

Extração de Informações de Imagens Landsat para Modelos de Alcance Econômico da Atividade Madeireira

CARLOS MOREIRA DE SOUZA JR.

ANDRÉ LUÍS MONTEIRO

RODNEY SALOMÃO

ANDRÉA VALENTE

IMAZON – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
Caixa Postal 5101, Ananindeua, Pará 67.113-000, Brasil
(www.imazon.org.br)

Abstract Roads were extracted from soil fraction images derived from spectral mixing models applied to Landsat TM. From 5.308 km of roads mapped, 4.388 km were associated with logging activity in the study area. The road layer and transportation cost of logs were incorporated into GIS cost surface models. By combining this model with land cover map, which included deforestation, logged forest and forest classes, we were able to produce logging economic extent maps. The methodology showed high accuracy levels for road extraction and satisfactory accuracy to land cover classes (85%). We demonstrated the use of the information derived from this methodology as a tool to be applied in monitoring programs. In addition, we postulate that by applying this methodology to the Amazon region it is possible to delineate the current frontier of occupation in the whole basin .

Keywords: Sensoriamento remoto, mistura de pixel, modelagem espacial, SIG, exploração madeireira, Mato Grosso.

Introdução

Modelos de custo de superfície têm sido propostos para estimar o alcance econômico da atividade madeireira na Amazônia. As aplicações destes modelos incluem zoneamento florestal (Veríssimo et al., 1998; Souza Jr. et al., 1997), avaliação das tendências de mercado da atividade madeireira (Stone, 1998) e tomada de decisão para identificação de florestas de produção (Veríssimo et al., 2000a; Veríssimo et al., 2000b). Os modelos de alcance econômico são baseados em um algoritmo de custo mínimo de superfície que se encontra implementado em programas como *IDRISI* e *Spatial Analyst/ArcView*. Os parâmetros deste algoritmo consistem nos tipos de superfícies utilizadas para se deslocar (i.e., tipos de estradas, rios) e seus respectivos custos unitários de transporte, barreiras naturais ou artificiais (i.e., florestas, pastagens, elevações) e origem do deslocamento.

Uma das dificuldades para implementar estes modelos refere-se a disponibilidade de mapas de estradas atualizados. A atividade madeireira praticada na terra firme abre uma extensa rede de estradas (Veríssimo et al., 1995). Tais estradas não estão disponíveis em mapas oficiais. Além disso, os modelos necessitam de informações sobre áreas desmatadas, áreas de florestas exploradas e florestas remanescentes, para que possam se representar melhor a realidade e, dessa

forma, serem usados eficientemente em programas de monitoramento e controle da cobertura vegetal.

Imagens Landsat TM/ETM podem ser processadas para a extração destes tipos de informações. Em regiões como a Amazônia, tais imagens representam a forma mais rápida e de menor custo para gerar mapas da cobertura vegetal em escala de 1:50.0000. Neste trabalho avaliamos o uso de imagens de satélite Landsat TM/ETM para a extração de estradas e para o mapeamento da cobertura vegetal. Em seguida, testamos estas informações como parâmetros de modelos de alcance econômico da atividade madeireira em quatro regiões produtoras do Estado do Mato Grosso. Por último, avaliamos as aplicações destes modelos como ferramenta para o monitoramento da cobertura vegetal.

2. Área de Estudo

O estudo foi conduzido em quatro regiões produtoras de madeira do Estado do Mato Grosso (Sinop, Marcelândia, Cláudia e União do Sul). A região é caracterizada pela ocorrência de florestas de transição (entre floresta ombrófila e floresta estacional) sob condições de topografia plana a levemente ondulada (Brasil, 1981). Trabalhos de campo foram conduzidos no período de 1 a 3 julho de 2000. Foram coletadas informações sobre cobertura vegetal, localização de estradas e de áreas de exploração madeireira com auxílio de GPS (**figura 1**).

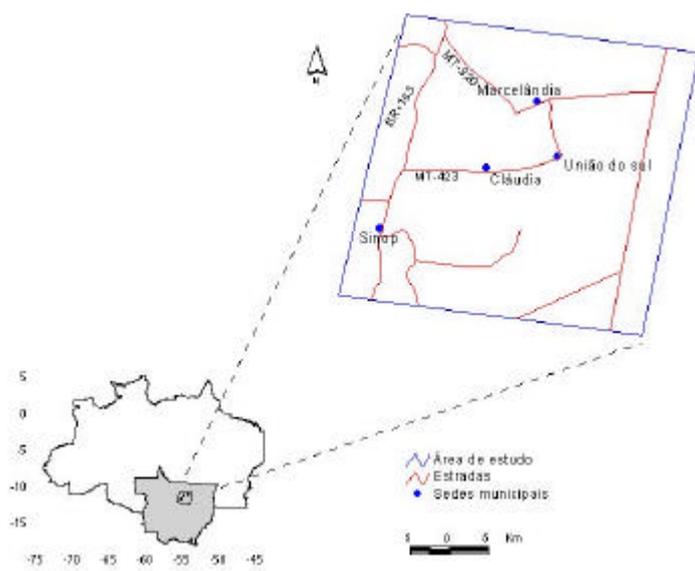


FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDO (CENA 226/68 DO LANDSAT TM/ETM), ABRANGENDO OS PÓLOS MADEIREIROS DE SINOP, CLÁUDIA, MARCELÂNDIA E UNIÃO DO SUL, MATO GROSSO.

3. Metodologia

Utilizamos imagem de satélite Landsat, órbita 226/68, de agosto de 1999 (ETM) e de junho de 2000 (TM), bandas 1-5 e 7. As imagens foram adquiridas do Tropical Forest Information Center (TRFIC) e do INPE, respectivamente, e processadas para extrair dois tipos de informações: estradas e cobertura vegetal. Essas informações foram combinadas com dados de custo de transporte de madeira para modelar o alcance econômico da exploração madeireira. A **figura**

2 sintetiza as etapas dos processamentos utilizados e os detalhes de cada etapa são apresentados nas subseções abaixo.

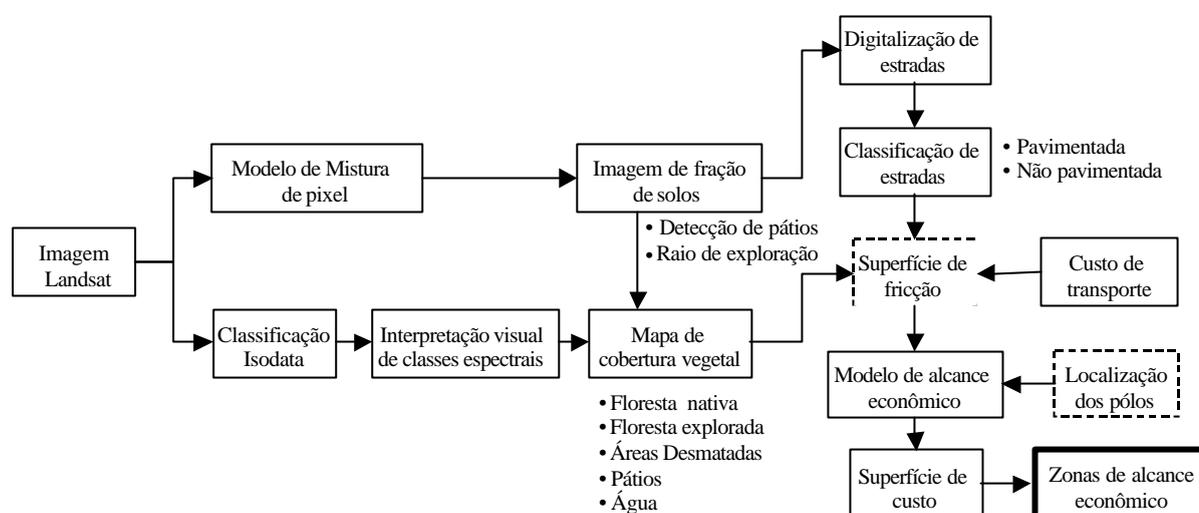


FIGURA 2. METODOLOGIA UTILIZADA PARA MODELAGEM DE ALCANCE ECONÔMICO DA ATIVIDADE MADEIREIRA NA ÁREA DE ESTUDO.

3.1 Extração de Estradas

As estradas foram extraídas para o ano de 1999 através de interpretação visual de imagem de fração de solos, obtida com modelo de mistura de pixel (**figura 3**). O modelo de mistura utilizou pixels puros extraídos da imagem de satélite. O algoritmo de índice de pureza de pixel (Pixel Purity Index -PPI) (Boardman et al. 1995) foi utilizado para esta finalidade. Os pixels puros identificados com o PPI foram interpretados com auxílio do visualizador n-dimensional para seleção dos endmembers finais (Boardman 1993). Três endmembers foram selecionados para estimar a abundância de solos, vegetação e sombra nas imagens. O modelo de mistura de pixel utilizou o método dos mínimos quadrados sem restrições (Schanzer 1993). Estes processamentos foram feitos com o software ENVI 3.2.

A imagem de fração de solos foi utilizada para a identificação e digitalização das estradas, com o software ArcView 3.2. A escala adotada para a geração do mapa de estradas foi 1:50.000. Após a digitalização as estradas foram classificadas quanto à categoria (Federal, Estadual e não oficiais) e quanto à qualidade (pavimentada e não pavimentada), com base em mapas rodoviários e informações de campo (**figura 3**).

3.2 Mapeamento da cobertura vegetal

Utilizamos classificação não supervisionada (ISODATA) seguida de interpretação visual e agrupamento de classes espectrais para mapear as seguintes classes de cobertura vegetal: floresta nativa, áreas desmatadas e rios (**figura 2**).

A classe “floresta explorada” foi mapeada utilizando o método proposto por Souza Jr. e Barreto (2000). O método consiste na identificação de aberturas (1 a 3 pixels nas imagens) nas florestas, utilizadas para armazenar toras de madeiras. Estas áreas são denominadas “pátios de exploração” e são realçadas em imagens de fração de solos obtidas com modelos de mistura de pixel (ver seção 3.1; **figura 3**). Utilizando um raio de exploração a partir dos pátios é possível

estimar a área afetada pela exploração madeireira. O raio de exploração para região de estudo foi estimado em 420 m (Monteiro e Souza Jr., em preparação). A classificação final da paisagem foi obtida combinando o mapa gerado com a classificação ISODATA e o mapa de florestas exploradas. Estes procedimentos foram aplicados às imagens de 1999 e 2000.

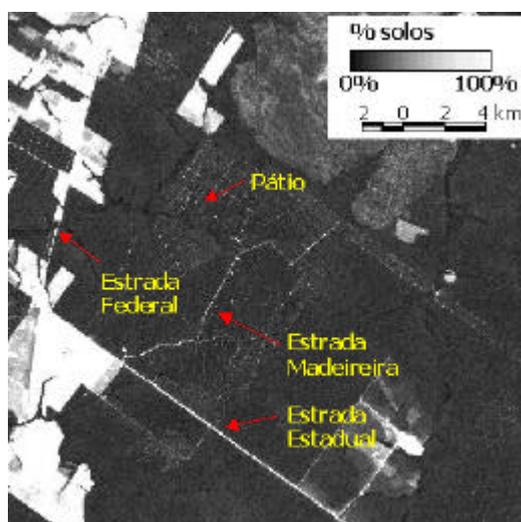


FIGURA 3. SUB-ÁREA DA IMAGEM DE FRAÇÃO DE SOLOS OBTIDA COM MODELO DE MISTURA DE PIXEL, UTILIZADA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ESTRADAS E PÁTIOS DE EXPLORAÇÃO MADEIREIRA. ESTRADAS MADEIREIRA FORAM CLASSIFICADAS COMO NÃO OFICIAIS.

3.3. Modelo de alcance econômico da atividade madeireira

Para determinar o custo cumulativo para transportar toras de madeira, da floresta até a serraria, utilizamos a modelagem de custo mínimo de superfície. Usamos a função *CostDistance* do módulo *Spatial Analyst* do *ArcView 3.2* para este propósito. Os parâmetros do modelo incluem: i) superfície de deslocamento (fricção) com cada tipo de superfície contendo o valor unitário de custo de transporte; ii) localização de barreiras naturais (i.e., rios); e iii) origem do deslocamento (i.e., pólos madeireiros). Os custos de transporte foram obtidos nos estudos de pólos e dados de campo (**Tabela 1**). O modelo foi aplicado somente para o ano de 1999.

TABELA 1. ESTIMATIVA DE CUSTO DE TRANSPORTE DE MADEIRA EM TORA.

Tipo de Superfície	Custo (US\$/m ³ /km)	Fonte
Estrada pavimentada	0,05	Stone, 1997
Estrada não pavimentada	0,10	Veríssimo et al., 1998
Abertura de estrada em florestas	1,50	Dados de campo

O cálculo do custo de transporte cumulativo é feito a partir de conexões (*links*) entre as células da superfície de custo (**figura 4**). As conexões são feitas a partir de nós (centro da célula). O deslocamento pode ocorrer na vertical, horizontal e diagonal. O custo para o deslocamento entre células adjacentes, tanto na horizontal como na vertical, é obtido a partir da média aritmética dos custos das células. O custo cumulativo é obtido somando-se todos os custos intermediários entre os pontos de partida e chegada (**figura 4**). Os deslocamentos na diagonal são ajustados multiplicando-se os valores obtidos por 1.414216 (raiz de 2).

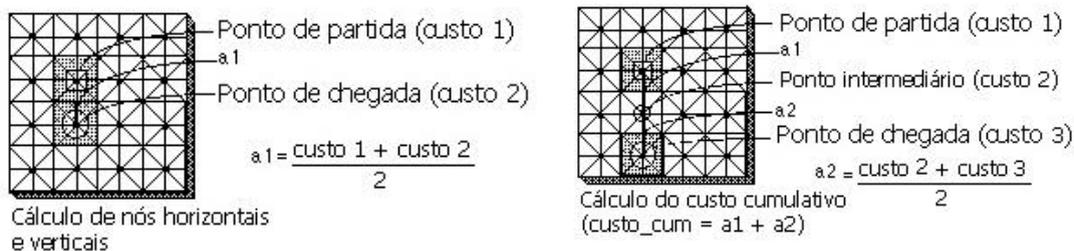


FIGURA 4. CÁLCULO DO CUSTO CUMULATIVO DO ALGORITMO DE CUSTO DE MÍNIMO DE SUPERFÍCIE (ADAPTADO DE ESRI 1998, MANUAL *ONLINE* DO ARCVIEW 3.2). PARA AS CONEXÕES EM DIAGONAL O CÁLCULO É FEITO MULTIPLICANDO-SE OS CUSTOS POR 1,414216 (RAIZ DE 2).

4. Resultados

Foram mapeados 5.308 km de estradas no ano de 1999, sendo que 4.388 km são estradas não oficiais. O custo máximo cumulativo de transporte a partir dos quatro pólos madeireiros da região foi de U\$ 58/m³. A superfície de custo cumulativo foi considerada apenas para as florestas remanescentes em 1999. Essas florestas foram classificadas em 9 intervalos de custos (**figura 5, tabela 2**). As áreas exploradas até o ano 2000 foram combinadas com o modelo de custo de transporte para extrair estatísticas. Cerca de 6.067 km² (22% da área de estudo) de florestas exploradas foram detectados, dos quais 90% concentraram-se na zona de custo cumulativo de transporte de até U\$ 20/m³. O custo máximo de transporte foi de U\$53/m³ (média de U\$9.9/m³ e desvio padrão de U\$7.28/m³). O desmatamento foi de 6.776 km² (23%) e concentrou-se na zona de custo de até U\$15/m³.

A superfície de custo obtida foi também classificada para definir zonas de acessibilidade econômica da atividade madeireira. Para esse propósito, classificamos em áreas altamente acessíveis as zonas cujo custo de transporte chega até U\$ 17/m³. Este valor representa a média (U\$9.9/m³) do custo de transporte das áreas exploradas até o ano 2000 mais o desvio padrão (U\$7.28/m³). Consideramos que o intervalo de custo de transporte de U\$17/m³ a U\$53/m³ (custo máximo sendo explorado) representa zonas atualmente acessíveis. A região acima deste intervalo foi considerada como zona atualmente não explorada pela atividade madeireira. Quando essas zonas foram combinadas com a classificação da cobertura vegetal, obtivemos um mapa de acessibilidade da atividade madeireira para região (**figura 6**). Do total de florestas remanescentes (16.556 km²), 73% pertencem à zona altamente acessível, 18% à zona acessível e apenas <3% são florestas atualmente inacessíveis.

A acurácia do mapeamento de estradas foi 100%, sendo estimada comparando-se 1.000 km de estradas percorridos durante os trabalhos de campo com as estradas extraídas das imagens. O mapeamento da exploração madeireira apresentou acurácia de 85%. Os erros estão associados com o rápido crescimento de vegetação nos pátios, causando erro de classificação de floresta explorada como floresta intacta. Nossa estimativa preliminar para a acurácia geral do mapa de cobertura vegetal é em torno de 83%. Conduziremos levantamento assistido por videografia e análise multitemporal com imagens de 1986 a 2000 na área de estudo. Acreditamos que de posse de tais informações poderemos obter resultados conclusivos quanto a acurácia.

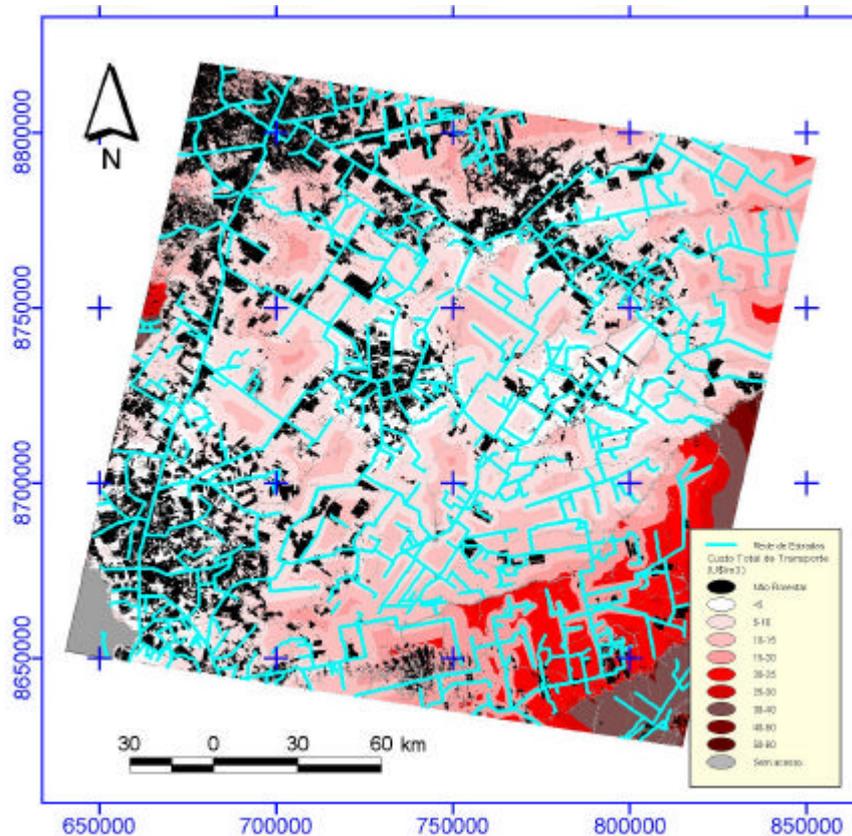


FIGURA 5. ZONAS DE CUSTO DE TRANSPORTE DE MADEIRA EM TORA OBTIDAS A PARTIR DO MODELO DE CUSTO MÍNIMO DE SUPERFÍCIE.

TABELA 2. ESTIMATIVA DE ÁREA PARA OS INTERVALOS DE CUSTO E ÁREA AFETADA PELA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA EM ATÉ AGOSTO DE 2000 POR INTERVALO.

Intervalos de Custo (U\$/m ³)	Área (km ²)	Exploração Madeireira (km ²)	% de Área Explorada
<5	3.973,21	1.214,0	30,6
5 - 10	9.008,34	2.525,0	28,0
10 - 15	4.907,31	1.293,0	26,3
15 - 20	2.102,75	513,0	24,4
20 - 25	1.415,50	278,0	19,6
25 - 30	332,53	55,0	16,5
30 - 40	870,47	169,0	19,4
40 - 50	97,86	18,0	18,4
50 - 60	14,61	2,0	13,7
Total	22.722,58	6.067,0	

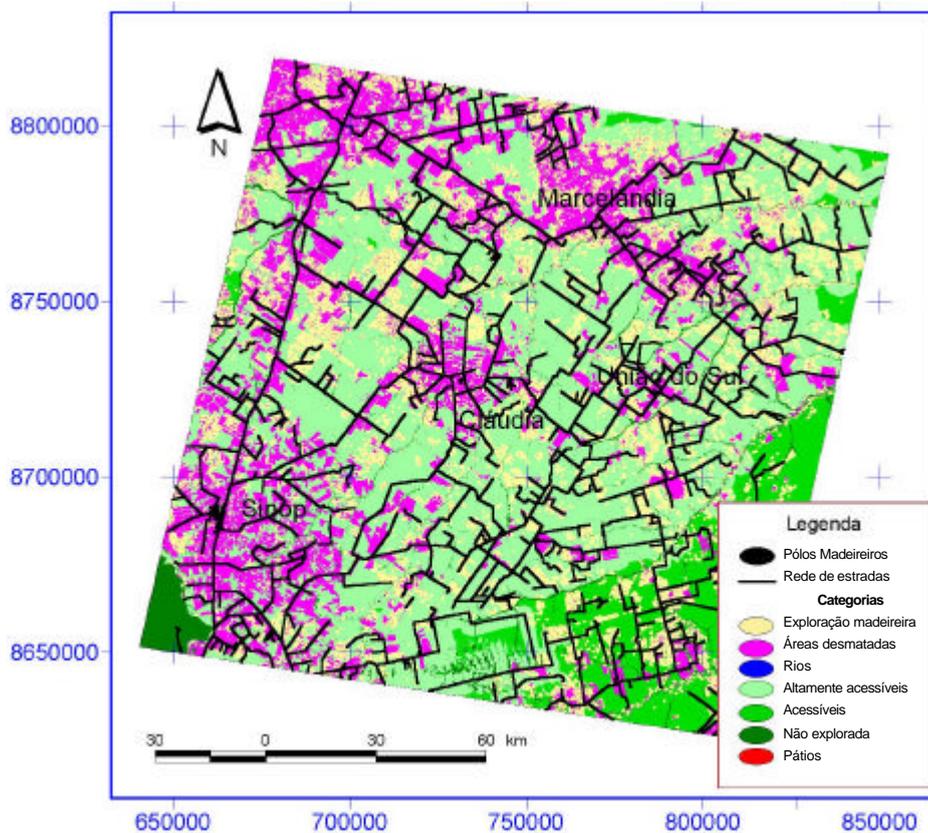


FIGURA 6. MAPA DE ACESSIBILIDADE DA ATIVIDADE MADEIREIRA.

5. Conclusão

Imagens de satélite Landsat fornecem informações acuradas, atualizadas e de melhor escala para modelos de custo de superfície. Tais modelos podem ser aplicados para estimar o alcance econômico da atividade madeireira, e quando combinados com mapas de cobertura vegetal, definir zonas de acessibilidade econômica. Essas informações podem ser úteis em programas de monitoramento e controle da atividade madeireira. Por exemplo, zonas de maior acessibilidade econômica poderiam ser priorizadas para trabalhos de fiscalização de áreas de exploração madeireira. Da mesma forma, áreas protegidas, como Parques Nacionais e Terras Indígenas, poderiam ser monitoradas quanto à acessibilidade econômica desta atividade.

Esta metodologia possui um alto potencial de aplicabilidade na escala da Amazônia Legal. Primeiramente, mapas de estradas poderiam ser integrados com mapas de desmatamento e exploração madeireira para delimitar com mais precisão a fronteira de ocupação da Amazônia. Estas informações também forneceriam parâmetros importantes para modelos de acessibilidade de outras atividades econômicas como agricultura e pecuária. Por último, perguntas como “qual o alcance econômico da atividade madeireira se um nova estrada fosse implantada ou pavimentada?” poderiam ser respondidas. Esta ferramenta seria útil para modelar os impactos ambientais de programas de desenvolvimento da Amazônia, como o Avança Brasil do governo federal, que prevê a abertura e pavimentação de estradas na região.

Agradecimentos

Agradecemos ao apoio financeiro recebido pelo Programa de Pesquisa Dirigida do PPG7/MCT/FINEP e à Fundação FORD.

Referências

- Arima, E.; Veríssimo, A. & Souza Jr., C. 1999. A Atividade Madeireira e Desmatamento na Amazônia. IICA- Embrapa, 56p.
- Boardman, J. W., 1993, Automated spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts: in Summaries, Fourth JPL Airborne Geoscience Workshop, JPL Publication 93-26(1)11-14.
- Boardman, J. W., Kruse, F. A., and Green, R. O., 1995, Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data: in Summaries, Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publications 95-1(1) 23-26.
- Brasil, 1981, Departamento de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais. Folha SC.21 Juruena. Rio de Janeiro, **460**, 39-40.
- Monteiro, A. L. & Souza Jr. (em preparação). Detection of logging in Amazonian transition forests using spectral mixture models. (A ser submetido ao International Journal of Remote Sensing).
- Schanzer, D. L. 1993. Comments on the least-squared mixing models to generate fraction images derived for remote sensing multispectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **3**, 747.
- Souza Jr., C.; Veríssimo, A.; Stone, S.; Uhl, C. 1997. Zoneamento da Atividade Madeireira na Amazônia: Um Estudo de Caso para o Estado do Pará. Série Amazônia N°8, Belém, Imazon. 26p.
- Souza Jr., C. & Barreto, P. 2000. An alternative approach for detecting and monitoring selective logged forest in the Amazon. International Journal of Remote Sensing 21: 173-179.
- Stone, S. 1998. Using a geographic information system for applied policy analysis: the case of logging in the eastern Amazon. Ecological Economics 27: 43-61
- Veríssimo, A., Barreto, P., Tarifa, R., and Uhl, C. 1995, Extraction of a high-value natural source from Amazon: the case of mahogany. Forest Ecology and Management **55**,169-199.
- Veríssimo, A., Souza Jr., C., Stone, S., and Uhl, C. 1998 Zoning of Timber Extraction in the Brazilian Amazon. Conservation Biology, 12(1),128-136.
- Veríssimo, A.; Souza Jr., C.; Salomão, R.; Amaral, P.; Lima, E 2000a. Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre: atividade madeireira. Belém: Imazon, Governo do Estado do Acre e Sectma, 25 p.
- Veríssimo, A.; Souza Jr., C.; Amaral, P.; . 2000b. Identificação de Áreas com Potencial para a Criação de Florestas Nacionais na Amazônia Legal. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Programa Nacional de Florestas – PNF, 56p.