.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R.; SOUZA, A. L.; SILVA, M. L.; LIMA, J. E.. Valoração ambiental de áreas de preservação permanente da Microbacia do Ribeirão São Bartolomeu no município de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.31, n.2, p.347-353, 2007.

MAXWELL, T.; COSTANZA, R. A language for modular spatio-temporal simulation **Ecological Modelling**, v. 103, p. 105-113, 1997.

MEA (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT). **Ecosystem and human well-being**: a framework for assessment. Washington, DC: Island Press, 2003.

MEA (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT). **Ecosystem and human well-being**: synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>. Acesso em: 16/11/2010.

- MELO, A. L.; MOTTA, P. C. S. Biodiversidade, serviços ambientais e reservas particulares do patrimônio natural (RPPN) na mata atlântica. In: II Seminário sobre Áreas Protegidas e Inclusão Social, 2006, Rio de Janeiro. **Anais...**
- MIRANDA, E. E. (Coord.). Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 8/11/2010.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). Secretaria de Biodiversidade e Florestas - SBF. May, P. H. (coord.); Veiga Neto, F. C.; Pozo, O. V. C. **Valoração econômica da biodiversidade: estudos de caso no Brasil**, 2000. 200p.
- MOTTA, R. S. Manual de valoração econômica de recursos ambientais. Brasília: MMA, 1998.
- MUETZELFELDT, R.; MASSHEDER, J. The Simile visual modelling environment. **European Journal of Agronomy**, v. 18, p. 345-358, 2003.
- MUNIZ-MIRET, N.; VAMOS, R.; HIRAOKA, M.; MONTAGNINI, F.; MENDELSON, R. O. The economic value of managing the acai palm (*Euterpe oleracea* Mart.) in the floodplains of the Amazon estuary, Para, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 7 p. 163-173, 1996.
- NALLE, D. J.; MONTGOMERY, C. A.; ARTHUR, J. L.; POLASKY, S.; SCHUMAKER, N. H. Modeling joint production of wildlife and timber. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 48, p. 997-1017, 2004.
- NELSON, G. C.; ROBERTSON, R. D. Comparing the GLC2000 and GeoCover LC land cover datasets for use in economic modelling of land use. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 19, p. 4243-4262, 2007.
- NEPSTAD, D. et al. The End of Deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 326, p. 5958, 2009.
- NOGUEIRA, J. M.; RODRIGUES, A. A. **Manual de Valoração Econômica de Florestas Nacionais**. Quarto relatório do Estudo sobre Valoração Econômica de Florestas Nacionais: Produtos Madeireiros e Não Madeireiros do Projeto PNUD/BRA 97/044 - Desenvolvimento Florestal Sustentável – do contrato Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Fundação de Tecnologia Florestal e Geo-processamento (FUNTEC), correspondente à Carta de Acordo 07/47-3830, 2007. 46p.
- ONSRUD, H. Survey of national spatial data infrastructures around the world. [s. l.]: [s. n.], 2001. Disponível em: <http://www.spatial.maine.edu/~onsrud/GSDI.htm>. Acesso em: 15/11/2010.
- PAGIOLA, S.; RITTER, K. ; BISHOP, J. **Assessing the Economic Value of Ecosystem Conservation**. The World Bank Environment Department. In collaboration with The Nature Conservancy and IUCN—The World Conservation Union. Environment department paper, n.101, 2004. 118p.

- PEARCE, D. W. ; PEARCE, C. G. **The value of forest ecosystems**. Report to the Secretariat of the United Nations Convention on Biological Diversity. Montreal, Canada: 2001.
- PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment**. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1990.
- RANDALL, P. L. Market solutions to externality problems. **American Journal of Agricultural Economy**, v. 54, p. 175-183, 1972.
- ROBINSON, E. J. Z.; ALBERS, H. J.; WILLIAMS, J. C. Spatial and temporal modeling of community non-timber forest extraction. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 56, p. 234–245, 2008.
- ROCHA, K.; MOREIRA, A. R. B.; CARVALHO, L.; REIS, E. J. O valor de opção das concessões nas Florestas Nacionais da Amazônia. **Texto para Discussão 737**. IPEA, Rio de Janeiro, junho de 2000. 34p.
- RODRIGUES, E. R.; CULLEN JR., L.; BELTRAME, T. P.; MOSCOGLIATO, A. V.; SILVA, I. C. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados para recuperação de Reserva Legal no Pontal do Paranapanema, São Paulo. **Revista Árvore**, v.31, n.5, p.941-948, 2007.
- ROMEIRO, A. R.; MAIA, A. G. Módulo 4: Avaliação de Custos e Benefícios Ambientais. 159p. In: ENAP. Métodos e Técnicas de Avaliação Socioeconômica de Projetos. Brasília-DF, 2010. 723p.
- RUDORFF, B. F.; SUGAWARA, L. M.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; GOLTZ, E.; AULICINO, T. L. I. N.; CARVALHO, M.; ARENAS-TOLEDO, J. M.; BRANDÃO, D. **Uso de imagens de satélite de sensoriamento remoto para mapear a área cultivada com cana-de-açúcar no estado de São Paulo - safra 2009/10**. Relatório Técnico. INPE-16668-rpq/847.
- RUNDELL, P. W., GRAHAM, E. A., ALLEN, M. F., FISHER, J. C., HARMON, T. C. Environmental sensor networks in ecological research. **New Phytologist**, v. 182, p. 589–607, 2009.
- SILVA, T. A. **Avaliação do acesso ao SINIMA – Sistema Nacional de Informação sobre o Meio-ambiente**. Perspectivas em Ciência da Informação, v.12, n.3, p.41-53, 2007.
- SMITH, M. D.; SANCHIRICO, J. N.; WILEN, J. E. The economics of spatial-dynamic processes: Applications to renewable resources **Journal of Environmental Economics and Management** 57 (2009) 104–121
- SOARES-FILHO, B. S.; ASSUNÇÃO, R. M.; PANTUZZO, A. E. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **BioScience**, v. 51, n. 12, p. 1059-1067, 2001.
- SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape

dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 217-235, 2002.

SOS MATA ATLÂNTICA (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA) e INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**, período 2008-2010. Relatório parcial. São Paulo, 2009.

STONE, S. W. Using a geographic information system for applied policy analysis: the case of logging in the Eastern Amazon. **Ecological Economics**, v. 27, p. 43–61, 1998.

SUTTON, P. C.; COSTANZA, R. Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation. **Ecological Economics**, v. 41 p. 509–527. Special issue. The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives, 2002.

SWETNAM, R. D.; FISHER, B.; MBILINYI, B. P.; MUNISHI, P. K. T.; WILLCOCK, S.; RICKETTS, T.; MWAKALILA, S.; BALMFORD, A.; BURGESS, N. D.; MARSHALL, A. R.; LEWIS, S. L. Mapping socio-economic scenarios of land cover change: A GIS method to enable ecosystem service modeling. Aceito: **Journal of Environmental Management**, 2010.

TALLIS, H.; POLASKY, S. Mapping and Valuing Ecosystem Services as an Approach for Conservation and Natural-Resource Management. The Year in Ecology and Conservation Biology, 2009: **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1162, p. 265–283, 2009.

TEIXEIRA, A. M. G.; SOARES-FILHO, B. S.; FREITAS, S. R. ; METZGER, J. P. Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for Conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 1219–1230, 2009.

THE ELIASCH REVIEW. Climate Change: Financing Global Forests. 273p. UK, 2008.

TOLLEFSON, J. Paying to save the rainforests. **Nature**, v. 460, p. 936-937, 2009.

TURNER, M. G; COSTANZA, R.; SKLAR, F. Methods to evaluate the performance of spatial simulation models. **Ecological Modelling**, v. 48, p. 1-18, 1989.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfométricos locais**. Relatório Técnico. INPE, São José dos Campos, 2008. 44p.

VILAR, M. B. **Valoração econômica de serviços ambientais em propriedades rurais**. 171p. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2009.

WAINGER, L. A.; KING, D. M.; MACK, R. N.; PRICE, E. W.; MASLIN, T. Can the concept of ecosystem services be practically applied to improve natural resource management decisions? **Ecological Economics**, v. 69 p. 978-987, 2010.

WINKLER, R. Valuation of ecosystem goods and services. Part 1: An integrated dynamic approach. **Ecological Economics**, v. 59, p. 82-93, 2006.

WORLD BANK. **Handbook of National Accounting**. Integrated Environmental and Economic Accounting 2003. Final draft circulated for information prior to official editing. United Nations European Commission International Monetary Fund Organisation for Economic Co-operation and Development World Bank. Studies in Methods Handbook of National Accounting. 598p.

XIMENES, A. C.; ALMEIDA, C. M.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; AGUIAR, A. P. A. Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, n. 3, p. 370-391. Curitiba. 2008.

YOUNG, C. E. F.; FAUSTO, J. R. B. **Valoração de recursos naturais como instrumento de análise da expansão da fronteira agrícola na Amazônia**. IPEA, Brasília/DF. 1997, 490p.

YOUNG, C. E. F.; FAUSTO, J. R. B. **Valoração de recursos naturais como instrumento de análise da expansão da fronteira agrícola na Amazônia**. Texto para Discussão n. 490. Rio de Janeiro/RJ. 1998, 32p.