

INTEGRAÇÃO DE DADOS GEO-ESPACIAIS PARA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DA PAISAGEM NA REGIÃO DO TAPAJÓS: AQUISIÇÃO DE PARÂMETROS ECOLÓGICOS NO CAMPO PARA MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE FLORESTAL EM ESCALA REGIONAL

LUIZ EDUARDO O. E C. DE ARAGÃO¹
YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO¹
FERNANDO DEL BON ESPÍRITO SANTO¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{aragao, yosio, fernando}@ltid.inpe.br

Abstract. This paper aimed to describe the methodology developed to drive Leaf Area Index (LAI), soil and vegetation data acquisition at the field level for Gross Primary Productivity (GPP) modeling at the regional scale. This approach has been used to minimize the uncertainty in GPP estimation for Amazon forest ecosystems. The definition of homogeneous landscape units after the Boolean integration of a vegetation thematic map and an altimetry map is important to characterize the spatial heterogeneity of Tropical forest ecosystems. The layer resultant of this integration was superposing in a TM-Landsat image to define sample sites. This methodology identified a large number of land units within and around Tapajós National Forest in Pará State. LAI values seem to be varying according to the spatial distribution of the landscape units. Therefore, to map landscape units using cartography information and also remote sensing image are the first step to describe the heterogeneity of Amazon ecosystems and to plan sample collection at field level for regional modeling purposes.

Keywords: Geoprocessing, landscape map, Tapajós National forest.

1. Introdução

As pesquisas realizadas até o presente momento ainda não foram capazes de definir com exatidão se o ecossistema amazônico funciona como um sumidouro ou fonte de carbono para a atmosfera. Alguns estudos mostram que a Amazônia é uma fonte de carbono devido ao desflorestamento (Schroeder, 1995; Houghton et al., 2000). Por outro lado, outras pesquisas demonstram que o ecossistema amazônico está contribuindo para a retirada do carbono atmosférico, funcionando como um sumidouro (Nepstad et al., 1994; Grace et al., 1995; Trumbore et al., 1995).

Essas incertezas estão em grande parte associadas a falta de dados ambientais representativos da região. Isto limita a escala dos estudos que vem sendo realizados na região, ora pontuais, ora extremamente genéricas. Estes não representam de maneira satisfatória a heterogeneidade espacial dos parâmetros ambientais que determinam a produtividade desse ecossistema.

Assim, representar satisfatoriamente a variabilidade espacial dos atributos (vegetação, relevo, uso da terra, solo, etc.) que estão diretamente relacionados com a produtividade florestal, torna-se uma etapa crucial para o aumento da exatidão dessas estimativas em escala regional e conseqüentemente global. Franklin e Woodcock (1997) ressaltaram a relevância do mapeamento dos padrões da vegetação para entender as respostas da cobertura vegetal às mudanças climáticas globais. Esses autores enfatizaram também que a paisagem possui uma estrutura em mosaico, onde as áreas formam unidades distintas em relação a um determinado atributo.

A aplicação do conceito de Unidades da Paisagem, revisto por Zonneveld (1989), permite a estratificação da amostragem de campo para a obtenção dos parâmetros necessários para a

modelagem da produtividade primária nos ecossistemas florestais amazônicos, que consiste no objetivo final deste estudo.

Com base nas hipóteses de que:

- 1) A elevada heterogeneidade dos ecossistemas amazônicos pode ser extraída a partir do conhecimento dos tipos de vegetação, relevo e uso do solo.
- 2) A variação dos parâmetros ambientais (LAI, textura do solo e concentração de nitrogênio foliar) no campo está diretamente relacionada com a distribuição das unidades da paisagem.

O objetivo do trabalho foi:

- 1) Analisar as cartas temáticas de vegetação referentes a região de estudo.
- 2) Gerar um mapa temático de altimetria por meio de dados pontuais e curvas de nível obtidas pela digitalização das cartas topográficas da região de estudo.
- 3) Definir as unidades da paisagem pela integração em um SIG dos mapas temáticos de vegetação e altimetria para utilização de forma conjunta com uma cena Landsat-TM como subsídio para a amostragem em campo.
- 4) Demonstrar a variabilidade espacial dos dados de LAI obtidos por meio desta metodologia na região do Tapajós.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado na região do Alto Tapajós, abrangendo uma área de 13164 km², dentre os quais aproximadamente metade equivale área de preservação da Floresta Nacional do Tapajós. A região de estudo está compreendida entre as coordenadas Lat 1: s 04° 01' 1'' Long 1: o 55° 30' 2'' e Lat 2: s 02° 24' 2'' Long 2: 54° 29' 5''.

2.2. Materiais

As cartas temáticas de vegetação e topográficas SA-21-Z-B e SA-21-Z-D, na escala de 1:250.000, correspondentes aos quadrantes de Santarém e Aveiro respectivamente, foram utilizadas para extração das classes de vegetação, curvas de nível, pontos cotados e drenagem.

As cartas escaneadas foram registradas e posteriormente digitalizadas no programa SPRING 3.6. Este programa foi utilizado para realização de todos os processamentos necessários para o estudo.

A aquisição dos dados de LAI foi realizada de maneira direta com o uso de dois equipamentos LI-COR LAI 2000.

2.3. Análise e Generalização do Mapa Temático de Vegetação

O mapa de vegetação foi analisado segundo o número de classes e a área ocupada por cada uma destas em relação ao total. O mapa original apresentou um total de 34 classes de vegetação, uma de área antrópica e uma de água.

Diante da complexidade da vegetação, formando um mosaico de tipologias, optou-se por criar um critério para possibilitar a generalização das classes, visando a posterior integração

com o mapa temático de altimetria e geração das unidades da paisagem. Este processo consistiu em uma reclassificação das áreas seguindo os seguintes critérios: As 6 classes de floresta que apresentaram áreas superiores a 5 % do total foram mantidas. As áreas de vegetação secundária foram agrupadas em duas: 1) Vegetação secundária com palmeiras (Vsp) e 2) vegetação secundária sem palmeiras (Vss). As classes cujo uso principal era agropecuária (Ap) foram também agrupadas. Classes de floresta ombrófila densa de terras baixas com dossel emergente (Dbe) que não eram representativas foram remanejadas para uma classe de Dbe+outras. Todas as classes restantes foram reclassificadas como outras.

Para a agregação dessas classes no mapa digital foi primeiramente realizada uma conversão dos dados de vetor para uma matriz com 250 m por 250 m de resolução espacial. Posteriormente, foi elaborado um programa em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algebrico (LEGAL) no sistema de informação geográfica SPRING para realização da operação de Reclassificação.

2.4. Geração do Mapa Temático de Altimetria

Esta etapa foi realizada utilizando-se as ferramentas disponíveis no SPRING para a modelagem numérica do terreno. Em uma primeira fase utilizou-se o plano de informação (PI) numérico, contendo os pontos cotados e as curvas de nível, junto com o PI temático da drenagem, funcionando como linhas de quebra, para geração de uma grade triangular. Em seguida, foi gerada uma grade regular com resolução de 250 m por 250 m. Finalmente, foi realizado um fatiamento em 6 classes separadas em intervalos de 50 m, variando de 0 a 300 metros.

2.5. Definição das Unidades da Paisagem

Esta etapa foi realizada por meio de operadores Booleanos para a integração dos mapas temáticos de vegetação e altimetria. Assim, cada classe de vegetação poderia ser estratificada em 6 unidades distintas de acordo com as classes de altimetria. Foram determinadas 69 unidades da paisagem. Após a análise dos resultados de área foi determinada um total de 18 unidades da paisagem.

As unidades que apresentaram um percentual de área abaixo de 2,5% do total foram consideradas não representativas.

2.6. Aquisição dos Dados de LAI

O dados de LAI foram obtidos em 11 unidades da paisagem de floresta primária, em uma pastagem e uma área de floresta secundária, acessadas pela Br-163. Em cada uma dessas unidades foram alocadas 3 parcelas de 50 m por 50 m, num total de 39. Em cada parcela foram coletados valores de LAI em 25 pontos distribuídos regularmente em uma grade de resolução espacial de 10 m, totalizando 75 pontos por unidade. A variabilidade espacial dos dados de LAI foi caracterizada segundo a média e o desvio padrão do conjunto total de dados por unidade da paisagem.

3. Resultados e Discussão

3.1. Determinação das Unidades da Paisagem

Os resultados preliminares mostraram que por meio da análise criteriosa do mapa temático de vegetação foi possível reduzir o número total de classes de 36 para 14, sem afetar as classes mais representativas.

As classes de floresta que mais contribuíram em termos de área foram: Dbe (6,76 %), Dbe+Dbu (15,41 %), Dbe+Dbu+Abc (15,67 %), Dbe+Abp+Abc (13,18 %), Dse+Asp (5,72 %) e Dbe+Abc (5,39 %). Uma área de vegetação secundária (Vss+Ap+Db) apresentou o maior percentual de cobertura das 7 classes representativas, cobrindo 17,30 % da área de estudo. Estas classes representaram 79,43% da área total. Assim, apenas cerca de 20% da área total foi afetada pelo processo de reclassificação (Tabela 1).

Tabela 1. Classes geradas após a reclassificação do mapa temático de vegetação (n=14), mostrando o número de classes que foram agrupadas, a área total da nova classe e a sua representatividade em relação a área total.

Classes	Número de Classes Agrupadas	Áreas (km ²)	% do total
1.Pecuária e Pastagem	3	539.80	4.10
2.Vss	6	2529.52	19.21
3.Vsp	5	179.23	1.36
4.Dbe+outras	3	812.00	6.17
5.Dbe	1	889.94	6.76
6.Dbe+Dbu	1	2028.42	15.41
7.Dbe+Dbu+Abc	1	2063.33	15.67
8.Dbe+Abp+Abc	1	1735.50	13.18
9.Dse+Asp	1	752.81	5.72
10.Dbe+Abc	1	708.98	5.39
11.Dse	1	317.42	2.41
12.AA	1	46.96	0.36
13.Outras	10	542.13	4.12
14.Água	1	18.36	0.14
Total	36	13164.40	100

A reclassificação da vegetação permitiu a geração de um mapa temático mais simples, que otimizou a posterior integração dos dados (Figura 1).

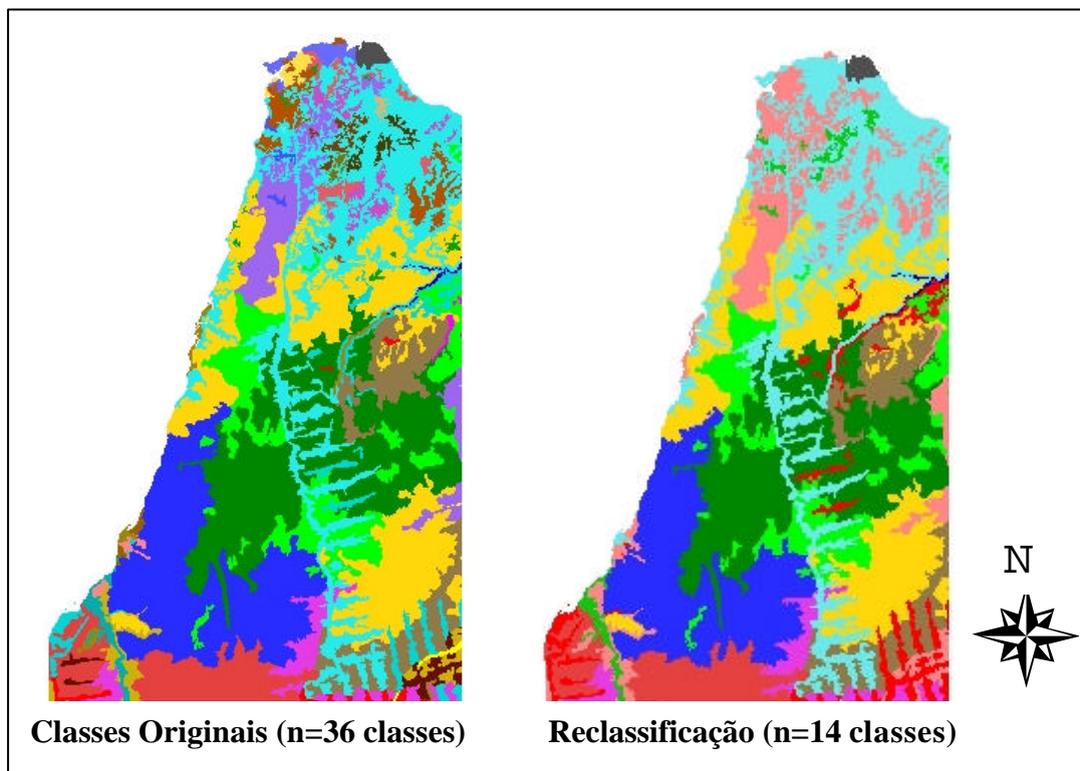


Figura 1. Comparação entre o mapa temático de vegetação original e o reclassificado.

Pela integração do mapa de vegetação com o de altimetria, foi obtido um mapa temático contendo 69 unidades da paisagem. Destas, foram selecionadas 16 unidades que representaram 90% da área total de floresta (Tabela 2), além das unidades de vegetação secundária (20% do total) e de agro-pecuária (2% do total).

Tabela 2. Definição das unidades da paisagem com suas respectivas características, área e sua contribuição para o total das áreas de floresta primária.

Unidades da Paisagem	Característica	Área (km ²)	% do Total
1	Dbе+Outras_150-200	268.88	2.91
2	Dse+Asp_150-200	254.25	2.75
3	Dbе+Outras_100-150	250.50	2.71
4	Dbе+Outras_50-100	272.00	2.95
5	Dbе+Dbu_50-100	1244.81	13.48
6	Dbе+Dbu+Abc_50-100	757.00	8.20
7	Dbе+Abp+Abc_50-100	649.63	7.04
8	Dbе+Abc_50-100	580.69	6.29
9	Dbе+Dbu+Abc_100-150	563.44	6.10
10	Dbе+Dbu+Abc_150-200	694.81	7.53
11	Dbе+Abp+Abc_150-200	869.56	9.42
12	Dbе_50-100	347.00	3.76
13	Dse+Asp_50-100	378.88	4.10
14	Dbе+Dbu_100-150	328.88	3.56
15	Dbе_150-200	319.56	3.46
16	Dbе+Dbu_150-200	425.50	4.61
Total		8205.38	88.88

A análise prévia das áreas de cada unidade permitiu a geração de um mapa de unidades da paisagem da região do Alto-Tapajós (Figura 2).

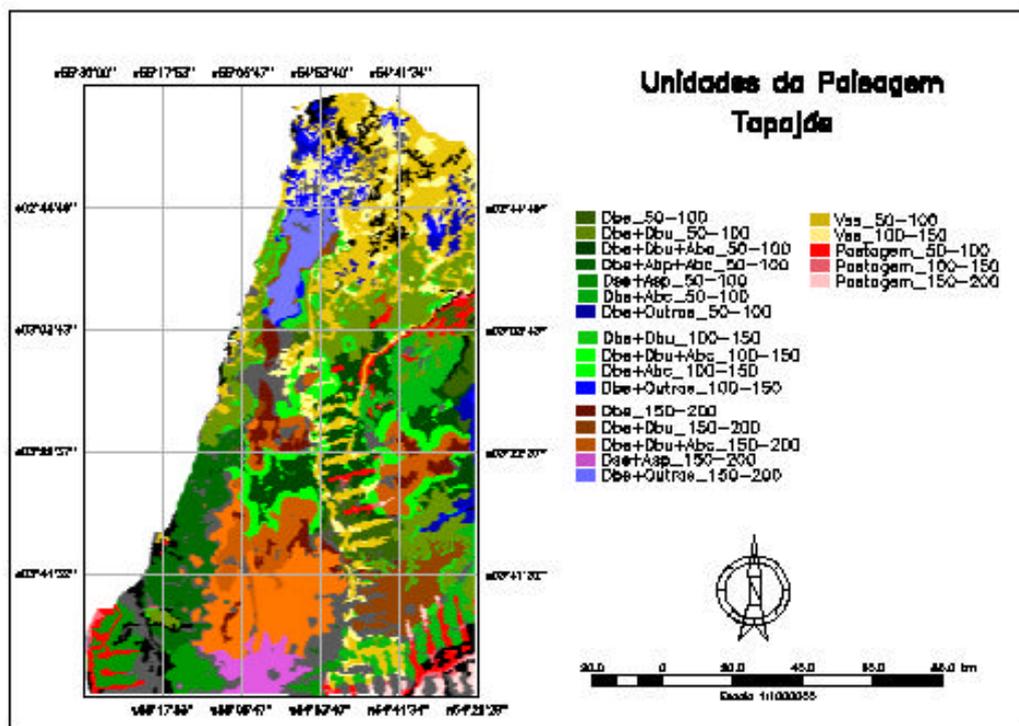


Figura 2. Mapa temático das unidades da paisagem na região do Tapajós.

3.2. Índice de Área Foliar

Os resultados de LAI mostraram uma variação de 23,3% entre as unidades amostradas. Este resultado incluiu também áreas de floresta primária submetidas ao fogo que foram identificadas na imagem Landsat-TM. A maior média foi encontrada para a área de floresta primária de alto platô (5,1) e a menor para a área de pastagem (1,58). Esta última apresentou também o maior desvio padrão (DP = 1,01) e coeficiente de variação (CV = 63,92%) (Tabela 3).

Tabela 3. Localização das unidades amostradas, destacando a caracterização, o valor médio do LAI (n=75) com os respectivos desvio padrão e coeficiente de variação.

Unidade	Localização	Caracterização	Média	Desvio Padrão	CV
A1	km 67	Floresta Primária	5.1	0.97	19.02
A2	km 83	Corte Seletivo	4.61	0.71	15.40
A3	km 117	Pastagem	1.58	1.01	63.92
A4	km 117	Floresta Primária	4.83	0.60	12.42
A5	km 60	Babaçu	4.39	0.34	7.74
A6	km 88	Primária queimada	3.86	0.45	11.66
A7	km 113	Primária baixada	3.49	0.53	15.19
A8	km 83	Floresta Primária	4.15	0.69	16.63
A9	km 84	Capoeira	3.46	0.50	14.45
A10	km 211	Primária Ciliar	3.73	0.37	9.92
A11	km 200	Primária	3.84	0.44	11.46
A12	km 184	Primária	3.25	0.28	8.62
A13	km 150	Primária	3.37	0.59	17.51
Média			3.82		
DP			0.89		
CV			23.30		

Analisando os valores médios de LAI, o desvio padrão e o coeficiente de variação das unidades amostradas, foi possível perceber que a metodologia adotada permitiu uma caracterização da variabilidade espacial dos valores de LAI e consequente separabilidade das áreas (Figura 3).

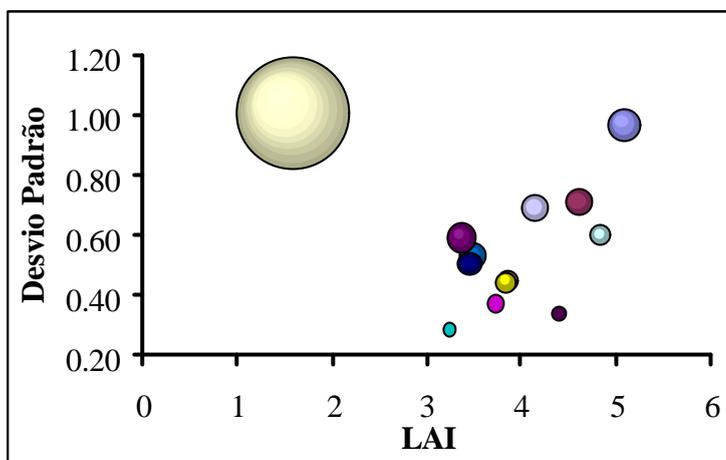


Figura 3. Gráfico mostrando a relação entre o LAI e o desvio padrão das amostras, onde o diâmetro das esferas correspondem ao coeficiente de variação.

As áreas de floresta seguem um padrão linear do aumento do desvio padrão com o aumento do LAI. Já a pastagem se comportou de forma inversa, apresentando um LAI menor que as áreas de floresta e um desvio maior.

Entre as 13 unidades amostradas, no mínimo 9 puderam ser separadas por meio da análise das médias, desvio padrão e coeficiente de variação. A unidade do km 88 caracterizada por uma floresta primária queimada a aproximadamente 4 anos, apresentou valores próximos a da floresta primária do km 200, possivelmente devido a própria estrutura mais aberta das florestas na região sul da FLONA do Tapajós. Isto se deve principalmente ao terreno mais ondulado propiciando a ocorrência de várias vertentes de água com a presença de lianas e tambuquizais, que consequentemente reduzem o LAI nessas regiões.

Esta explicação pode justificar também a semelhança entre a capoeira amostrada no km 84 e as florestas do km 113 e 150 que possuíam características semelhantes a unidade florestal do km 200.

4. Considerações Finais

A rotina metodológica utilizada para definição das unidades da paisagem na região do Tapajós mostrou-se eficiente. As principais vantagens deste método foram a preservação das áreas mais representativas da região e a redução das unidades amostrais.

O uso das unidades da paisagem na região do Tapajós como base para extratificação da amostragem possibilitou em primeiro lugar um direcionamento da coleta de dados, reduzindo os custos e o tempo. Em segundo, mostrou-se crucial para a caracterização de parâmetros ambientais, no caso o LAI, em grandes áreas.

A utilização desses resultados na modelagem da produtividade primária bruta nesta região irão contribuir para uma melhor representação espacial da área e consequente melhoria na exatidão dos resultados.

5. Referências Bibliográficas

- Franklin, J.; Woodcock, C. E. Multiscale vegetation data for mountains of southern California: Spatial and categorical resolution. In: Quattrochi, D A.; Goodchild, M.F. eds. **Scale in Remote Sensing and GIS**. Boca Raton, Lewis Publishers, 1997, Cap7., p. 141-168.
- Grace, J.; Lloyd, J.; McIntyre, J.; Miranda, A. C.; Meir, P.; Miranda, H. S.; Nobre, C.; Moncrieff, J.; Massheder, J.; Malhi, Y.; Wright, I.; Gash, J. Carbon Dioxide Uptake by an Undisturbed Tropical Rain Forest in Southwest Amazonia, 1992 to 1993. **Science**, v. 270, n.3, p. 778-782, 1995.
- Houghton, R. A.; Skole, D. L.; Nobre, C. A.; Hackler, J. L.; Lawrence, K. T.; Chomentowski, W. H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, p.301-304, 2000.
- Nepstad, D. C.; Carvalho, C. R.; Davidson, E. A.; Jipp, P. H.; Lefebvre, P. A.; Negreiros, G. H.; Silva, E. D.; Stone, T. A.; Trumbore, S. E.; Vieira, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, v.372, p. 666-669, 1994.
- Schroeder, P. E.; Winjum, J. K. Assessing Brazil's carbon budget: I. Biotic carbon pools. **Forest Ecology and Management**, v. 75, p. 77-86, 1995.
- Trumbore, S. E.; Davidson, E. A.; Camargo, P. B., Nepstad, D. C.; Martinelli, L. A. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycle**, v. 9, n. 4, p. 515-528, 1995.
- Zonneveld, I. S. A fundamental concept in landscape ecology and its applications. **Landscape Ecology**, v. 3, n. 2, p. 67-86, 1989.