

RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DIGITAIS DE IMAGEM LANDSAT E VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

MARIA DE NAZARÉ MARTINS MACIEL¹

CHRISTEL LINGNAU²

CARLOS ROBERTO SANQUETTA²

SYLVIO PÉLLICO NETTO²

¹FCAP – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará
Caixa Postal 917 - 66.077-530 - Belém - PA, Brasil
nmaciel@fcap.br

²UFPR – Universidade Federal do Paraná
Caixa Postal 515 - 80210-170- Curitiba - PR, Brasil
lingnau@floresta.ufpr.br

Abstract. The objective of this research was to study the relation between field data of a tropical primary forest located in Moju District, state of Para and data obtained from satellite TM/LANDSAT. In the beginning the characterization flora-structural of the primary forest was done by using the followings biometrics variables: trees density, basal area, biomass, volume and diversity of arboreal species. The images proportion vegetation, soil and shade obtained by Linear Spectral Mixture Model, Soil Adjuste Vegetation Index (SAVI) and textural images were generated from the TM/LANDSAT image. The integration between field data and satellite image data was done by statistical procedure, where, correlation analysis was performed to evaluate the degree of dependence between biometrics variables and digital variables. The results showed the existence of high correlation between biometrics variables basal area, biomass and volume and digital variables reflectance of band 4, SAVI, proportion vegetation, proportion shade and medium textural parameter.

Keywords: primary forest, Linear Spectral Mixture Model, Soil Adjuste Vegetation Index, textura

1. Introdução

Devido à sua dimensão, dificuldade de acesso, e necessidade de análise periódica, o emprego de técnicas convencionais de levantamento da vegetação, na região Amazônica, torna-se proibitivo. Neste contexto, vários trabalhos apresentam o sensoriamento remoto, a partir de sensores orbitais, como ferramenta adequada nas atividades de detecção e avaliação dos recursos naturais desta região.

O presente trabalho desenvolvido em uma área de floresta primária na Amazônia Oriental, vem em seu contexto global, fornecer subsídios aos procedimentos de avaliação de parâmetros florísticos-estruturais da floresta, por meio de dados TM/LANDSAT 5.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o relacionamento das variáveis biométricas densidade das árvores, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies de uma floresta tropical primária, e as variáveis digitais da imagem TM/Landsat, original e processada pelo Modelo de Linear de Mistura Espectral, Índice de Vegetação Ajustado para Influência do Solo e textura.

2. Material e Métodos

2.1. Localização da Área de Estudo

A área de estudo está situada a Nordeste do Estado do Pará, município de Moju, entre as coordenadas geográficas 03°15' e 03°21' de latitude Sul e 49°05' e 49°15' de longitude WGr, tendo sido o levantamento de campo executado em uma área da Fazenda Juriti, propriedade da Empresa CIMATAL S.A.

2.2. Levantamento Florístico-Estrutural da Floresta Primária

O levantamento florístico-estrutural da floresta primária foi realizado em uma área de 500 ha de ocorrência de Floresta Ombrófila Densa, através da locação sistemática de 20 unidades amostrais, orientadas no sentido norte-sul. Em cada unidade amostral de 100 x 100 m foram levantados todos os indivíduos com DAP \geq 40 cm, sendo que para os indivíduos com 10cm \leq DAP < 40cm empregou-se subparcelas de 30 x 30 m.

Para todos os indivíduos levantados foi feita a identificação pelo nome vulgar e o registro do diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (H). Para todas as unidades amostrais foi obtido o posicionamento geográfico com GPS para alocação adequada dos pontos na imagem georeferenciada.

2.3. Cálculo das Variáveis Biométricas da Floresta

As variáveis biométricas estudadas nesta pesquisa foram densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies. Os cálculos foram feitos considerando todos os indivíduos levantados nas unidades de amostra.

A densidade foi definida como o número de árvores por unidade de área (1 ha). A área basal foi computada como sendo a somatória das áreas transversais de todas as árvores expressa em m²/ha.

A estimativa de biomassa foi realizada pelo método indireto, com aplicação da seguinte equação proposta por Brown et al. (1989) para floresta primária:

$$Y = 0,44.(DAP^2.H)^{0,9719}$$

onde,

Y = biomassa aérea do peso seco (kg/árvore);

DAP = diâmetro do caule a 1,3 m de altura do solo (cm);

H = altura total do indivíduo (m).

O volume total de cada indivíduo, expresso em m³, foi obtido pelo produto de sua área transversal e sua altura total e o fator de forma médio para árvores de floresta tropical primária (0,7).

A diversidade florística de cada unidade amostral, foi obtida a partir do Índice de Diversidade de Simpson (D).

2.4. Pré-Processamento de Imagens

Inicialmente foi feito o georreferenciamento da imagem, e em seguida procedeu-se a conversão dos números digitais (DN) para reflectância através da metodologia proposta por Markham e Barker (1986). A conversão dos DN para reflectância minimiza a variabilidade provocada por diferentes condições de iluminação no comportamento espectral dos alvos e permite medições mais absolutas do alvo (Bentz, 1990).

2.5. Processamento de Imagens

Com base na literatura direcionada à análise de áreas florestadas, foram considerados para a geração das imagens proporção os componentes solo, vegetação e sombra, através do modelo

linear de mistura espectral, utilizando-se as bandas 3, 4 e 5. A seleção do pixel puro de cada componente foi realizada na imagem com base no conhecimento de campo e análise da resposta espectral destes nas bandas analisadas.

A fim de promover a melhor caracterização da floresta, foi empregado o índice de vegetação SAVI, proposto por Huete (1988) que objetiva reduzir as influências do solo sob dosséis parcialmente cobertos, sendo expresso pela relação:

$$SAVI = \left(\frac{IVP - VM}{IVP + VM + L} \right) (1 + L)$$

onde,

IVP = reflectância na banda referente ao infravermelho próximo;

VM = reflectância na banda referente ao vermelho;

L = fator de cobertura do solo (0,25).

Para geração de imagens textura utilizou-se a banda do infravermelho próximo, ou seja, a banda 4 do TM, pois pesquisas mostram que esta banda contém mais variabilidade espacial do que as bandas do visível e infravermelho médio, especialmente nas imagens com cobertura de vegetação densa (Chaves, 1992).

A partir das janelas de extração de dados de 3 x 3, e distância 1, foram derivados quatro parâmetros de textura: média, variância, segundo momento angular e homogeneidade, descritos por Haralick et al. (1973).

2.6. Obtenção dos Valores Digitais na Imagem TM e Derivadas

As unidades de amostra de campo foram sobrepostas às imagens de reflectância, imagens SAVI, imagens proporção vegetação, solo e sombra, e nas imagens textura, onde foram extraídos os valores digitais médios dos 9 pixels correspondentes a cada unidade amostral de campo de 100 x 100m.

2.7. Análise de Correlação

Procedeu-se uma análise de correlação entre as variáveis biométricas e digitais a fim de determinar o grau de dependência linear entre elas. As variáveis digitais empregadas na análise foram: reflectância da banda 3 (REF3), reflectância da banda 4 (REF4), reflectância da banda 5 (REF5), imagem índice de vegetação (SAVI), proporção solo (SOL), proporção vegetação (VEG), proporção sombra (SOM), parâmetro de textura média (MED), parâmetro de textura variância (VAR), parâmetro de textura homogeneidade (HOM) e parâmetro de textura segundo momento angular (SMA). As variáveis biométricas analisadas através da função linear foram: densidade (DEN), área basal (AB), biomassa (BIO), volume (VOL) e diversidade (DIV).

3. Resultados e Discussão

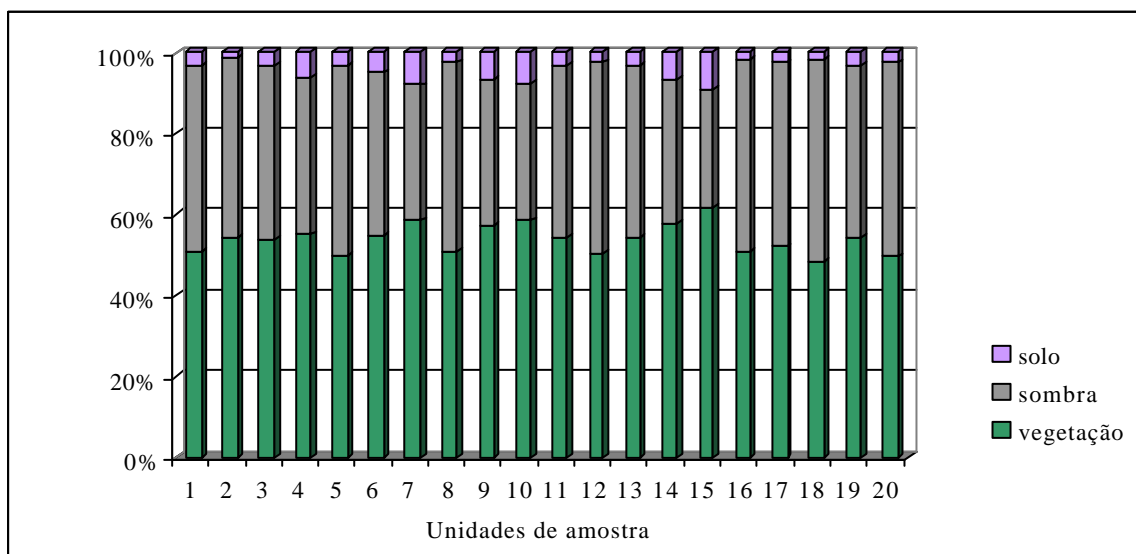
Os resultados obtidos para as variáveis densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies nas 20 unidades de amostra considerando indivíduos com DAP 10 cm, encontram-se na **Tabela 1**, onde observa-se que ainda que a área de estudo esteja dentro de uma mesma unidade fitofisionômica, existe uma grande amplitude de valores entre as unidades de amostra levantadas em relação as variáveis analisadas.

Tabela 1 - Valores de densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies para as 20 unidades de amostra inventariadas (DAP 10 cm) em uma floresta primária, Moju, Pará

Unidade de Amostra	Densidade (n ^o ind/ha)	Área basal (m ² /ha)	Biomassa (ton/ha)	Volume (m ³ /ha)	Diversidade de Simpson (D)
1	410	26,89	295,27	384,9	0,83
2	363	28,52	338,30	451,0	0,87
3	331	32,45	320,59	421,9	0,88
4	310	24,31	283,24	372,0	0,85
5	454	27,92	284,71	367,7	0,88
6	295	24,97	237,17	313,3	0,89
7	295	20,47	227,84	300,2	0,88
8	402	26,94	270,41	353,1	0,88
9	321	22,39	226,53	294,1	0,88
10	195	14,39	143,02	186,5	0,87
11	377	27,21	301,57	395,7	0,82
12	469	27,87	258,44	337,1	0,92
13	511	27,04	257,25	331,5	0,91
14	219	19,53	229,76	301,9	0,90
15	186	10,48	104,24	135,2	0,87
16	436	31,18	342,38	446,0	0,80
17	376	27,48	299,95	393,0	0,89
18	431	29,77	337,06	438,4	0,89
19	472	25,34	285,08	367,1	0,85
20	350	31,42	317,71	418,2	0,78

A análise quantitativa das imagens proporção possibilitou a verificação dos espaços de atributos espectrais ocupados por cada unidade de amostra inventariada em campo, podendo ser visualizados na **Figura 1**.

Figura 1 - Proporções vegetação, solo e sombra, para as unidades amostrais inventariadas em uma área de floresta primária, Moju, Pará



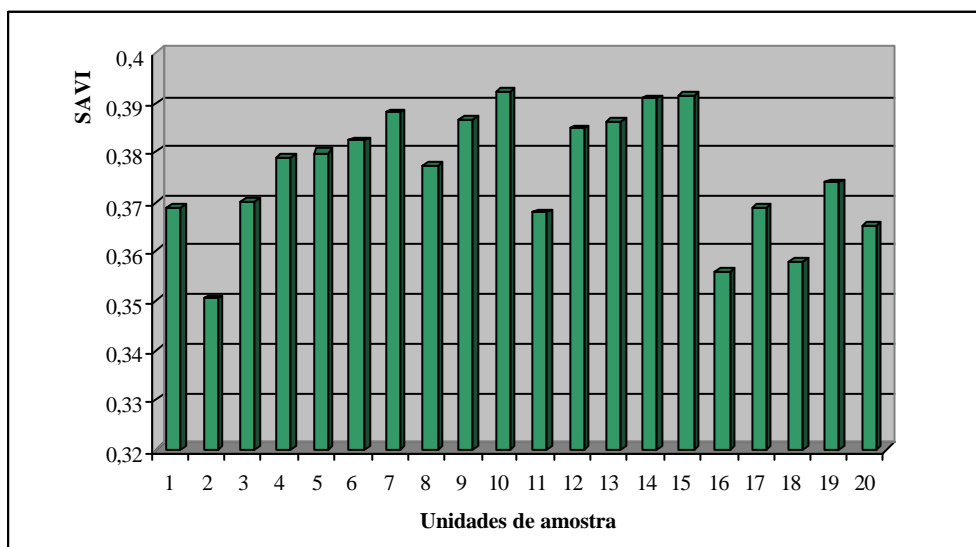
A área de floresta primária inventariada, com indivíduos de diferentes alturas formando vários estratos, caracterizou-se por uma porcentagem média do componente vegetação de 50%, 45% do componente sombra e 5% do componente solo. Essa grande quantidade de vegetação e sombra é explicada por Pires (1982), quando referencia áreas de floresta, em que a seleção natural para o crescimento e para a regeneração é baseada na aptidão de captar luz, formar biomassa, cobrir e fazer sombra sobre os elementos concorrentes.

Os resultados encontrados neste estudo estão próximos aos produzidos por Araújo (1999), que encontrou valores médios próximo a 50% para os componentes vegetação e sombra, e valores de proporção de solo praticamente nulos em uma floresta primária no Estado de Roraima. Bernardes (1998), quando estudou uma área de floresta primária situada na Floresta Nacional do Tapajós - Pará, encontrou proporção de 50% para o componente vegetação e 50% para o componente sombra.

Analisando a **Tabela 1**, onde as unidades de amostra são caracterizadas em função das variáveis biométricas, observou-se que as unidades amostrais 7, 10 e 15 apresentaram valores baixos de área basal, biomassa e volume, esse fato é retratado aqui por uma maior proporção de solo e menor proporção de sombra, bem como alta proporção do componente vegetação (**Figura 1**), o que indica a influência da vegetação de sub-bosque na caracterização espectral dessas unidades amostrais. Verifica-se também que as unidades amostrais 2, 16 e 18, que apresentaram altos valores de área basal, biomassa e volume, apresentam também baixa proporção de solo, indicando que a cobertura formada pelas copas é contínua e o dossel forma uma superfície irregular, causada pela presença de árvores de diferentes alturas, que conseqüentemente produz grande quantidade de sombra.

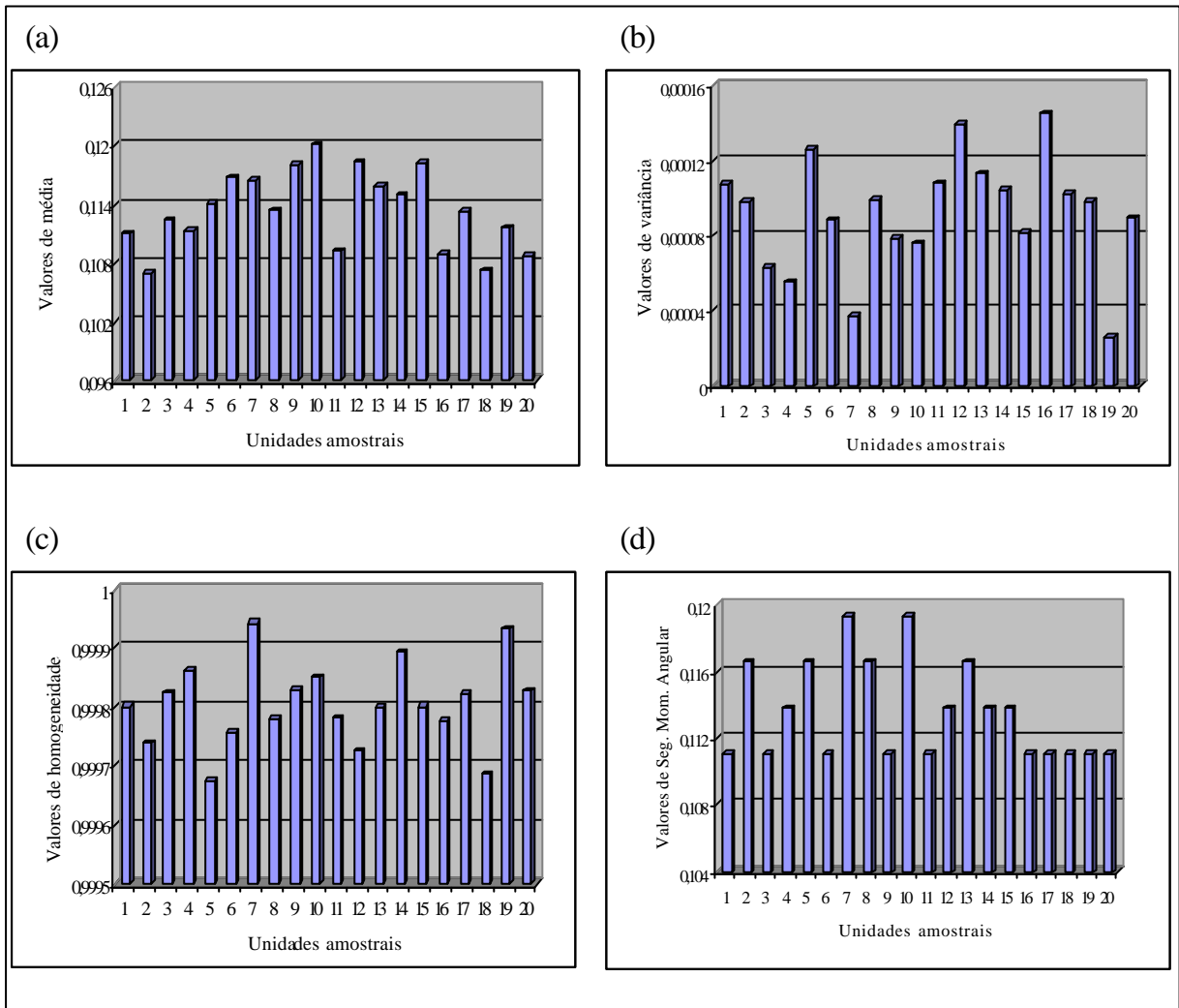
A **Figura 2** apresenta os valores de índice SAVI encontrados para as 20 unidades de amostra levantadas em campo, onde verifica-se que de forma análoga à imagem proporção vegetação, os menores valores de SAVI foram observados nas unidades caracterizadas por altos valores de área basal, biomassa e volume (unidades 2, 16 e 18 - **Tabela 1**), bem como maiores valores de SAVI nas de baixos valores de área basal, biomassa e volume (unidades 10 e 15). Esta diferenciação apresenta-se decorrente, principalmente, da maior ou menor proporção de sombra ocasionada pela estrutura do dossel.

Figura 2 - Índice SAVI (L=0,25) para as unidades amostrais inventariadas em uma área de floresta primária, Moju, Pará



A **Figura 3** demonstra os valores de textura dos parâmetros média, variância, segundo momento angular e homogeneidade encontrados para as 20 unidades de amostra levantadas em campo.

Figura 3 - Valores dos parâmetros texturais das unidades amostrais inventariadas em uma área de floresta primária, Moju, Pará: (a) média; (b) variância; (c) homogeneidade; (d) segundo momento angular



Como pode-se observar em relação às unidades amostrais, o parâmetro média (**Figura 3a**) revelou uma resposta semelhante à resposta do SAVI, ou seja, os maiores valores apresentaram-se nas unidades 10 e 15 que apresentam os menores valores de área basal, biomassa e volume e os menores valores do parâmetro média foram observados nas 2, 16 e 18 que apresentam altos valores de área basal, biomassa e volume.

Para os parâmetros variância, homogeneidade e segundo momento angular (**Figura 3b, 3c e 3d**) não foi possível evidenciar claramente nenhuma relação com as às variáveis biométricas nas unidades amostrais estudadas.

Percebe-se que baixíssimos valores de variância (**Figura 3b**) foram observados para todas as unidades amostrais (entre 0,00002 e 0,00014). Para o parâmetro homogeneidade (**Figura 3c**), que pode variar entre 0 e 1, observa-se valores próximos a 1, indicando pouca variação

local em todas as unidades de amostra, o que produz um baixo contraste, caracterizado por mudanças lentas nos valores dos níveis de cinza.

Para o parâmetro segundo momento angular (**Figura 3d**), que também varia entre 0 e 1, observa-se baixos valores, entre 0,11 e 0,12, ou seja uma pequena variação entre as unidades de amostra, indicando uma baixa uniformidade textural entre as unidades amostrais, conseqüentemente uma alta aleatoriedade provocada pela pouca repetição de pares de níveis de cinza, decorrente, provavelmente, da complexidade estrutural da floresta e das diferentes proporções de sombra e solo presente em cada pixel.

As matrizes de correlação relacionando as variáveis independentes (variáveis digitais) com as variáveis dependentes (variáveis biométricas), através de função linear (**Tabela 2**), possibilitou a determinação do grau de dependência linear entre essas variáveis.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre variáveis biométricas e digitais obtidos através de função linear

	DEN	AB	BIO	VOL	DIV	REF5	REF4	REF3	SAVI	SOL	VEG	SOM	MED	VAR	HOM	SMA
DEN	1,00															
AB	0,74	1,00														
BIO	0,66	0,94	1,00													
VOL	0,55	0,92	0,98	1,00												
DIV	-0,02	-0,24	-0,34	-0,34	1,00											
REF5	-0,31	-0,43	-0,46	-0,39	0,25	1,00										
REF4	-0,45	-0,78	-0,89	-0,90	0,45	0,51	1,00									
REF3	-0,22	-0,21	-0,24	-0,25	-0,26	0,22	0,14	1,00								
SAVI	-0,40	-0,73	-0,83	-0,85	0,51	0,46	0,97	-0,11	1,00							
SOL	0,06	0,21	0,29	0,37	-0,13	0,65	0,32	0,13	-0,35	1,00						
VEG	-0,40	-0,72	-0,84	-0,88	0,43	0,22	0,95	0,05	0,94	-0,60	1,00					
SOM	0,39	0,70	0,84	0,86	0,40	-0,22	-0,94	-0,65	-0,94	0,66	-0,94	1,00				
MED	-0,38	-0,70	-0,81	-0,81	0,58	0,48	0,91	-0,05	0,93	-0,28	0,86	-0,05	1,00			
VAR	0,38	0,33	0,20	0,19	-0,03	-0,17	-0,14	0,26	-0,21	-0,06	-0,11	-0,27	-0,12	1,00		
HOM	-0,34	-0,38	-0,27	-0,24	-0,10	0,21	0,25	-0,37	0,35	0,01	0,22	0,33	0,24	-0,73	1,00	
SMA	0,00	-0,21	-0,23	-0,21	0,39	0,48	0,42	-0,07	0,43	0,16	0,31	0,24	0,41	-0,09	0,10	1,00

DEN - densidade ; AB - área basal; BIO - biomassa; VOL - volume; DIV - diversidade; REF5 - reflectância na banda 5; REF4 - reflectância na banda 4; REF3 - reflectância na banda 3; SAVI - índice de vegetação ajustado para influência do solo; SOL - proporção solo; VEG - proporção vegetação; SOM - proporção sombra; MED - parâmetro textural média; VAR - parâmetro textural variância; HOM - parâmetro textural homogeneidade; SMA - parâmetro textural segundo momento angular.

Através da função linear, observa-se altas correlações negativas (superiores a 0,7) entre as variáveis biométricas AB, BIO e VOL e as variáveis digitais REF4, SAVI, VEG e MED, conforme pode-se verificar em destaque na **Tabela 2**. Fortes correlações também foram evidenciadas entre essas mesmas variáveis biométricas e a variável digital SOM, porém em sentido positivo.

Esses resultados eram esperados uma vez que nos itens anteriormente estudados já havia sido evidenciado que as unidades amostrais que se apresentavam com altos valores para essas variáveis biométricas apresentavam também baixos valores de componente vegetação, SAVI, e parâmetro textural média e altos valores de componente sombra, como é o caso das unidades amostrais 2, 16 e 18; enquanto que os menores valores de área basal, biomassa e volume foram verificados nas unidades 7, 10 e 15 (**Tabela 1**) que apresentaram altos valores de componente vegetação, SAVI, e parâmetro textural média e baixos valores de componente sombra.

Observa-se que na área estudada quanto maior os valores de área basal, biomassa e volume, maior também é a quantidade de sombra, ocasionada pela estrutura irregular do dossel, tal fato provoca uma baixa resposta espectral na banda 4, explicando assim, a alta correlação negativa evidenciada entre a variável REF4 e as variáveis AB, BIO e VOL e a alta correlação positiva com a variável SOM ($r = -0,94$).

Os resultados alcançados neste trabalho ratifica os evidenciados por outros autores para floresta primária na Amazônia. Bernardes (1998) encontrou correlações altas de biomassa e

área basal com as variáveis digitais proporção vegetação, proporção sombra e SAVI. Araújo (1999) estudando a variável biomassa verificou altas correlações com a reflectância na banda 4, proporção vegetação, proporção sombra e SAVI.

As variáveis biométricas DEN e DIV não apresentaram fortes correlações com nenhuma variável digital estudada. A análise da matriz de correlação mostrou ainda a alta correlação entre algumas das variáveis independentes, o que é devidamente esperado, dado o aspecto de redundância das informações, o mesmo acontecendo entre algumas variáveis dependentes.

4. Conclusão

As principais conclusões deste trabalho são:

- A floresta primária estudada caracterizou-se por altos valores de SAVI, grandes proporções dos componentes vegetação e sombra e reduzidas proporções do componente solo;
- MLME, SAVI e parâmetro textural média mostraram-se como bons discriminadores, caracterizando bem o comportamento das intra-classes de floresta primária em termos de área basal, biomassa e volume;
- Para os parâmetros texturais variância, homogeneidade e segundo momento angular não foi possível evidenciar nenhuma relação com as variáveis biométricas estudadas;
- Existe alta correlação negativa entre área basal, biomassa e volume e os valores de reflectância da banda 4, SAVI, proporção vegetação e parâmetro textural média. Fortes correlações, porém em sentido positivo, também existem entre essas mesmas variáveis biométricas e a proporção sombra. As variáveis densidade e diversidade de espécies não apresentam forte correlação com nenhuma variável digital estudada;

5. Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, L.S. *Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/LANDSAT e JERS-1*. São José dos Campos. 129p. (INPE-7253-TDI/696). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.
- BENTZ, C.R. *Avaliação da transformação radiométrica dos dados TM/Landsat-5 em reflectâncias*. São José dos Campos. 172 p. (INPE-5210-TDL/431). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990.
- BERNARDES, S. *Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estádios sucessionais na área de influência da Floresta Nacional do Tapajós - Estado do Pará*. São José dos Campos. 97 p. (INPE-6890-TDI/651). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.
- CHAVEZ, P.S., Comparison of spatial variability in visible and near infrared spectral images. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 58(7):957-964, 1992.
- HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, K.; DINSTEN, I. Textural features for image classification. *IEEE Transaction on systems, man and cybernetics*, v. 3, n. 6, p: 610 – 620. 1973.
- HUETE, A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, Aug. 1988.
- MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. *EOSAT Landsat Technical Notes*. n. 1, 8 p., Ago. 1986.
- PIRES, J. M. Aspectos da vegetação do norte do Brasil. In: Congresso Nacional de Botânica, 32. Teresina, 1981. *Anais*. Teresina: Sociedade Brasileira de Botânica, 1982. p. 157-170.