

Estudo do poder explicativo do fenômeno de desflorestamento em variados contextos de ocupação em Rondônia por um método de avaliação sinal-ruído

Alexandre Junqueira Homem de Mello

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Pós Graduação - Sensoriamento Remoto
Avenida dos Astronautas, 1.758 - Jd. Granja - CEP 12227-010
mello@dsr.inpe.br

Resumo. Buscou-se analisar para quatro contextos diferentes de ocupação em Rondônia, o erro associado a uma classificação supervisionada Maxver em áreas desflorestadas. A metodologia empregada analisa o erro dentro do contexto explicativo do fenômeno a ser estudado, sendo assim, a relação do erro com um dado de informação terrestre traduz-se como uma relação sinal-ruído para cada contexto fundiário.

Após inúmeros tratamentos do erro com o fenômeno a ser estudado (desflorestamento), observou-se que em áreas de pequena propriedade o poder explicativo tende a ser muito pequeno pela baixa relação sinal ruído encontrada. O resultado obtido neste estudo demonstra a importância de incorporação de uma análise contextual do erro para estudos de mudança de uso da terra.

Palavras-Chave: poder explicativo, Landsat, classificação supervisionada, erro, classification error, ancillary data.

1. Introdução

A história de ocupação do solo amazônico serve muito bem para explicar algumas das causas dos problemas sociais e ambientais encontrados na região. A distribuição de terras desigual, desde o início de sua colonização, fez da Amazônia o grande centro latifundiário do país.

Ainda são poucos os estudos que relacionam a estrutura fundiária com o processo de desmatamento. Alguns avaliam o processo de forma indireta por métodos de regressão, e outros por métodos de cruzamento de informação espacial. Fearnside (1993) foi um exemplo de trabalho que mostrou indiretamente uma forte correlação entre os dados de tamanho de propriedade do censo e a extensão das áreas de corte. Mais recentemente, Alves (2002) e Fearnside (2001) avaliaram a distribuição das manchas de desflorestamento e constataram que, cerca da metade delas são contínuos de, no mínimo, 100ha, uma escala de atividade que excede em pelo menos 20 vezes o que um pequeno produtor consegue desmatar em um ano com mão de obra familiar. No mesmo estudo, Alves (2002) estima que para uma região de pequena propriedade ao longo da transamazônica, cerca de 62% do desflorestamento ocorreu em áreas menores que 50ha. Portanto, já se observa um forte indício de relação entre desflorestamento e tamanho de propriedade.

Com base nas diferenças espaciais e dos vários modos de ocupação amazônica e a necessidade da interligação deste conhecimento com o fenômeno de desflorestamento, procurou-se avaliar a variação regional do poder explicativo deste fenômeno pela utilização de um método de classificação supervisionado. Espera-se que através do conhecimento da dispersão do erro de classificação em cenários distintos de ocupação e sua relação com o incremento de desflorestamento métodos de análise eficientes e específicos poderão ser desenvolvidos em cada cenário fundiário distinto.

2. Materiais e métodos

Utilizaram-se quatro recortes distintos de uma imagem Landsat relativa à cena 231/67, originalmente pré-processada por Alves et al. (1999) da região centro-norte de Rondônia no ano de 1994. Cada recorte limita uma área de mais ou menos 600km² caracterizadas por diferentes

formas de ocupação e recorte da paisagem, daqui por diante denominadas de Anari, Burareiro, Grande e Machadinho.

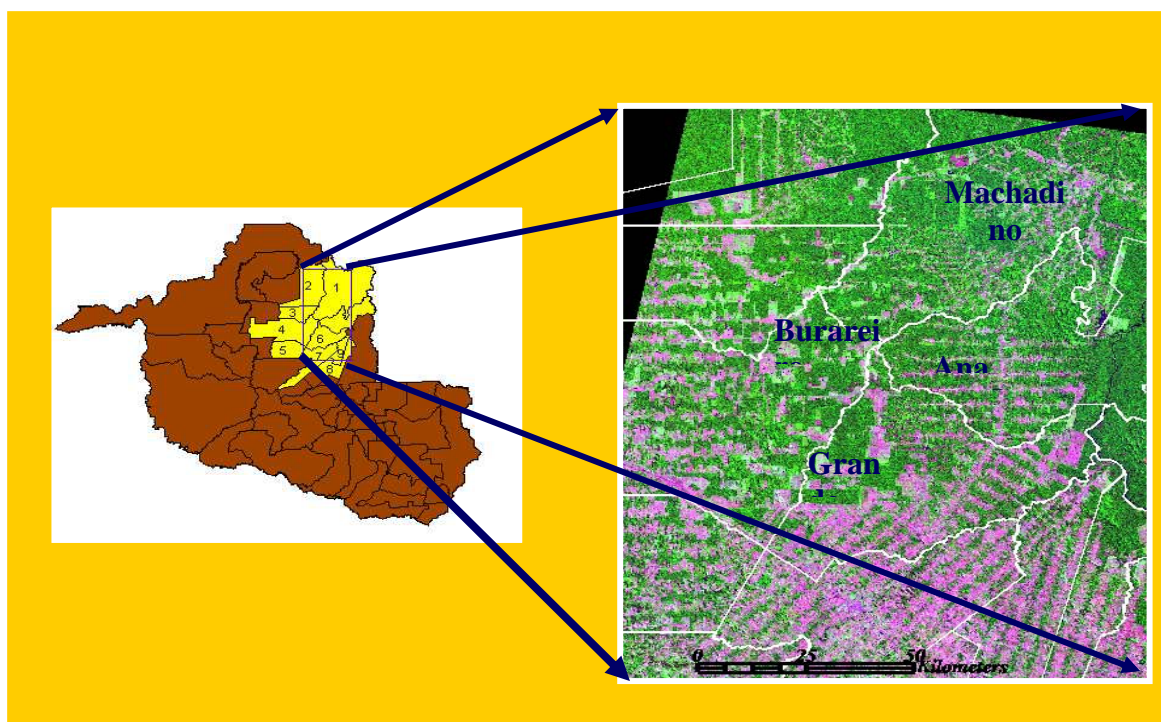


Figura 1 - Imagem Landsat sem ser recortada

As primeiras duas imagens amostram duas diferentes áreas de assentamento implementadas pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) no ano de 1984 (Escada 2003). Inicialmente foram utilizadas composições coloridas (453) para uma análise visual e interpretativa das imagens. Na composição “Anari” e “Machadinho” (**Figura 2**) (**Figura 3**) observa-se em regiões de pequena propriedade um cenário de grande heterogeneidade nas reflectâncias, principalmente nas áreas de pasto e áreas em regeneração. Entretanto, mesmo aparentando uma diversidade espectral semelhante, essas duas áreas apresentam desenhos diferentes de ocupação.

Como amostras de áreas desflorestadas por processos de uso na forma de média ou grande propriedade, foram escolhidas duas regiões adjacentes da região de Burareiro, denominadas de “Burareiro” e “Grande” (**Figura 4**) (**Figura 5**). Do contrário das áreas de pequena propriedade, estas apresentaram uma distribuição mais homogênea da reflectância mostrando uma menor variabilidade de coberturas na sua paisagem.



Figura 2 – Composição colorida Anari (543) Figura 3 – Composição colorida Machadinho (543)



Figura 4 – Composição colorida Burareiro (543) Figura 5 – Composição colorida Grande (543)

Após a seleção e o recorte da imagem, o primeiro passo foi escolher uma classificação que pudesse minimizar bastante o erro. Para tal, utilizou-se o método supervisionado de classificação pixel a pixel baseado em amostras de treinamento. A escolha dessas amostras foi similar em todas as áreas. Com o conhecimento a priori dos valores de reflectância de alvos nas três bandas espectrais do Landsat-TM (3,4,5) escolheram-se áreas homogêneas nas imagens que correspondessem a áreas de desflorestamento ou floresta. Esse procedimento foi implementado através do programa de processamento e visualização de imagens Envi v3.5. Com base nas informações espectrais das amostras, desenvolveu-se uma função de densidade de probabilidade do tipo gaussiana para as classes “floresta” e “não floresta”. A partir da função de probabilidade e a representação desta no espaço bidimensional, atribuiu-se aos pixels a classe com maior probabilidade de ocorrência através do método da máxima verossimilhança (**Figura 6**). Como resultado deste método estatístico de geração de classes esperou-se atingir uma classificação mais confiável por basear-se não apenas na estimativa de uma média para classe, como também na forma ou espalhamento da função de distribuição de probabilidades de cada classe no espaço de atributos (Mather 1999).

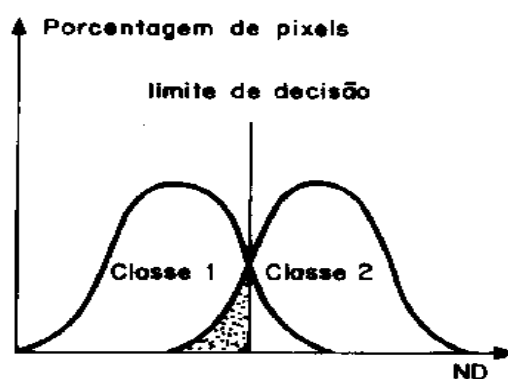


Figura 6 – Função de densidade de probabilidade

Após a classificação dos pixels em cada uma das imagens, utilizou-se de uma máscara 3x3 para um melhor agrupamento das classes e uma diminuição do erro de classificação. O filtro trabalha de forma simples como uma janela de dimensão 3x3 que percorre a imagem nas linhas e colunas atribuindo ao pixel central da janela a classe com maior representatividade entre os nove pixels da janela. Pode-se dizer também que esse método de suavização de classes utilizado no período de pós-classificação gera um produto que considera a vizinhança entre pixels como fonte de refinação da classificação implementada.

Para cada uma das regiões é gerado um mapa temático dividido por áreas de “floresta e” não floresta “. Munido deste mapa de classificação, o próximo passo foi cruzar estas classes com uma informação de verdade terrestre numa mesma data para obtenção do erro de classificação. Para gerar este resultado, foi usado um mapa de classificação criado por Escada (2003). Escada (2003) utilizou um procedimento de classificação similar ao PRODES (Programa de Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia Brasileira), no qual, através de um modelo limiar de mistura, classificam-se áreas de floresta e não-floresta baseando-se em informações de fração solo, vegetação e sombra. Pelo motivo de Escada ter realizado um trabalho profundo na área e ter utilizado um método de classificação acatado e divulgado pelo PRODES, atribuiu-se a este mapa um status de referência da "verdade terrestre". Entretanto, é importante destacar, que a pesquisadora não efetuou nem validou sua classificação com dados de campo, podendo assim, estar sujeito a erros. Através de uma matriz de confusão entre o mapa de Escada (2003) e o mapa classificado pôde-se obter a quantidade e a localização de pixels classificados erroneamente como (não-floresta/floresta) ou (floresta/não-floresta).

O estudo da relação sinal-ruído neste trabalho considera o ruído como o erro de classificação e o sinal, ou fenômeno a ser estudado, como o incremento de desflorestamento. Portanto, o incremento do desflorestamento na região passa a ser o processo a ser considerado e é nele que toda a análise sinal (incremento de desmatamento)/ruído (erro de classificação) está fundamentada.

O procedimento de avaliação desta relação se deu através do cruzamento do mapa recém classificado com a classe “erro” e o mapa temático de Isabel (2003), neste caso levando em consideração apenas a classe de incremento, denominada “incremento_94” (**Figura 7**) (**Figura 8**).

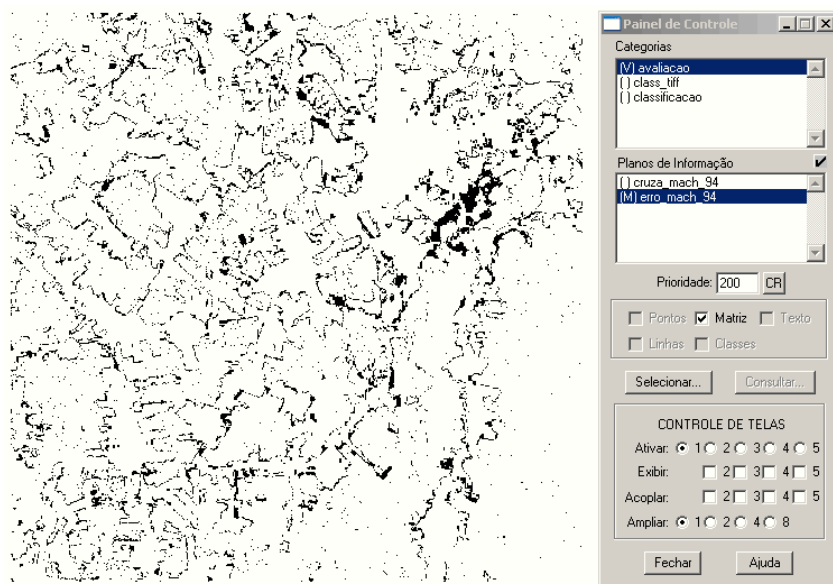


Figura 7 – Mapa de Erro de Anari (1994)

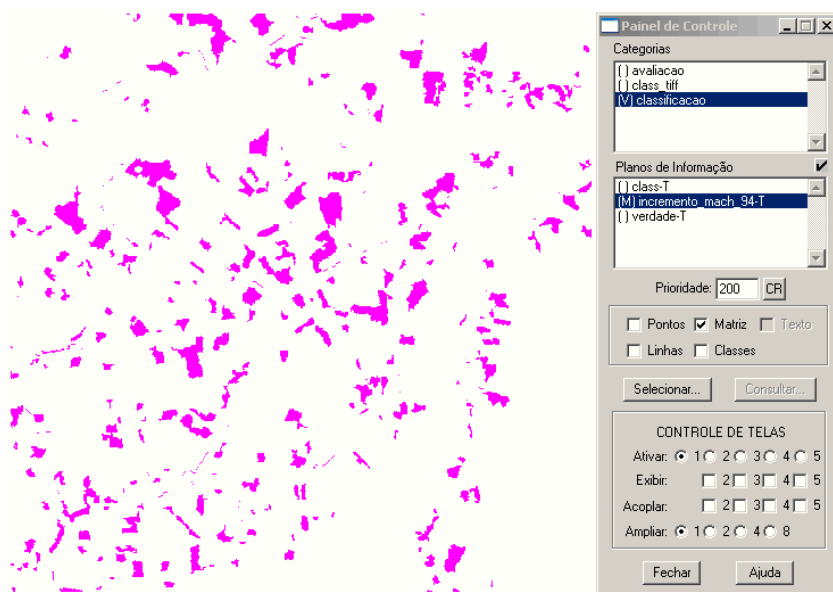


Figura 8 – Mapa do Incremento observado por Escada (2003) para o ano de 1994

Inicialmente, para relacioná-los de forma global e sem comprometer-se com a localização do ruído em relação ao sinal, comparou-se apenas o tamanho de áreas classificadas como erro com o tamanho do incremento de desflorestamento. Foram assim calculados valores em tamanho de área de incremento de desflorestamento e ruído para cada uma das regiões. O valor numérico utilizado para traduzir a relação global entre o sinal e o ruído foi obtido através da divisão do ruído pelo sinal, onde um valor próximo ou maior que o valor numérico “um” traduz um fraco poder explicativo do fenômeno. Para comparar o “sinal/ruído” com um índice de desempenho de classificação foram calculados coeficientes Kappa em todas regiões de estudo. A variação desse coeficiente para cada cenário de avaliação sinal/ruído serviu para analisar situações em que mesmo obtendo bons índices de classificação ainda exista uma baixa relação “sinal/ruído”.

Como segunda forma de estudo da geração de erro no processo de estudo do fenômeno desflorestamento, procurou-se entender como essa relação se desenvolveu nas diferentes formações espaciais observadas no mapa de incremento e de erro. O espaço, ou melhor dizendo, os agrupamentos espaciais das áreas de erro e incremento passam a ser importante na análise

pois ajudam a indicar escalas espaciais de análise em que o erro passa a ter maior ou menor importância. Para a realização desta tarefa foram utilizados os valores médios de área dos polígonos de ambos os mapas de incremento e erro. Este valor representa o tamanho médio de cada agrupamento gerado isoladamente para cada tipo de formação espacial estabelecida nas classes “erro” e “desflorestamento”. Nesta parte da análise de “sinal/ruído” procurou-se comparar as três regiões através da relação de proximidade do tamanho das áreas classificadas como “erro” com o tamanho das áreas classificadas como “incremento”.

Uma última avaliação do erro nas diferentes áreas concluiu-se através do resultado temático do cruzamento entre o mapa de erro e o mapa de incremento. Neste caso, procurou-se estipular um grau de relevância do erro em cada uma das regiões através do cálculo da porcentagem de pixels da classe “erro”, encontrado em áreas de incremento do desflorestamento.

3.1 Análise do erro I

A análise global da relação “sinal/ruído” mostrou categoricamente que para as quatro regiões analisadas o ruído ficou muito próximo do sinal.

Avaliação Global da relação “Sinal/Ruído”				
Área de estudo	Sinal (pixels)	Ruído (pixels)	Ruído/Sinal	Kappa
Anari	27878	27708	0,99	0,82
Machadinho	26926	28454	1,06	0,83
Burareiro	23376	17780	0,76	0,86
Grande	14970	12709	0,85	0,89

Analisando as diferenças e semelhanças de região para região na tabela acima, nota-se primeiramente que o ruído sofreu grande alteração entre uma localidade e outra. Lembrando que “Anari” e “Machadinho” representam áreas de pequena propriedade (<50ha), e “Burareiro” e “Grande” média e grande propriedade, fica fácil observar a semelhança do ruído entre áreas de uma mesma estrutura fundiária. Outro dado importante a ser levantado é que o ruído global observado nas áreas de pequena propriedade foi bastante elevado comparado com as duas áreas de grande propriedade. Lembrando que áreas de assentamento em forma de pequena propriedade apresentam uma diversidade de uso da terra superior e conseqüentemente uma variabilidade maior em reflectância, não é surpresa o classificador gerar mais erros nessas áreas. Portanto, nesta análise do erro, verificou-se bem expressiva a influência da heterogeneidade local na geração de erro para o classificador estudado.

Na comparação do coeficiente Kappa com a relação sinal/ruído observou-se que nas áreas com melhor sinal/ruído o coeficiente foi mais alto. Para as duas regiões de pequena propriedade, com sinal/ruído altos, a avaliação de classificação foi pior. Este resultado mostrou claramente de que forma o erro interferiu no resultado da análise de qualidade da classificação. É interessante analisar também que mesmo observando situações com coeficientes Kappa alto, o poder explicativo do fenômeno analisado pode ser baixo pela proximidade entre o ruído e o sinal.

3.2 Análise do erro II

Nesta parte da análise, a formação espacial dos erros e dos incrementos passaram a ser considerados na análise através da interpretação do tamanho médio dos polígonos nestas duas classes. De forma semelhante a anterior, estabeleceu-se uma relação de proximidade do sinal e do ruído na qual um valor de área no tamanho dos polígonos de erro próximo ou maior que o do incremento mostraria um baixo poder explicativo do fenômeno. Para estudar esta relação, dividiu-se o valor médio do tamanho das áreas de erro pelo valor médio do tamanho das áreas de

incremento, para assim obter um valor matemático que mostrasse a proporção dos aglomerados do ruído em função dos aglomerados do sinal.

Avaliação da relação “Sinal/Ruído” por tamanho de área			
Área de estudo	Erro	Incremento	Tm médio - Erro %
	Tam médio do polígono (ha)	Tm médio do polígono (ha)	Tm médio - Incremento
Anari	0,45	8,15	5,5
Machadinho	0,44	5,33	8,2
Burareiro	0,8	26,63	3,0
Grande	0,46	33,68	1,4

Observando a tabela acima, temos como resultado que nas áreas de “Anari” e “Machadinho” o tamanho médio dos aglomerados de erro é significativo em relação ao do incremento, chegando a atingir um valor proporcional de quase 10%. Por outro lado, para as áreas de “Burareiro” e “Grande” essa proporção não foram tão altas. Analisando a tabela em mais detalhe nota-se que o tamanho médio dos aglomerados de erro mantêm-se quase iguais nas quatro regiões podendo-se dizer que foram os dados de incremento os causadores da mudança da relação “sinal/ruído”.

Um valor alto nesta proporção nas duas áreas de pequena propriedade demonstrou uma diminuição do sinal em relação ao ruído, ou seja, nestas áreas, mais uma vez pode ser demonstrado uma atenuação do poder explicativo do fenômeno relacionando aglomerados de erros e de incrementos de desflorestamento.

3.3 Análise do erro III

Nesta parte da análise avaliou-se o grau de importância de uma determinada relação "sinal/ruído" através da observação da concentração de pixels erroneamente classificados em áreas de explicação do fenômeno, melhor dizendo, nas áreas de incremento de desflorestamento.

Avaliação de relevância do Erro			
Área de estudo	Número total de pixels	Número de pixels em áreas de incremento	Porcentagem de erro em áreas de incremento
Anari	27708	6281	22,7
Machadinho	28454	3954	13,9
Burareiro	17780	1491	8,4
Grande	12709	795	6,3

Observando os valores de porcentagem de erro em áreas de incremento pode-se dizer novamente que os erros de classificação tenderam a se concentrar numa maior porcentagem em áreas de incremento nas duas situações de pequena propriedade. Um valor alto na região de Anari demonstrou que para aquela específica configuração local, o erro tendeu a se concentrar numa região geográfica importante na análise.

Esta relação serviu como indicação de que em estudos que avaliam incremento de desflorestamentos, a variabilidade da configuração espacial dos tipos de coberturas observadas numa imagem, interferem na forma de distribuição dos erros de classificação.

4. Comentários e conclusão

Este estudo mostrou-se bastante eficaz na condução de uma metodologia de análise do erro de um classificador relacionando com o tipo de fenômeno analisado. Através da relação sinal ruído

entre o erro e o fenômeno, pôde-se avaliar mais profundamente o grau do poder explicativo de um método de classificação e sua variação em áreas com desenhos espaciais e contextos fundiários diferenciados.

Como primeiro resultado, observou-se que em áreas com usos mais heterogêneos, o erro estimado pelo classificador tendeu a ser mais alto, enfraquecendo o poder explicativo do fenômeno. Por outro lado, em áreas de grande propriedade, mais homogêneas, o erro de classificação diminuiu, melhorando assim o poder explicativo do fenômeno.

Como segundo resultado importante, verificou-se também, que mesmo levando em conta o tamanho médio das áreas de erro e das áreas de desflorestamento, a relação "sinal/ruído" para áreas de grande propriedade foi melhor, pois o sinal (tamanho médio das áreas desflorestamento), tendeu a ser bem mais alto para estas áreas em relação às áreas de pequena propriedade.

Numa terceira parte verificou-se que para as regiões de pequena propriedade, houve uma maior tendência do erro concentrar-se em áreas representativas do fenômeno estudado levando mais uma vez a acreditar em numa maior incerteza nessas áreas.

A questão do uso da terra ligada a suas conseqüentes formas de consumo de recursos deve ser analisada dentro dos seus variados contextos e escalas. Para o entendimento das diversas realidades locais e melhor dizendo, o relacionamento entre as especificidades locais e o fenômeno do desflorestamento, uma melhor caracterização na relação "sinal/ruído" se vê necessária tendo em vista os múltiplos resultados obtidos neste estudo. Mais precisamente em áreas de pequena propriedade, esta relação se mostrou bastante fraca, colocando em risco assim um aprofundamento da pesquisa da dinâmica de uso da terra em regiões com esse perfil. Para um melhor aproveitamento da pesquisa, ou poder explicativo do fenômeno, se vê necessário uma maximização na relação "sinal/ruído" nesta escala de trabalho.

5. Agradecimentos

Agradeço Maria Isabel S. Escada e Diógenes Salas Alves pelo empréstimo das imagens e pela ajuda no decorrer do trabalho.

6. Referências bibliográficas

- Alves, D.S. 1999.; Pereira, J.L.G.; Souza, C.L.; Soares, J.V.; Yamaguchi, F. Characterizing landscape changes in central Rondônia using Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing** 20 (14): 2877-2882.
- Alves, D.S. 2002. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing** 23: 2903-2908.
- Escada, M.I.S. 2003. **Evolução dos padrões de uso e cobertura da terra na Região Centro-Norte de Rondônia**. São José dos Campos: INPE. (Tese de doutorado)
- Fearnside, P.M. 1993. Deforestation in Brazilian Amazônia: The effect of population and land tenure. **Ambio** 22 (8): 537-545.
- Fearnside, P.M. 2001. Land-tenure issues as factors in environmental destruction in Brazilian Amazonia: The case of southern Pará. **World Development** 29 (8): 1361-1372.
- Mather, P. 1999. **Computer processing of remotely-sensed Images**: an introduction. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Nicholaidis III, J.J.; Sanches, P.A.; Band, D.E.; Villachica, J.H.; Coutu, A.J & Valverde, C.S. 1983. Crop Production Systems in the Amazon Basin. In: Moran, E.F. **The Dilemma of Amazonian Development**. Boulder: Westview Press.
- Seduc/Idesp. 1989. **Estudos e problemas amazônicos**: história social e econômica e temas especiais. Belém.