

Análise da Dinâmica na Paisagem do Nordeste Paraense Através de Técnicas de Geoprocessamento¹

ORLANDO DOS SANTOS WATRIN¹

JOÃO ROBERTO DOS SANTOS¹

MARIO VALÉRIO FILHO²

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental - CPATU
Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/nCx. Postal 48, 66.095-100. Belém (PA)

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Departamento de Sensoriamento Remoto - DSR
Av. dos Astronautas, 1758. Cx. Postal 515, 12.210-012. São José dos Campos (SP)

Abstract. This work presents and discusses the integration of geoprocessing techniques with field information on the study of vegetation cover and land use changes in Igarapé-Açu, Pará, Brazil. Landsat TM data of the years 1984, 1988 e 1991 were processed in SITIM/INPE Digital Image Analyzer for the image spectral features reconnaissance. Through the products generated by a hybrid classification process, it was defined a legend with four classes of vegetation cover and five classes of land use. Then, a Geographical Information System (SGI/INPE), was used to generate information taking into account the quantification of the area and dynamics analysis of mapped classes, for the years of interest. It was observed throughout the studied period that the dominant class, was an intermediate secondary succession, and pasture with invasion of weeds as a major class among the land use units. For the landscape dynamics, it was observed the intermediate, and mainly, the initial stage of secondary succession showed a more active participation as fallow vegetation as a component of the traditional agriculture. It was also observed, that there are fluctuations on the area because a normal evolution in the successional process or, due to the land use classes, by alternating their state within the unities. Given the results obtained, the applied methodology can be used to monitor and understand the anthropics modifications that occurred in this landscape due to the land use, and how the primary and secondary vegetation is modified within this context.

Keywords : Land Use/Cover Changes, Multi-Temporal Analysis, Secondary Succession, Slash-and-Burn Agriculture, Amazonian Region.

1. Introdução

A crescente ocupação dos espaços rurais, nem sempre de uma forma ordenada, tem ocasionado uma série de impactos negativos sobre o meio ambiente. No contexto amazônico, as atividades antrópicas, tais como a formação de pastagens, a agricultura e, mais recentemente, a exploração madeireira, têm contribuído para causar distúrbios significativos no meio ambiente em algumas áreas críticas. A expansão da agricultura na Amazônia é bastante discutida, tanto pela dificuldade de sustentabilidade como em função da preocupação mundial com o desmatamento de áreas florestais, áreas estas consideradas importantes na conservação dos solos, no abrigo de recursos genéticos pouco

conhecidos e no controle do clima global (Veiga e Hebette, 1992).

Na avaliação dos processos de ocupação da região amazônica, a necessidade de estudos de monitoramento da vegetação e de mudanças no uso da terra através de ações integradas de investigação, são imprescindíveis. Neste contexto, Sader et al. (1990) observam uma otimização das análises envolvidas para estudos ambientais com a combinação de sistemas de sensoriamento remoto orbital e estruturas auxiliares, tais como sistemas de informação geográfica.

Em ambientes tropicais úmidos, tais estudos apesar de não serem muito numerosos, representam hoje uma fonte valiosa de informações sobre estes ecossistemas que vêm sofrendo rápidas mudanças. Como aplicações

¹ Trabalho desenvolvido com apoio do Projeto "Vegetação Secundária como Vegetação de Pousio na Paisagem Agrícola da Amazônia Oriental : Função e Possibilidade de Manipulação", do Programa SHIFT (Convênio CNPq/IBAMA/DLR, Brasil-Alemanha).

potenciais citam-se fornecer tecnologia auxiliar no manejo florestal (Susilawati e Weir, 1988) e na caracterização e mapeamento de áreas florestais (Moore et al., 1991; Saxena et al., 1992). Em geral, os autores enfatizam a grande importância de trabalhos de campo intensivos para que a informação desejada, contida nas imagens de satélite, possa ser extraída com maior propriedade.

Os estudos da cobertura vegetal e uso da terra na Amazônia, realizados no âmbito de uma escala regional ou mesmo local, envolvem a aplicação de diversas abordagens para análise dos dados de sensores remotos. Levantamentos em semi-detulhe com base na interpretação visual e/ou processamento digital de imagens TM/Landsat para áreas do nordeste do Estado do Pará foram realizadas por Sano et al. (1989), Venturieri et al. (1990) e Watrin e Rocha (1992), entre outros.

A análise de dados históricos através de técnicas de geoprocessamento vem sendo realizada na região como instrumento auxiliar de planejamento regional e de acompanhamento do impacto das atividades de desenvolvimento. Considerando-se tal abordagem para áreas da Amazônia Oriental, salientam-se os trabalhos desenvolvidos por Mere e Braga (1988), Brondízio et al. (1993), Morán et al. (1993, 1994).

Associado a essas premissas, este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir a utilização de técnicas de geoprocessamento, considerando-se dados TM/Landsat e de levantamento de campo, para contribuir no estudo multitemporal da cobertura vegetal e uso da terra em Igarapé-Açu, Estado do Pará.

2. Área de Estudo

O município de Igarapé-Açu está localizado no nordeste do Estado do Pará, perfazendo uma área aproximada de 786 km², entre as latitudes 0°55' e 1°20', e as longitudes 47°20' e 4°50' (Figura 1). Vale ressaltar que tal município está inserido na microrregião Bragantina, uma das primeiras a serem ocupadas na Amazônia, sendo assim uma área com a paisagem natural bastante modificada pela intensa atividade antrópica, notadamente a pequena agricultura.

Segundo o levantamento do Projeto RADAMBRASIL (1973), os solos dominantes pertencem ao grande grupo Latossolo Amarelo textura média, sendo ainda observado, associação desses com solos de fases pedregosas. Ocorrem também em menor proporção, Podzol Hidromórfico, Areias Quartzosas Hidromórficas, Solos Aluviais Hidromórficos e solos meio orgânicos.

Para os aspectos climáticos, Diniz (1986) verificou a partir de dados do período 1980-1985 que as médias

mensais para temperatura variam entre 25,50°C e 26,8°C, enquanto que para a umidade relativa do ar oscilam entre 80% e 89%. Através de dados do DNAEE² no período 1981-1988 para a precipitação, verifica-se que a média anual é de 2.458 mm, com ocorrência de regime sazonal, onde os trimestres mais chuvoso e mais seco correspondem, respectivamente, aos meses de fevereiro-março-abril e setembro-outubro-novembro.

Com relação à cobertura vegetal, o inexpressivo remanescente florestal, formado em geral por matas de várzea e igapó, encontra-se restrito às margens dos principais rios e igarapés, muito embora, empobrecido por diversos processos de utilização. A unidade dominante na paisagem corresponde às formações estabelecidas a partir do desenvolvimento de atividades antrópicas, denominadas genericamente de vegetação secundária, em vários estádios de sucessão e com estrutura e densidade variáveis. De acordo com Denich (1991), tais formações atuam como componente de pousio no sistema tradicional de produção de alimentos na Amazônia Oriental, geralmente em pequenas propriedades com lavouras de subsistência, sendo muito difundida a prática de consórcio (cultivo misto).

3. Material e Métodos

Foram utilizadas imagens digitais TM/Landsat de órbita/ponto 223/061, quadrante B, bandas TM 1 a 5 e 7, referentes aos anos de 1984 e 1991, além de cartas topográficas da DSG³ na escala 1:100.000 que abrangem a área de estudo. Os dados TM/Landsat foram processados no analisador de imagens SITIM/INPE visando inicialmente o reconhecimento das feições espectrais presentes na paisagem. Assim, foi selecionado um módulo teste na imagem mais recente (1991), onde foram aplicadas diferentes técnicas de realce, de segmentação e de classificação por regiões. Visando dar suporte ao trabalho de campo, foram também confeccionados a partir da imagem já realçada, módulos recobrindo toda a área de estudo na escala aproximada de 1:50.000, sendo a seguir realizado o registro fotográfico dos mesmos.

² Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.

³ Diretoria de Serviço Geográfico, do Minist. do Exército.

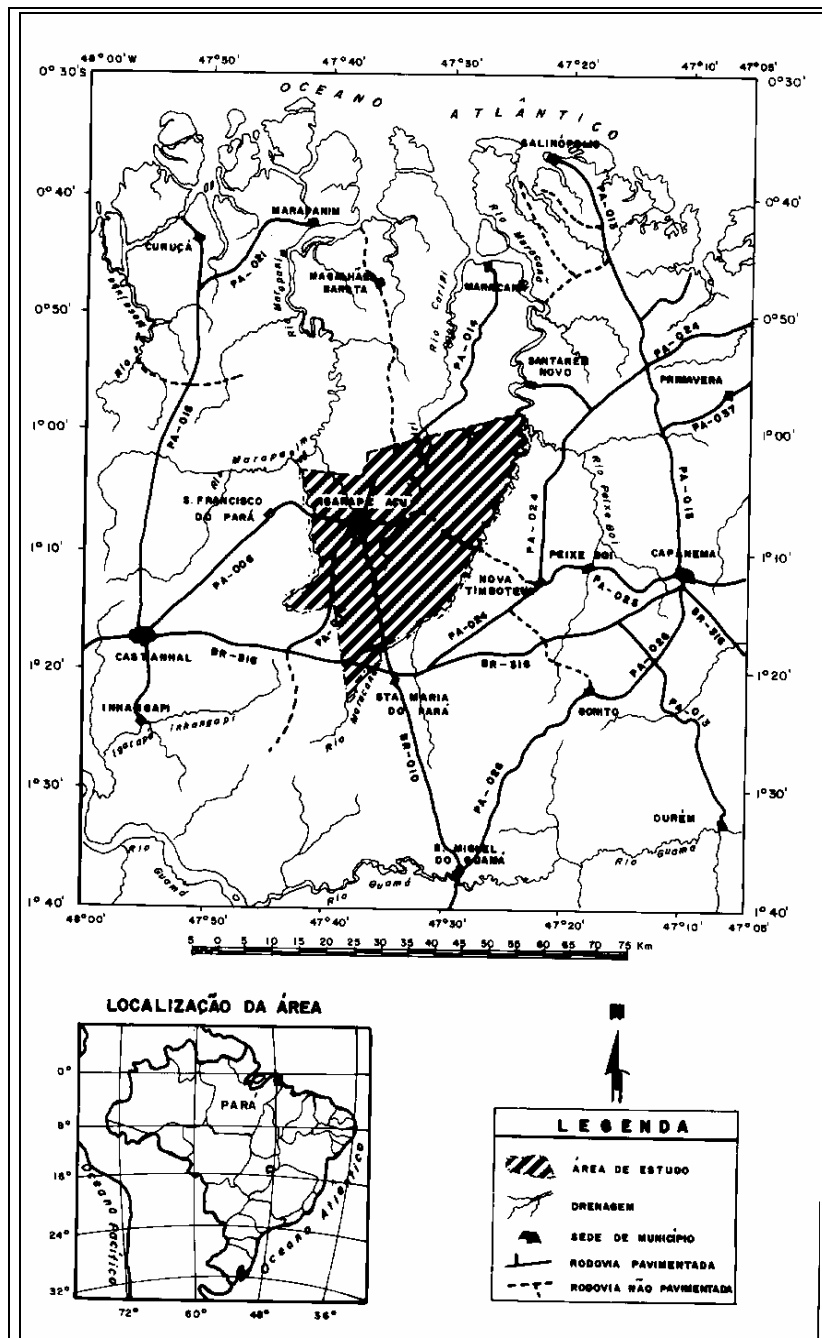


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

As atividades desenvolvidas no campo compreenderam primeiramente o reconhecimento e correlação das feições espectrais presentes nas imagens com padrões de cobertura vegetal e uso da terra observados no campo e a coleta de dados e informações de diferentes naturezas. Assim, foram definidos parâmetros relacionados ao histórico de uso da terra, culturas instaladas (tipo, área e idade), e técnicas de cultivo e manejo aplicadas; além de aspectos

fitofisionômicos como tipo, idade e uso da formação vegetal; e do meio físico como solo e topografia.

A partir da fase de reconhecimento e caracterização da paisagem, com a definição das feições espectrais de interesse no campo, foi efetuado um levantamento fitofisionômico exploratório para caracterizar as principais formações existentes. Desta forma, foram selecionados para amostragem, quatro estádios de sucessão secundária (capoeiras de três, oito,

treze e dezoito anos de idade), e um tipo de floresta primária (mata de igapó). As amostragens realizadas apresentaram dimensões variáveis com o tipo de formação, de modo a atender a confecção de perfis estruturais esquemáticos (vertical e horizontal).

De posse do conjunto dos dados e informações obtidas, as imagens referentes aos anos em estudo foram manipuladas com o objetivo de geração de produtos temáticos, sendo assim primeiramente realizado a fase de pré-processamento. Visando minimizar a variação interanual dos dados, as imagens foram submetidas à atenuação dos efeitos atmosféricos considerando o Método do Histograma (Chavez Jr., 1988), onde os números digitais associados ao espalhamento atmosférico foram subtraídos das bandas correspondentes. Adicionalmente, para proporcionar uma uniformidade cartográfica, em tais imagens foi aplicado o registro de imagens, primeiramente registrando-se a imagem de 1991 com as cartas topográficas que abrangem a área de estudo e a seguir, a imagem de 1984 com aquela já georreferenciada.

Após a fase de pré-processamento, as imagens foram classificadas sob uma abordagem híbrida, a partir da utilização de uma classificação não supervisionada como subsídio para uma classificação supervisionada (Brondízio et al., 1993; Morán et al., 1993). Desta forma, foram aplicados sequencialmente os algoritmos K-Médias e Maxver, gerando como produto final três imagens temáticas referentes às datas consideradas.

As imagens classificadas foram então migradas para o sistema de informação geográfica *SIG/INPE* e transformadas em planos de informação ("PI's") em um projeto contendo alguns elementos digitalizados a partir de cartas topográficas, como drenagem, malha viária e núcleos urbanos. Foram feitas análises referentes à quantificação de áreas e à dinâmica das classes mapeadas, através do cruzamento entre os "PI's" referentes às imagens classificadas para os anos considerados, tomando-se por base a distribuição espacial das informações temáticas. Devido a limitações para plotagem de mapas através do *SIG*, foi feita a importação do projeto existente para o sistema *SPRING* visando à obtenção de mapas de cobertura vegetal e uso da terra para a área de estudo, nos anos de interesse. Tais mapas apresentados na escala de 1:150.000 podem ser consultados em Watrin (1994).

4. Resultados e Discussão

Através da fotointerpretação das composições coloridas realçadas e das verificações de campo realizadas na área de estudo, foi gerada uma legenda formada por quatro classes de cobertura vegetal e cinco de uso da terra. Para as formações vegetais definiram-se as classes

Floresta Ombrófila Densa (englobando em geral matas de igapó e várzea), e os estádios Avançado, Intermediário e Inicial da Sucessão Secundária, relacionados às idades médias de 1 a 6, 7 a 12 e 13 a 18 anos, respectivamente.

A individualização dessas formações deve-se ao sombreamento interno promovido pelas suas diferenças estruturais, tais como a formação de estratos e altura do dossel. Segundo Morán et al. (1993), o sombreamento interno observado na floresta primária promove uma "armadilha" para a energia eletromagnética, gerando uma resposta espectral baixa principalmente na faixa do infravermelho próximo. Tal comportamento permite assim que haja individualização desta formação, da mesma forma que a diferenciação entre estádios de sucessão secundária, desde que apresentem também uma taxa de sombreamento diferenciado.

Para o uso da terra, foram detectadas as classes Solo Exposto, Cultura Anual/Semiperene, Cultura Perene, Pasto Limpo e Pasto Sujo. Tal estratificação foi baseada nas diferentes culturas e seus estádios de desenvolvimento, assim como pelas diversas práticas culturais e de manejo utilizadas na região, as quais promovem diferentes taxas de exposição do terreno. Na classe Cultura Anual/ Semiperene foram incluídos os cultivos que apresentam resposta espectral semelhante pela contribuição significativa do componente solo, devido estarem na fase de pós-colheita (mandioca, milho, arroz e feijão caupi), ou à forma de manejo cultural empregada (maracujá e pimenta-do-reino). A classe Cultura Perene relaciona-se à cultura do dendê, plantada em grandes áreas contínuas e com o amplo espaçamento (9 m x 9 m), sendo a sua resposta espectral correspondente à interação do dendê e do revestimento do solo.

As pastagens cultivadas foram estratificadas considerando as classes Pasto Limpo, referente às áreas recém-implantadas ou com baixo grau de infestação por invasoras; e Pasto Sujo, formada pelos estádios de degradação mais avançados, com presença de arbustos e palmeiras que, entretanto, ainda comportam o pastejo. Adicionalmente, foi definida a classe Solo Exposto, em geral ligadas as áreas que estão em preparo para implantação de atividade agropecuária, sendo caracterizada pelo predomínio da feição solo sobre os demais alvos. Informações mais detalhadas sobre as características das classes mapeadas podem ser encontradas em Watrin (1994).

A partir da manipulação dos dados e informações no *SIG*, foi realizada a quantificação de áreas das classes de cobertura vegetal e uso da terra, sendo os resultados obtidos para as imagens temáticas dos anos considerados apresentados na Tabela 1. Nas Figuras 2 e 3 pode ser observado o comportamento apresentado em

nível de participação percentual das classes de cobertura vegetal em relação as de uso da terra no mesmo período.

A área de estudo apresentou para os anos analisados como classe dominante a Sucessão Secundária Intermediária (capoeira de 7 a 12 anos de idade), sendo o Pasto Sujo a classe principal entre as unidades de uso da terra. Quando considera-se as áreas referentes à vegetação secundária, independente do

estádio de sucessão que se encontram, verifica-se que juntas as mesmas podem chegar a ultrapassar 73% da superfície do município, correspondendo, assim, a feição mais característica no contexto da paisagem. Por outro lado, as áreas revestidas com floresta primária apresentaram nas datas analisadas um valor relativamente baixo, sendo observado um decréscimo significativo para o ano de 1991.

Tabela 1 - Quantificação de áreas definidas pelas classes de cobertura vegetal e uso da terra em Igarapé-Açu, PA, nos anos de 1984 e 1991.

CLASSE	Área em 1984		Área em 1991	
	km ²	%	km ²	%
Floresta Ombrófila Densa	73,96	9,40	41,95	5,33
Suc. Sec. Avançada	165,50	21,04	139,82	17,78
Suc. Sec. Intermediária	254,70	32,39	247,42	31,46
Suc. Sec. Inicial	155,52	19,77	187,84	23,88
Solo Exposto	24,34	3,10	10,80	1,37
Pasto Sujo	60,62	7,71	107,69	13,69
Pasto Limpo	36,85	4,69	18,41	2,34
Cultura Perene	0,81	0,10	6,40	0,81
Cultura Anual/ Semiperene	14,18	1,80	26,15	3,33
TOTAL	786,48	100,00	786,48	100,00

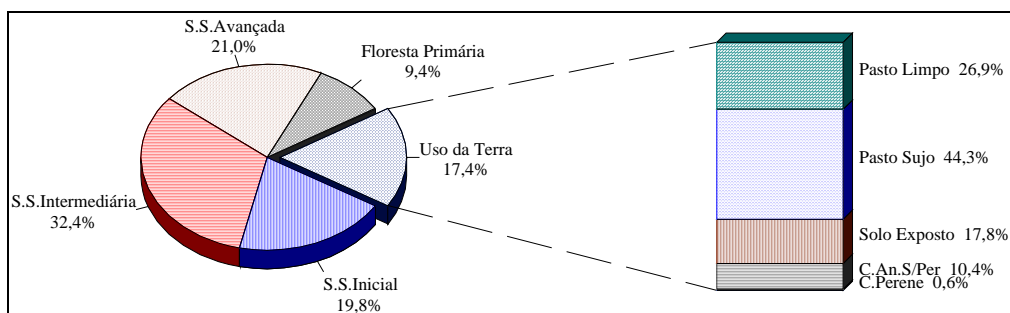


Fig. 2- Distribuição percentual das áreas referente às classes de cobertura vegetal e uso da terra em 1984.

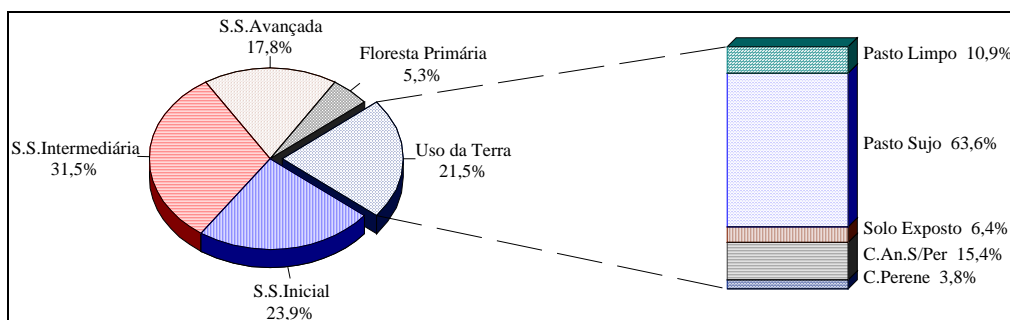


Fig. 3- Distribuição percentual das áreas referente às classes de cobertura vegetal e uso da terra em 1991.

Devido o predomínio de pequenos produtores na região, as restrições na detecção de áreas de cultivo muito reduzidas (roças) e o fato das culturas anuais estarem, muitas vezes, na fase de pós-colheita durante a

tomada das imagens, as áreas agrícolas foram pouco expressivas. Dentre as classes de uso da terra, foi verificado ainda que as áreas de solo exposto ocorrem também sempre em pequenas áreas, em oposição às

áreas revestidas com pastagens (Pasto Limpo e Sujo) que registram áreas bem mais significativas, com valores sempre superiores a 12% da área municipal.

A partir da análise da dinâmica das feições de interesse para o período considerado pode-se associar as atividades de uso da terra às mudanças ocorridas no contexto da cobertura vegetal. Foi observado que as unidades com as menores flutuações em termos de mudanças relacionavam-se às classes de sucessão secundária, sendo que as permanências ficaram entre o máximo para o estágio avançado e o mínimo para o estágio inicial. Isso explica-se pelo fato do estágio intermediário e principalmente, o inicial terem uma participação mais ativa como componente de pousio nas áreas agrícolas ou no processo de renovação das pastagens. Foram também registradas mudanças nas áreas de formações vegetais em virtude da evolução normal observadas no âmbito do processo sucessional.

Devido à atividade de uso do solo na área de estudo ser muito dinâmica, parte das ocorrências das classes de uso da terra foram posteriormente convertidas em capoeiras. Assim, a maior percentagem das áreas ocupadas pela classes Cultura Anual/Semi-Perene, Solo Exposto e Pastagem, foram convertidas para Sucessão Secundária Inicial e vice-versa. Foi observada ainda a permanência de uma parcela significativa com o mesmo tipo de exploração, ou mesmo uma alternância entre classes de uso, tais como, Pasto Limpo e Pasto Sujo. No caso da classe Cultura Perene verificou-se que as novas áreas foram implantadas substancialmente nos domínios das classes Sucessão Secundária Inicial ou Pasto Sujo, em uma tentativa de ocupar áreas muitas vezes improdutivas e diversificar as atividades econômicas.

5. Conclusões e Recomendações

. O trabalho de campo, através dos dados e informações obtidas (principalmente histórico de uso), mostrou-se imprescindível para explicar as variações observadas no comportamento espectral dos alvos a partir das imagens utilizadas.

. A individualização das diferentes formações vegetais, inclusive definição de estádios de sucessão secundária, deve-se ao sombreamento interno promovido pelas diferenças estruturais apresentadas pelas mesmas.

. A estratificação no contexto do uso da terra foi possibilitada não apenas pelas diferentes culturas e seus estádios de desenvolvimento, mas também, pelas diversas práticas culturais e de manejo utilizadas na região que promovem diferentes taxas de exposição do terreno.

. Para a dinâmica da paisagem foi observado que o estágio intermediário, e principalmente, o inicial da sucessão secundária apresentaram uma participação mais ativa como componente de pousio da pequena agricultura.

. Foi verificado, ainda, flutuações de área devido à evolução normal do processo sucessional, ou no caso das classes de uso da terra, pela alternância entre unidades. Uma parcela significativa das novas áreas agrícolas foram implantadas nos domínios das classes Sucessão Secundária Inicial ou Pasto Sujo.

. Seria valiosa a condução de estudos complementares utilizando em conjunto dados TM/Landsat e de outros sensores com resoluções espacial e espectral distintas, em outras áreas da Amazônia com formas de uso da terra diferenciadas.

Referências Bibliográficas

Brondízio, E. S.; Morán, E. F.; Mausel, P.; Wu, Y. Dinâmica da Vegetação do Baixo Amazonas : Análise Temporal do Uso da Terra Integrando Imagens Landsat-TM, Levantamento Florístico e Etnográfico. In : Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 10-14 maio, 1993. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1993, v. 2, p. 38-46.

Chavez Jr., P. S. An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data. **Remote Sensing of Environment**, 24 (3): 459-479, Mar. 1988.

Denich, M. **Estudo da Importância de uma Vegetação Secundária Nova para o Incremento da Produtividade do Sistema de Produção na Amazônia Oriental Brasileira**. (Tese de Doutorado) - Universidade George August de Göttingen (RFA), EMBRAPA/CPATU-GTZ, Eschborn, RFA, 1991. 284p.

Diniz, T. D. A. S. Caracterização Climática da Amazônia Oriental. In : Pesquisas sobre a Utilização e Conservação do Solo na Amazônia Oriental. **Relatório Final do Convênio EMBRAPA/CPATU-GTZ**. Belém, EMBRAPA/CPATU, 1986, p. 3-13. (Documentos, 40).

Mere, L. D. G.; Braga, R. E. G. Uso da Terra ao Redor da UHE Tucuruí-PA : Uma Análise Histórica. In : Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 11-15 out., 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988, v. 1, p. 64-77.

Moore, D. M.; Lees, B. G.; Davey, S. M. A New Method for Predicting Vegetations Distributions Using Decision Tree Analysis in a Geographic Information System. **Environmental Management**, 15 (1) : 59-71, 1991.

Morán, E. F.; Brondízio, E.; Mausel, P.; Li, Y. H. Assinaturas Espectrais Diferenciando Etapas de Sucessão Secundária no Leste Amazônico. In : Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 10-14 maio, 1993. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1993, v. 2, p. 202-209.

Morán, E. F.; Brondízio, E. S.; Mausel, P. Secondary Succession. **Research & Exploration**, 10 (4) : 458-476, 1994.

Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA 23 São Luiz e Parte da Folha SA 24 Fortaleza**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).

Sader, S. A.; Stone, T. A.; Joyce, A. T. Remote Sensing of Tropical Forests : An Overview of Research and Applications Using Non-Photographic Sensors. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 56(10) : 1343-1351, Oct. 1990.

Sano, E. E.; Watrin, O. S.; Funaki, R. S.; Medeiros, J. S.; Dias, R. W. O. **Levantamento do Uso Atual da Terra Através de Imagens TM/Landsat na Microrregião de Tomé-Açu e alguns Municípios das Microrregiões do Baixo Tocantins e Guajarina (PA)**. Belém, SUDAM-CHSRA/OEA, 1989. 67 p.

Saxena, K. G.; Tiwari, A. K.; Porwal, M. C.; Menon, A. R. R. Vegetation Maps, Mapping Needs and Scope of Digital Processing of Landsat Thematic Mapper Data in Tropical Region of South-West India. **International Journal of Remote Sensing**, 13 (11) : 2017-2037, Jul. 1992.

Susilawati, S.; Weir, M. J. C. GIS Applications in Forest Land Management in Indonesia. **ITC Journal**. (3) : 236-244, 1988.

Veiga, J. B.; Hebette, J. Produção Sustentada da Agropecuária Integrada. In : Simpósio Internacional sobre Meio Ambiente, Pobreza e Desenvolvimento da Amazônia, 1., Belém, 1992. **Anais**. Belém, PRODEPA, 1992, p. 280-284.

Venturieri, A.; Funaki, R. S.; Medeiros, J. S. Mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso da Terra na Região de Tucuruí Através da Classificação Digital Supervisionada de Imagens TM/Landsat. In : Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 24-29 jun., 1990. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1990, v. 1, p. 97-102.

Watrin, O. S. **Estudo da Dinâmica na Paisagem da Amazônia Oriental Através de Técnicas de Geoprocessamento**. (Dissertação de Mestrado) - INPE, São José dos Campos, 1994. 153 p. (INPE-5631-TDI/555).

Watrin, O. S.; Rocha, A. M. A. **Levantamento da Vegetação Natural e do Uso da Terra no Município de Paragominas (PA) Utilizando Imagens TM/Landsat**. Belém, EMBRAPA/CPATU, fev. 1992, 40 p. (EMBRAPA/CPATU, Boletim de Pesquisa, 124).