

Análise espectral de florestas secundárias com imagens Landsat

Sâmia Serra Nunes¹
Carlos Souza Júnior¹
Hilton Thadeu Zarate do Couto²

¹ Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon
Caixa Postal 5101 - 66060-160 - Belém - Pa, Brasil
{samianunes, souzajr}@imazon.org.br

² Universidade de São Paulo - USP/ESALQ
Caixa Postal 9 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil
htzcouto@esalq.usp.br

Abstract. Abandonment of land use areas established in cleared old growth forests can generate secondary forest succession resulting in secondary growth forests. Because of its importance in providing ecological benefits, such as biomass accumulation and reducing landscape fragmentation, specially when long-term growth is allowed, mapping stages of secondary growth became key in the Amazon region to better understanding land use and land cover change processes. Landsat imagery is the most largely used imagery for that purpose due to its adequate spatial resolution, spectral response and historic availability. However, a few studies have assessed the spectral characteristics of secondary growth using a long chronosequence (i.e., > 25 years) combined with forest transects and rigorous statistical analysis. The objectives of this study are: i) evaluate whether secondary growth age classes can be discriminated in Landsat images and ii) define the best set of spectral features that allow the discrimination of secondary growth. To do that, we used statistical tests to compare reflectance images and the vegetation index NDVI. The statistical analysis showed that it was possible distinguish primary forest from most age classes of secondary growth using one or a combination of spectral features evaluated in this study. These results hold promises to use Landsat imagery spectral features to characterize biophysical properties of secondary growth, and to map age classes. More advanced techniques such as spectral mixture models may also improve the spectral separability of second growth age classes and are being investigated by our research group.

Palavras-chave: secondary forest, secondary growth, remote sensing, Landsat, Amazon, florestas secundárias, sensoriamento remoto, Landsat, Amazônia.

1. Introdução

O abandono de áreas destinadas ao uso da terra pode gerar processos sucessionais que dão origem às florestas secundárias. Isso pode acontecer também em florestas após sofrerem distúrbios naturais (queda de árvores pela ação de ventos). A sucessão é a mudança na composição e estrutura da comunidade florística ao longo do tempo e começa quando um distúrbio, antrópico ou natural, é seguido pela colonização por plantas da área perturbada. Esta comunidade vegetal, que cresce em seguida ao distúrbio, é chamada de vegetação secundária, sendo um meio de renovação das florestas tropicais (Attanasio et al., 2006; Kageyama, Castro, 1989; Klein, 1980).

As florestas secundárias estão crescendo rapidamente nos trópicos, sendo responsáveis por diversos benefícios ecológicos, principalmente quando é possível a regeneração em longo prazo, como: acúmulo de biomassa (Zarim et al., 2001; Brown, Lugo, 1990) e servindo de corredores ecológicos para o fluxo de fauna e flora e aumentando a conectividade entre fragmentos florestais (Attanasio, 2008; Attanasio et al., 2006; Rodrigues e Gandolfi, 2000). Portanto, A caracterização das florestas secundárias através de inventários de campo e sensoriamento remoto tornou-se relevante.

O sensoriamento remoto tem sido usado para estimar características biofísicas das florestas (Steininger, 1996) e, recentemente, um mapeamento de larga escala realizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) apontou que 18,4% das áreas desmatadas na

Amazônia Legal, detectadas pelo PRODES-2007 (Sistema de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal), já estão em processo de regeneração.

O estudo ressalta que somente o estado do Pará corresponde a 40% de toda a área de floresta secundária mapeada (Almeida et al., 2009). Porém, este trabalho não considera as diferentes idades de florestas. Esta informação é importante, pois a taxa com a qual o carbono é sequestrado varia amplamente com a idade da floresta. Além da idade, fatores como diferentes trajetórias no uso do solo e histórico de uso (e. g. número de cortes rasos) influenciam diretamente no acúmulo de biomassa e carbono por florestas secundárias. Por isso a necessidade de se analisar um ampla cronosequência dos dados (Nelson et al., 2000).

Imagens Landsat, por apresentarem resolução espacial adequada (30m) e alta disponibilidade de dados históricos, têm sido amplamente utilizadas no monitoramento de florestas secundárias na Amazônia. Porém, a maioria dos estudos na Amazônia, baseados em sensoriamento remoto, são localizados. Um exemplo é o trabalho de Nelson et. al. (2000) que utilizaram classificação supervisionada em uma série histórica de sete imagens Landsat-TM para estimar biomassa, idade e histórico de uso da terra em florestas secundárias de Rondônia. Alves et al. (2009) identificaram padrões e trajetórias de mudanças no uso e cobertura do solo na Amazônia, incluindo a formação de florestas secundárias, por meio de imagens Landsat e dados de campo.

Entretanto, poucos estudos têm avaliado as características espectrais de florestas secundárias usando ampla cronosequência (e. g. > 25 anos) combinada com inventário florestal e análises estatísticas. Desta forma, os objetivos deste estudo são: (i) avaliar se é possível diferenciar classes de idades de florestas secundárias usando imagens Landsat na região leste do Pará, no município de Paragominas; e (ii) definir o melhor conjunto de dados espectrais que permitem a discriminação entre as classes de idades de florestas secundárias.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Paragominas, a nordeste do Estado do Pará, leste da Amazônia Brasileira, a 320 km da cidade de Belém. O município possui uma área de 19.309,9 km² (Pará, 2008). A Figura 1 mostra a localização das seis áreas de interesse deste estudo onde foram coletados os dados do inventário florestal. São cinco diferentes idades de florestas secundárias e uma floresta primária.

O histórico econômico de Paragominas resultou em uma área desmatada e/ou degradada em 2008 que cobre 45% da área total do município (Pinto et al., 2009). Por isso, em 2007 Paragominas foi incluído na lista dos 36 municípios que mais desmatam na Amazônia (Brasil, 2008). Porém, devido à política de combate e controle do desmatamento, em 2010 o município foi retirado da lista. Isso mostra a necessidade de investimentos em monitoramento das florestas e na recuperação de áreas degradadas.

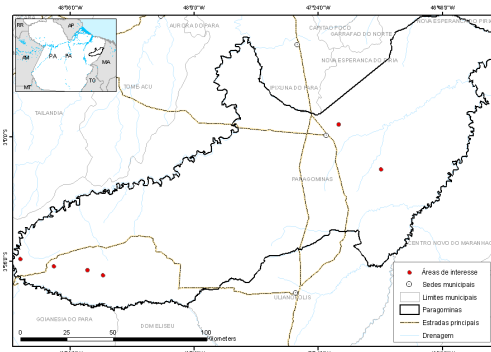


Figura 1. Área de estudo mostrando a localização das florestas estudadas, onde foi realizado o inventário florestal. Paragominas, Pa.

2.2 Aquisição dos dados

2.2.1 Imagens Landsat

Neste estudo, foram utilizadas imagens dos sensores *Landsat Thematic Mapper* - TM e *Landsat Enhanced Thematic Mapper* - ETM (30 metros de resolução espacial) fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. A Tabela 1 mostra uma série temporal de 21 anos, entre 1987 e 2008, das imagens Landsat utilizadas.

Tabela 1. Imagens Landsat utilizadas na região de estudo.

Ano	223/62		223/63		222/62		Ano	223/62		223/63		222/62	
	Data	Sensor	Data	Sensor	Data	Sensor		Data	Sensor	Data	Sensor	Data	Sensor
1987	17/5/1987	TM	6/9/1987	TM	26/5/1987	TM	1998	-	-	36026	-	36035	TM
	6/9/1987												
1988	22/7/1988	TM	22/7/1988	TM	31/7/1988	TM	1999	13/7/1999	ETM	22/8/1999	TM	14/7/1999	TM
1989	10/8/1989	TM	27/9/1989	TM	20/9/1989	TM	2000	31/7/2000	ETM	31/7/2000	ETM	6/6/2000	ETM
1990	28/7/1990	TM	25/5/1990	TM	-	-	2001	3/8/2001	ETM	3/8/2001	ETM	4/8/2001	TM
1991	16/8/1991	TM	31/7/1991	TM	24/7/1991	TM	2002	7/9/2002	ETM	7/9/2002	ETM	28/6/2002	ETM
1992	2/8/1992	TM	2/8/1992	TM	-	-	2003	16/7/2003	TM	16/7/2003	TM	-	-
1993	2/6/1993	TM	5/8/1993	TM	-	-	2004	15/5/2004	TM	15/5/2004	TM	15/10/2004	TM
1994	23/7/1994	TM	7/7/1994	TM	18/9/1994	TM	2005	6/8/2005	TM	6/8/2005	TM	31/8/2005	TM
1995	8/6/1995	TM	8/6/1995	TM	-	-	2006	9/8/2006	TM	9/8/2006	TM	15/6/2006	TM
1996	25/5/1996	TM	10/6/1996	TM	5/7/1996	TM	2007	13/9/2007	TM	25/6/2007	TM	-	-
1997	15/7/1997	TM	28/5/1997	TM	-	-	2008	14/8/2008	TM	13/7/2008	TM	20/6/2008	TM

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Nota: Sinal convencional utilizado:

- Dado numérico igual a zero não resultante de arredodamento

2.2.2 Inventário Florestal e Caracterização das Áreas de Interesse

Após a análise temporal das imagens Landsat e da verificação das áreas em campo, foi possível identificar a idade das florestas estudadas. Foram selecionados seis tipos de florestas: secundárias de 4, 10, 15, 20 e 25 anos de idade, mais uma floresta primária. Em seguida foi realizada a demarcação de parcelas experimentais, embasado na metodologia de amostragem aleatória, para posterior inventário florestal. Foram instaladas 48 parcelas, sendo 8 parcelas para cada idade de floresta.

O tamanho destas parcelas foi de 10m x 150m (1500m²), adaptado de Higuchi et al., (1982). Foram então coletadas as coordenadas geográficas dos quatro vértices de cada parcela com um GPS Garmim e alocados sobre a imagem de 2008, utilizando o *software* ArcGis 9.1. A Figura 2 mostra o exemplo de demarcação das parcelas em uma imagem. Segundo observações feitas em campo, tanto nas parcelas como em seu entorno, foi realizada uma caracterização geral dos seis tipos de floresta estudados (Tabela 2).

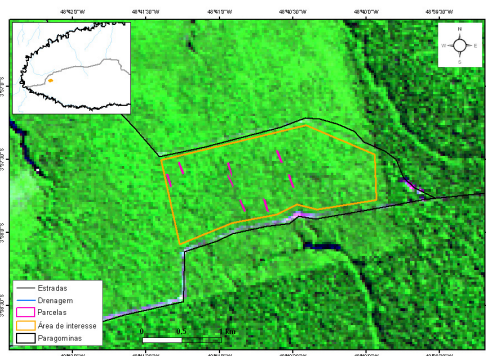


Figura 2. Localização de oito parcelas experimentais na área de floresta secundária com 25 anos de idade.

Tabela 2. Caracterização geral das áreas de interesse.

Floresta	Histórico	Entorno	Características gerais
4 anos	Pasto abandonado	100% pasto	algumas árvores de pequeno porte, predominância de capim, muitos cipós, ausência de palmeiras.
10 anos	Pasto abandonado	50% flor. secundária antiga; 25% flor. secundária recente; 25% pasto	predominância de árvores de pequeno-médio porte, muitos cipós e capim, poucas palmeiras.
15 anos	Pasto abandonado	75% flor. secundária de 15 anos; 25% plantio recente (<1ano)	predominância de árvores de grande-médio porte, poucos cipós e capim, poucas palmeiras.
20 anos	Pasto abandonado	50% flor. secundária com exploração predatória; 25% pasto; 25% milho	predominância de árvores de médio porte, muitos cipós, ausência de capim, poucas palmeiras.
25 anos	Pasto abandonado	75% flor. secundária de 25 anos; 25% flor. antiga com exploração manejada	predominância de árvores de grande-médio porte, poucos cipós, ausência de capim, poucas palmeiras.
Intacta	Pasto abandonado	100% floresta antiga com exploração manejada	predominância de árvores de grande porte, poucos cipós, ausência de capim, poucas palmeiras.

2.3 Processamento das Imagens

As imagens passaram por processamentos digitais para facilitar a identificação da idade das florestas secundárias e para extrair as informações quantitativas necessárias para a comparação espectral entre as diferentes idades. A sequência de processamento das imagens encontra-se descrita abaixo:

a) Registro e Georreferenciamento: as imagens Landsat ETM+ adquiridas em 2000 foram georreferenciadas à imagem *GeoCover* 2000 da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), disponível no site <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>. Após o georreferenciamento, as outras imagens da série temporal foram registradas tendo como base a imagem georreferenciada.

b) Correção de neblina e fumaça: todas as imagens passaram por um processo de correção de neblina e fumaça, usando o método proposto por Carlotto (1999) e implementado em IDL (*Interactive Data Language*) por Souza Júnior¹ (informação pessoal).

c) Correção atmosférica: as imagens de 2008 foram radiometricamente corrigidas, utilizando os valores de calibração (*gains* e *offsets*) do sensor ETM+ disponíveis no site <http://landsat7.usgs.gov/cpf/cpf.php>. Posteriormente, as imagens em radiância foram convertidas para reflectância absoluta, utilizando o programa ACORN (*Atmospheric Correction Now*) 4.0.

d) NDVI: este índice foi calculado para as imagens de 2008. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974), varia de -1 a +1; valores mais altos de NDVI são associados ao maior vigor e densidade da cobertura vegetal (Lourenço e Landim, 2004).

2.4 Análise espectral dos dados e diferenciação entre as classes

Os testes estatísticos utilizados no estudo permitem a comparação entre as classes de floresta nas diferentes imagens analisadas, possibilitando identificar em qual banda espectral ou imagem é possível diferenciar estas classes. Foram comparados, para as seis classes de floresta observadas, as seis bandas da imagem em reflectância e o índice de vegetação NDVI.

O cálculo da média e desvio padrão foi feito para as imagens Landsat de 2008 das órbitas-ponto 223/62 e 222/62. Para comparar as médias entre as populações (classes de floresta), os valores dos pixels foram analisados por meio do programa SAS 9.1, aplicando-se o teste Tukey (para dados com distribuição normal), com 95% de intervalo de confiança ($P < 0,05$). Para os valores sem distribuição normal, foram realizadas transformações exponenciais com diferentes parâmetros indicados pelo Box-Cox, com o objetivo de converter os dados para uma distribuição normal.

¹ SOUZA JÚNIOR, C. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2006.

Para a floresta secundária de 4 anos, foram excluídas da análise 4 parcelas (20 pixels), pois ficaram localizadas em áreas na imagem com sombra de nuvem, o que poderia influenciar nas análises e na interpretação dos resultados. Desta forma, os testes estatísticos descritos acima foram realizados para um total de 220 pixels (40 pixels por área) excluindo os 20 pixels não contaminados da floresta de 4 anos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise espectral dos dados e diferenciação entre as classes

Foram selecionadas cinco classes de florestas secundárias (4, 10, 15, 20 e 25 anos) e uma classe de floresta primária (intacta). Foram comparados reflectância e NDVI entre todas as classes. A Tabela 3 abaixo mostra os resultados da análise estatística para a separação entre elas.

Tabela 3. Médias e desvios padrão da reflectância e NDVI da floresta intacta e das cinco classes de floresta secundária. Números fora e dentro dos parênteses representam a média e desvio padrão, respectivamente. B1, B2, B3, B4, B5 e B7 são as bandas espectrais da imagem de reflectância.

B1 (%)	B2 (%)	B3 (%)	B4 (%)	B5 (%)	B7 (%)	NDVI	B1 (%)	B2 (%)	B3 (%)	B4 (%)	B5 (%)	B7 (%)	NDVI
(a) Floresta Intacta							(d) Floresta Secundária - 15 anos						
1,13D (0,10)	2,91C (0,23)	1,77D (0,16)	28,77D (3,01)	11,43D (0,92)	4,11D (0,52)	0,69A (0,02)	1,38A (0,11)	3,46B (0,23)	2,23BC (0,16)	35,34B (2,06)	14,15B (0,63)	5,03BC (0,38)	0,71B (0,01)
(b) Floresta Secundária - 25 anos							(e) Floresta Secundária - 10 anos						
1,34ABC (0,11)	3,29B (0,14)	2,10BC (0,17)	31,16C (1,74)	13,45C (0,67)	4,95BC (0,46)	0,69A (0,02)	1,38AB (0,21)	3,40B (0,40)	2,29AB (0,49)	32,22C (2,06)	13,93BC (1,18)	5,23B (0,89)	0,69A (0,03)
(c) Floresta Secundária - 20 anos							(f) Floresta Secundária - 4 anos						
1,25C (0,14)	3,31B (0,28)	2,00C (0,22)	34,06B (2,09)	13,48BC (0,64)	4,68C (0,58)	0,70A (0,02)	1,27BC (0,33)	4,00A (0,70)	2,49A (0,57)	37,02A (2,80)	16,04A (1,63)	5,91A (0,80)	0,69A (0,03)

Nota: Valores da mesma coluna com letras diferentes são estatisticamente diferentes entre si. Valores na mesma coluna com letras iguais não diferem entre si

3.1.1 Reflectância

Para a imagem de reflectância (B1 a B7), as análises estatísticas revelaram que houve diferença espectral entre a floresta intacta e todas as classes de floresta secundária. As bandas B1, B3, B5 e B7 igualaram de forma geral as florestas secundárias entre si. A B2 igualou as secundárias entre 25 e 10 anos, além de diferenciar a floresta de 4 anos das demais classes. Apesar da B4 ter diferenciado intacta das demais florestas, não houve diferença entre a de 25 e 10 anos e entre a de 20 e 15 anos (Tabela 3).

Foi observada uma tendência de aumento da reflectância média na região do visível do espectro (B1, B2 e B3) com o aumento da degradação, ou seja, quanto mais jovem a área, maior sua reflectância. Este comportamento era esperado, pois há uma diminuição da sombra do dossel quando a floresta é degradada, aumentando a reflectância nesta faixa do espectro. A região do infravermelho próximo (B4) também mostrou esta tendência, apresentando um aumento na reflectância com o aumento da degradação. Da mesma forma ocorreu com a região do infravermelho de ondas curtas (B5 e B7) (Tabela 3, Figura 3).

A reflectância espectral média e o desvio padrão foram plotados para todas as classes de floresta na Figura 3. Uma avaliação qualitativa destas curvas indicou alta sobreposição entre as bandas para todas as classes, dificultando uma separação visual entre elas, exceto pela banda 4 que ainda mostrou alguma separação visual, principalmente entre as classes de floresta intacta e secundária de 4 anos.

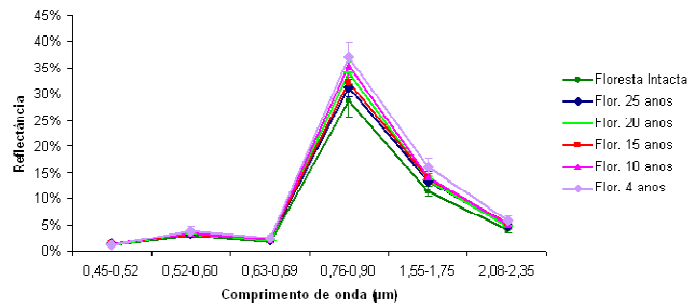


Figura 3. Média e desvio padrão (barras verticais) das curvas espectrais de reflectância da floresta intacta e das cinco florestas secundárias, medidos a partir das bandas do Landsat.

3.1.2 Índice de vegetação

O NDVI, por sua vez, diferenciou somente a secundária de 15 anos do restante das florestas, as quais não apresentaram diferença entre si (Tabela 3). Porém, o índice de vegetação apresentou uma tendência geral de diminuição em função do aumento da degradação (Tabela 3). O índice está associado com ao maior vigor e densidade da cobertura vegetal, de forma que quanto maior o valor, menos degradada (ou mais jovem) seria a floresta. Por isso esperava-se valores mais baixos para as florestas mais jovens.

Calculando a variação absoluta entre floresta intacta e secundária de 4 anos, foi encontrado que a B4 obtém a maior variação quando comparada às outras bandas e ao NDVI. Ela sofreu um aumento total de 8% na reflectância, porém com uma diminuição de 3% para a floresta de 10 anos. Esta diminuição pode ser devido à topografia desta área, com relevos mais baixos devido a presença de grotas secas, o que reduz a reflectância nestes locais. Isto significa que, para diferenciar florestas maduras das classes mais jovens, a banda 4 seria a mais indicada, por ser mais sensível às variações.

As análises estatísticas mostraram que foi possível diferenciar a floresta primária de todas as classes de floresta secundária, utilizando o conjunto de dados espectrais deste estudo, com exceção do NDVI, por meio de imagens Landsat. Porém, de forma geral, houve mistura entre as classes intermediárias de secundárias, principalmente entre 20 e 15 anos. Estes resultados corroboram com o estudo de Steininger (1996), que concluiu ser possível diferenciar florestas secundárias de até 13 anos de idade de florestas primárias, utilizando o sensor Landsat-TM.

Da mesma forma, Nelson et. al. (2000) utilizaram uma série temporal de sete imagens Landsat para estimar biomassa e carbono em diferentes tipos de floresta. Os autores encontraram que, apesar de não ser possível prever qual a idade da floresta e seu histórico de uso com apenas uma imagem Landsat, é possível diferenciar florestas primárias de florestas secundárias (assim como foi demonstrado neste estudo), principalmente aquelas que foram mais intensamente utilizadas.

4. Considerações Finais

Este resultado mostra que há um potencial para utilizar dados do Landsat para monitoramento e quantificação de florestas secundárias tropicais. Uma aplicação importante seria a estimativa de biomassa e carbono destas florestas através da calibração de dados de sensoriamento remoto utilizando informações coletadas no inventário florestal. A quantificação de biomassa e carbono deveria, se possível, considerar a idade destas florestas, visto que o carbono capturado por elas varia amplamente com a idade. Além disso, a inclusão destes grupos de floresta poderia minimizar os erros relacionados ao estoque de carbono e biomassa em florestas tropicais.

Neste estudo foi utilizada uma única imagem Landsat (a mais recente da série temporal) para avaliar espectralmente as idades de florestas. Em estudos futuros recomenda-se uma análise multitemporal como realizado por Souza Jr., Roberts e Monteiro (2005). Esta análise poderia prever com maior acurácia, a partir de qual idade é possível diferenciar as florestas, utilizando o processamento adequado das imagens.

Outra recomendação seria a utilização de imagens fração provenientes do modelo de mistura espectral (MME) de Adams et al. (1993) para verificar a diferença entre as classes de floresta secundária. Souza Jr., Roberts e Monteiro (2005) encontraram que as imagens fração do MME apresentaram maiores vantagens em diferenciar floresta primária de florestas degradadas, quando comparadas às bandas de reflectância e índices de vegetação. Assim, este modelo também poderia apresentar bons resultados na distinção entre idades de floresta.

Há, porém, grandes desafios para se obter bons dados de sensoriamento remoto a serem aplicados para os diversos fins. No caso do Landsat, devido sua resolução temporal e alta cobertura de nuvens na região amazônica, é comum encontrarmos somente uma ou nenhuma imagem livre de nuvens ou fumaça. Além disso, o processamento destas imagens, incluindo correção atmosférica e modelo de mistura espectral, por exemplo, não são tarefas triviais e exigem treinamento dos usuários para que os resultados sejam satisfatórios.

Referências

Adams, J. B.; Smith, M. O.; Gillespie, A. R. Imaging spectroscopy: Interpretation based on spectral mixture analysis. **Remote Geochemical Analysis**, C. M. Pieters e P. A. J. Englert, Eds., Topics in Remote Sensing, v. 4, Cambridge University Press, p. 145-166, 1993.

Almeida, A. et al. **Metodologia para mapeamento de vegetação secundária na Amazônia Legal**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2009. 32p. (INPE-16621-RPQ/839). Disponível em <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19%4080/2009/11.23.17.06/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2010.

Alves, D. S. et al. The changing rates and patterns of deforestation and land use in Brazilian Amazonia. **Geophysical Monograph Series** 186, p. 11-23, 2009.

Attanasio, C. M. **Manual Técnico: Restauração e Monitoramento da Mata Ciliar e da reserva Legal para a Certificação Agrícola** - Conservação da Biodiversidade na Cafeicultura. Piracicaba, SP: Imaflora, 2008. 60 p.

Attanasio, C. M.; Rodrigues, R. R.; Gandolfi, S.; Nave, A. G. **Adequação ambiental de propriedades rurais**: recuperação de áreas degradadas e restauração de matas ciliares. Piracicaba: LERF; ESALQ, Depto. Ciências Florestais, 2006. 66 p. Relatório técnico.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA n. 28, de 24 de janeiro de 2008. Dispõe sobre os municípios situados no Bioma Amazônia onde incidirão ações prioritárias de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento ilegal. Disponível em: <[http://docs.google.com/gview?a=v&q=cache:PiAoW9t6DhcJ:www.mds.gov.br/suas/menu_superior/legislacao-/portarias/2008/portaria_mds_no33_2008_demo2007_pa2008.pdf+PORTARIA+N%C2%BA+28,+DE+24+DE+JANEIRO+DE+2008\(*\)+Disp%C3%B5e+sobre+os+munic%C3%ADpios+situados&hl=pt-BR&gl=br](http://docs.google.com/gview?a=v&q=cache:PiAoW9t6DhcJ:www.mds.gov.br/suas/menu_superior/legislacao-/portarias/2008/portaria_mds_no33_2008_demo2007_pa2008.pdf+PORTARIA+N%C2%BA+28,+DE+24+DE+JANEIRO+DE+2008(*)+Disp%C3%B5e+sobre+os+munic%C3%ADpios+situados&hl=pt-BR&gl=br)>. Acesso em: 31 ago. 2009.

Brown, S.; Lugo, A. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, 1990, p. 1-32.

Carlotto, M. J. Reducing the effects of space-varying wavelength-dependent scattering in multispectral imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 17, p. 3333-3344, 1999.

Higuchi, N.; Santos, J.; Jardim, F. C. S. . Tamanho de Parcela Amostral para Inventários Florestais na Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n. 1, p. 93-103, 1982.

Kageyama, P.Y.; CASTRO, C. **Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies nativas**. Piracicaba: IPEF, n.41/42, p.83-93, 1989.

Klein, R.M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia**, n.32, p.165-389, 1980.

Lourenço, R. W.; Landim, P. M. B. Estudo da variabilidade do “índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI” utilizando krigagem indicativa. **HOLOS environment**, v. 4, n. 1, p. 38-35, 2004.

Nelson R. F. et al. Secondary forest age and tropical forest biomass estimation using Thematic Mapper imagery. **BioScience**, vol. 50, n. 5, p. 419-431, 2000.

Pará (Estado). Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças. **Estatísticas Municipais. Mesorregião Sudeste Paraense. Paragominas**. 2008. Disponível em: <http://www.sepof.pa.gov.br/estatistica/ESTATISTICAS_MUNICIPAIS/Mesorr_Sudeste/Paragominas/Paragominas.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2009.

Pinto, A.; Amaral, P.; Souza JR., C.; Veríssimo, A.; Salomão, R.; Gomes, G.; Balieiro, C. **Diagnóstico socioeconômico e florestal do município de Paragominas**. Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon, 2009. 65 p. Relatório Técnico. Disponível em <<http://www.imazon.org.br/novo2008/arquivosdb/Diagnostico-PGM.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2010.

Rodrigues, R. R.; Gandolfi, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: Rodrigues, R. R.; Leitão Filho, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade São Paulo: Fapesp, 2000. cap. 15.1, p. 235-247.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Deering, D. W.; Schell, J. A.; Harlan, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC. Type III Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371p.

Souza Júnior, C.; Roberts, D.; Monteiro, A. Multitemporal analysis of degraded forests in the southern Brazilian Amazon. **Earth Interactions**, n. 19, v. 9, p. 1-25, 2005.

Steininger, M. K. Tropical secondary forest regrowth in the Amazon: age, area and change estimation with Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 1, p. 9-27, 1996.

Zarin, D. et al. Potential biomass accumulation in amazonian regrowth forests. **Ecosystems**, v. 4, p. 658-668, 2001.