

# Relações entre Índice de Área Foliar (LAI), Área Basal e Índice de Vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazônica em Rondônia

SILVANA AMARAL<sup>1</sup>  
JOÃO VIANEI SOARES  
DIÓGENES SALAS ALVES<sup>1</sup>  
ELIANA M.KALIL DE MELLO<sup>2</sup>  
SÉRGIO A.S. ALMEIDA<sup>1</sup>  
OSMAN F. DA SILVA<sup>1</sup>  
ANDRÉA MARIA SILVEIRA<sup>3</sup>

<sup>12</sup>INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>1</sup>{silvana, dalves, eliana, sergio}osman@dpi.inpe.br

<sup>2</sup>{vianei, osman}@ltid.inpe.br

<sup>3</sup>CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP  
Av. Centenário 303, CEP 13416-970, Piracicaba, SP, Brasil  
andrea@pintado.ciagri.usp.br

**Abstract.** This work presents some preliminary results from the study of regeneration sites in the tropical forest in Rondonia-BR. Leaf Area Index (LAI) and Basal Area were measured in second-growth areas with 2,3,5,8,12, and 18 years since abandonment. TM/Landsat image was used to generate a NDVI image and from which were extracted the values referred to each study site. The results showed a logarithmic relationship between age and the parameters LAI, basal area and NDVI, indicating a faster growth of the vegetation during the first 8 years. LAI were linearly correlated to basal area suggesting that it could be used as a reference to the biomass of different successional stage.

**Keywords:** tropical rain forest, secondary regeneration, LAI, NDVI.

## 1 Introdução

No processo de ocupação da Amazônia brasileira ocorre o aparecimento de áreas abandonadas, uma vez que após o corte e queima da floresta primária e utilização para agricultura e pecuária, estas áreas são abandonadas por diferentes períodos até que sua utilização faça-se novamente necessária.

Estima-se que cerca de 30% das florestas tropicais são atualmente áreas de floresta em regeneração secundária (Brown e Lugo, 1990). Além do potencial para exploração comercial destas áreas como madeira para construção, espécies de importância farmacêutica, madeira para fogo e outros usos, as florestas secundárias são de importância fundamental para recuperação da fertilidade do solo, regularização do regime hidrológico, manutenção da diversidade animal e vegetal (Brown e Lugo, 1990), e ainda para captura do dióxido de carbono da atmosfera (Detwiler e Hall, 1988), que deve ser considerada nos estudos de mudanças e ciclagem global de nutrientes.

Projetos como o “Large Scale Atmosphere Biosphere Amazon Experiment”, LBA, tem como um de seus objetivos mais entender o papel das florestas secundárias na ciclagem de carbono na atmosfera.

Este trabalho faz parte do projeto “Long Term Monitoring of the Amazon: From patterns to Processes”, EOS, do INPE. São apresentados resultados preliminares de um trabalho de campo realizado em Rondônia em setembro de 1995 em áreas de ocupação antrópica entre Ariquemes e Ji-Paraná<sup>1</sup>. Neste trabalho preliminar, ênfase é dada às relações obtidas entre as variáveis LAI e área basal estimadas no campo e imagem índice de vegetação (NDVI) obtida da imagem TM/Landsat para áreas de regeneração em diversos estágios (idade).

---

<sup>1</sup> Financiado pela FAPESP, processo 95/2432-5

## 2 Fundamentação Teórica

Após a retirada da cobertura florestal original e com a perda da fertilidade do solo após alguns anos de uso, instala-se um processo de recolonização da área por espécies adaptadas a esta condição (ervas daninhas entre outras), que são substituídas ao longo do tempo num processo conhecido por sucessão secundária. Nos primeiros 12 a 15 anos de regeneração a biomassa foliar atinge um valor máximo e depois sofre um leve decréscimo (Brown e Lugo, 1990). A quantificação da biomassa total da floresta secundária é importante na estimativa do ciclo de carbono na região.

O índice de área foliar é outro parâmetro importante para estudos de estrutura da vegetação secundária, uma vez que está associado à processos físicos como evapotranspiração, fluxos de CO<sub>2</sub> e água e interceptação da luz. McWilliam et al. (1993), registraram valores de LAI de 5,7 para floresta e 1,2 para áreas de floresta recém cortadas.

Existem várias técnicas para medir LAI como medição direta por método destrutivo, uso de fotografias hemisféricas ou aparelhos que medem a quantidade de radiação interceptada pela superfície (ceptômetro). Honzak et al. (1995) obtiveram uma relação entre biomassa total e LAI com  $r=0.61$  e nível de significância de 95%, sugerindo que estimativas de biomassa podem ser obtidas para áreas de regeneração secundária de até 30 anos, explorando-se a relação com LAI.

Dentre os índices de vegetação comumente citados na literatura, o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) é o mais freqüentemente utilizado, inclusive para atividades de monitoramento global (Sellers et al, 1994). A relação entre NDVI e parâmetros estruturais da vegetação, como LAI e biomassa, para áreas em sucessão secundária mostrou-se melhor associado a áreas de início de sucessão, onde encontram-se valores mais baixos de biomassa (Sader et al., 1990).

## 3 Área de Estudo

A área de estudo está compreendida entre as coordenadas 63°00' e 62°45' de longitude oeste e 10°30' e 10° 09' de latitude sul, no município de Cacaulândia e Ariquemes, Rondônia. Constitui área de

terra firme com relevo suave-ondulado e de ocorrência de floresta ombrófila aberta submontana. A região é um mosaico que inclui mata primária remanescente, áreas em sucessão secundária e de ocupação agropastoril.

As áreas de regeneração secundária foram previamente identificadas na análise da série temporal de imagens TM/Landsat de 1990 a 1994 e localizadas no campo a posteriori (figura 1). O tempo de abandono e manejo de cada uma das áreas foram confirmados junto aos proprietários das terras. Foi identificado um total de 8 áreas que haviam sido abandonadas há 2, 3, 5, 8, 10, 12 e 18 anos, ou seja, nenhum corte, queima ou manejo foi realizado desde então.

## 3 Materiais e Métodos

Parcelas de 10 x 100m foram definidas para cada uma das áreas de regeneração secundária compreendendo porções homogêneas da capoeira. Nestas parcelas, todos indivíduos arbóreos de diâmetro na altura do peito (DAP) maior que 5 cm foram inventariados. Para este trabalho apenas os dados referentes ao DAP foram utilizados, com os quais foram calculados os valores de área basal para cada área.

O Índice de Área Foliar foi obtido através do *LAI2000 Plant Canopy Analyser - LICOR*, utilizando-se dois sensores: um de referência, adquirindo amostras em áreas de clareira, e outro utilizado para amostrar as parcelas. Foram realizadas 50 medições de LAI para cálculo do valor médio de cada parcela, utilizando um ângulo de visada de 180 graus.

A imagem TM/Landsat de 15/07/1994 foi utilizada para o cálculo do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI). Não se dispôs para esta análise de imagem de 1995, o que atribui um caráter preliminar a este trabalho. As bandas 3, 4 e 5 da imagem acima citada foram georeferenciadas para a projeção UTM, transformadas para valores de reflectância aparente (conforme proposto por Markham e Baker, 1986), e as bandas 3 e 4 com valores de reflectância aparente foram utilizadas para gerar o índice de vegetação.

Os parâmetros LAI, idade, área basal e NDVI foram plotados e submetidos a análise de regressão linear ou logarítmica de acordo com a tendência observada.

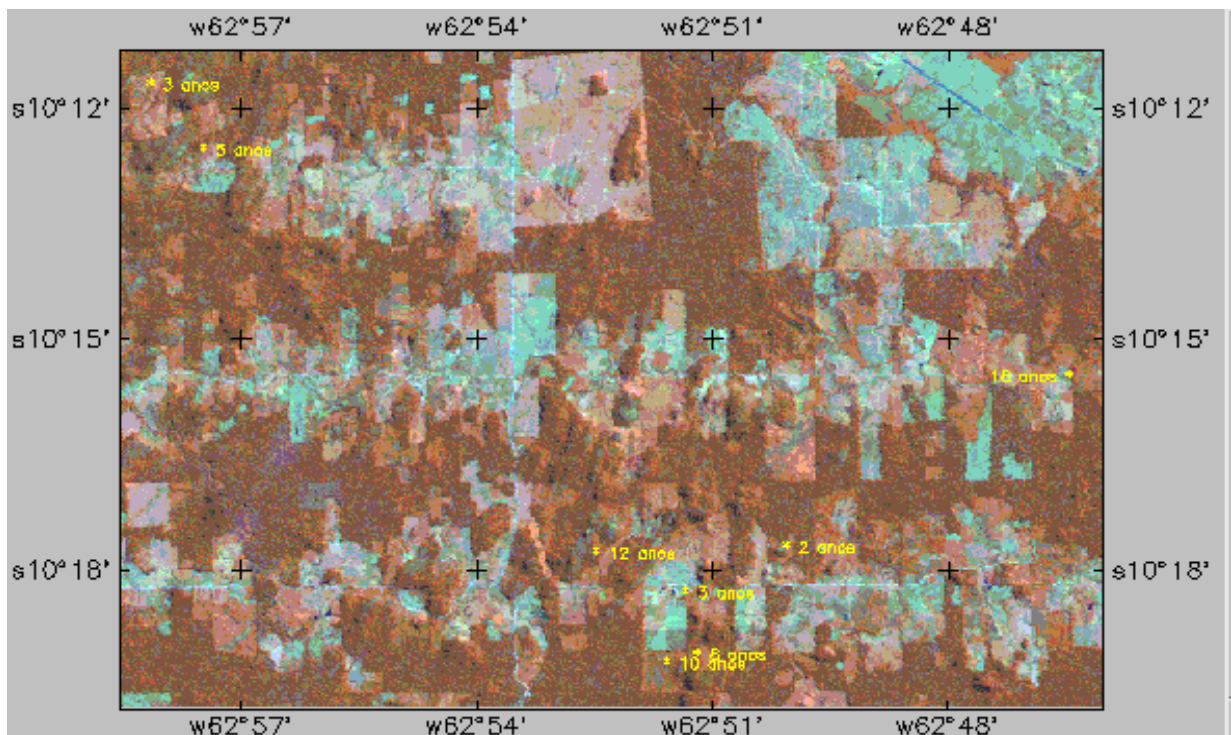


Figura 1. Localização das áreas de regeneração secundária.

#### 4 Resultados

Ao avaliar LAI, NDVI e Área Basal em relação à idade das capoeiras observou-se uma tendência logarítmica para todas as plotagens, com os valores de  $R^2$  indicando um bom ajuste entre as curvas, com valores da ordem de 0.90, figuras 2, 3 e 4 abaixo. Investigando-se a relação das combinações entre LAI, NDVI e área basal, verificou-se serem elas lineares com  $R^2$  entre 0.77 e 0.90, figuras 5, 6 e 7.

A regressão entre NDVI e idade para as capoeiras amostradas indicam uma tendência de crescimento logarítmico do NDVI ao longo da sucessão. Os resultados apresentados por Yanasse et al (1995) apresentam uma tendência crescente dos valores de NDVI de 0 a 6 anos e decrescente após 6 anos de regeneração (NDVI máximo obtido 0.73), até o valor para mata primária (NDVI = 0.69).

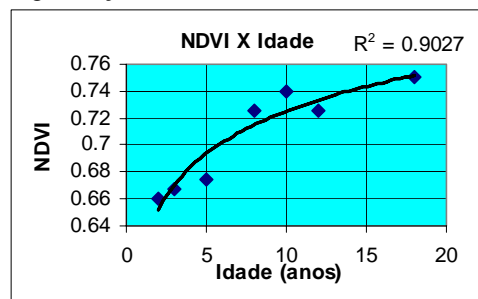


Figura 2. Relação entre NDVI e idades de capoeira

O valor de NDVI obtido neste estudo para mata primária foi de 0.77, confirmando a tendência de crescimento logarítmico do NDVI, sem indicativos de decréscimo.

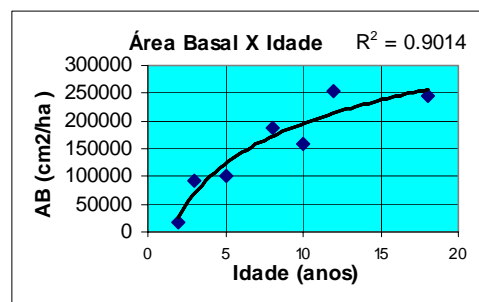


Figura 3. Relação entre Área Basal e idades de capoeira

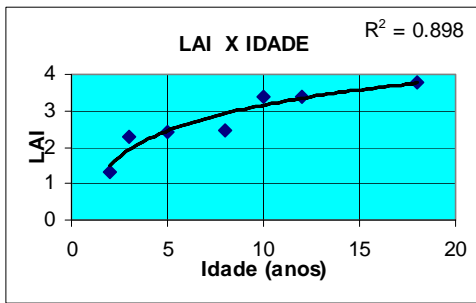


Figura 4. Relação entre LAI e idades de capoeira

Os valores de área basal e LAI também apresentaram relação logarítmica com a idade, indicando um incremento anual maior da vegetação durante os primeiros (8) anos de sucessão. Brown e Lugo (1990) também obtiveram uma relação logarítmica entre idade e biomassa de folhas e lenho, sendo que apenas após 20 anos observa-se a estabilização da curva. A avaliação da biomassa das áreas analisadas permitirá uma comparação direta dos dados, complementando esta discussão.

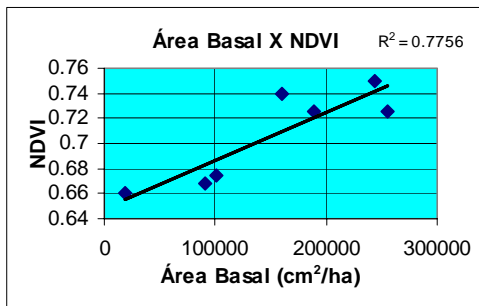


Figura 5. Relação entre Área Basal e NDVI.

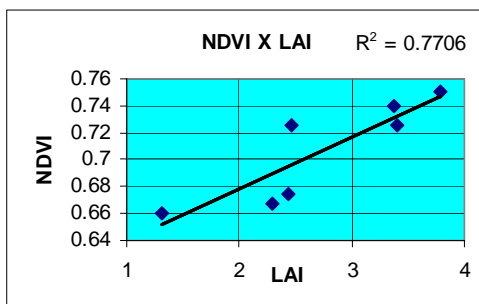


Figura 6. Relação entre NDVI e LAI

Da análise dos gráficos de NDVI versus área basal e NDVI versus LAI, observa-se que uma relação linear pode ser estabelecida com valores de  $R^2 = 0.77$ , para as duas regressões. Estes resultados estão além da expectativa ao se considerar por exemplo um coeficiente de correlação 0.234 entre LAI e NDVI e de

0.344 entre NDVI e biomassa (acima da superfície) obtidos por Box et al. (1989) ao avaliar a precisão do NDVI para estimativa de biomassa e produção primária. Tem-se aqui uma indicação clara de que NDVI é um bom indicador da biomassa de capoeiras em estágios iniciais de sucessão, ainda que se trate de uma análise preliminar.

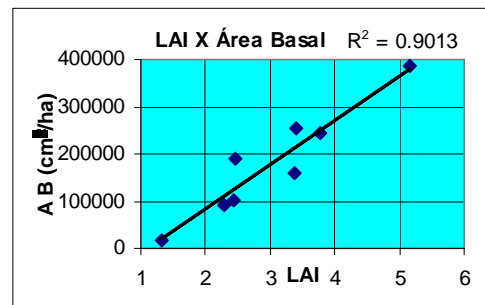


Figura 7. Relação entre Área Basal e LAI

A relação obtida para a regressão entre área basal e LAI, com  $R^2$  de 0.90, indica que o índice de área foliar pode ser um bom estimador da área basal em áreas de regeneração secundária e indiretamente da biomassa. Este resultado indica que, ao se trabalhar ao nível de comunidade de plantas, medidas de LAI podem ser usadas como estimadores de biomassa. Entretanto é necessário que o número de amostras seja ampliado. Ademais, uma calibração daquela relação para diferentes regiões da Amazônia pode tornar a medida de LAI um estimador mais robusto para biomassa de capoeiras.

## 5 Considerações Finais

A partir desta análise preliminar dos dados conclui-se que:

- relações logarítmicas foram observadas para LAI, Área Basal e NDVI em relação à idade das áreas secundárias;
- as relações do índice de vegetação NDVI com os parâmetros estruturais da vegetação devem ser melhor exploradas, ampliando-se o número de amostras para cálculo do índice e verificando-se as relações com outros índices de vegetação., como GEMI conforme sugerem Goel e Qin, (1994);
- a relação entre LAI e Área Basal indica o índice de área foliar como um bom preditor dos parâmetros estruturais da vegetação secundária.

## Referências

- Box, E.O., Holben, B.N., Kalb, V. Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO<sub>2</sub> flux” *Vegetatio* 80 (1989):71-90.
- Brown, S., Lugo, A.E. “Tropical secondary forests” *Journal of Tropical Ecology* 6 (1990): 1-32.
- Detwiler, R.P., Hall, C.A.S. “Tropical forests and the global carbon cycle” *Science*, 239 (1988), 42-47.
- Goel, N.S., Qin, W., “Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: a computer simulation”, *Remote Sensing Reviews* 10 (1994), 309-347.
- Honzak, M., Foody, G.M., Lucas, R.M., Curran, P.J., do Amaral, I. and Amaral, S.”Estimation of the leaf area index and total biomass of regenerating tropical forest: A comparison of methodologies.” In Gash, J.H.C., Nobre, C.A., Roberts, J.M., Victoria, R.C. (eds) *Amazonian Deforestation and Climate*. John Wiley and Sons, Chichester (1996) (in press).
- Markham, B.L., Baker, J.L. “Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamix Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures”, *Landsat Technical Notes* 1, 3-5, (1987).
- McWilliam, A.L.C., Roberts, J.M., Cabral, O.M.R., Leitão, M.V.B.R., Costa, A.C.L., Maitelli, G.T., Zamparoni, C.A.G.P. “Leaf area index and above-ground biomass of terra firme rain forest and adjacent clearings in Amazonia” *Functional Ecology* 7, (1993), 310-317
- Sader, S.A., Waide, R.B., Lawrence, W.T., Joyce, A.T., “Tropical forest biomass and sucesional age class relationship to a vegetation Index derived from Landsat TM data”, *Remote Sensing of Environment* 28(2): (1989), 143-156.
- Sellers, P.J., Los, S.O., Justice, C.O., Tucker, C.J. “A global 1 by 1 NDVI data set for climate studies. Part 2: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from NDVI”, *International Journal of Remote Sensing* 15 (1994), 3519-3548.
- Yanasse, C.C.F., Sant’Anna, S.J.S., Frery, A.C., Kuplich, T.M., Dutra, L.V. “Mapeamento de etapas de regeneración y su relación con datos de radar”, *Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota VII* (1995) 542-553 (Memorias - SELPER).