



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15322-TDI/1365

**CARACTERIZAÇÃO DE FITOFISIONOMIAS EM UMA
FLORESTA DE TERRA-FIRME DA AMAZÔNIA
CENTRAL POR INVENTÁRIO FLORÍSTICO E POR
TEXTURA DE IMAGENS SIMULAÇÃO DO MAPSAR
(MULTI-APPLICATION PURPOSE SAR)**

Taise Farias Pinheiro

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. João Viane Soares e Camilo Daleles Rennó, aprovada em 16
de julho de 2007.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.07.12.51>>

INPE
São José dos Campos
2008

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva e Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15322-TDI/1365

**CARACTERIZAÇÃO DE FITOFISIONOMIAS EM UMA
FLORESTA DE TERRA-FIRME DA AMAZÔNIA
CENTRAL POR INVENTÁRIO FLORÍSTICO E POR
TEXTURA DE IMAGENS SIMULAÇÃO DO MAPSAR
(MULTI-APPLICATION PURPOSE SAR)**

Taise Farias Pinheiro

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. João Viane Soares e Camilo Daleles Rennó, aprovada em 16
de julho de 2007.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.07.12.51>>

INPE
São José dos Campos
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P655c Pinheiro, Taise Farias.

Caracterização de fitofisionomias em uma floresta de terra-firme da Amazônia Central por inventário florístico e por textura de imagens simulação do MAPSAR (Multi-Application Purpose SAR)/ Taise Farias Pinheiro. – São José dos Campos: INPE, 2008.

125p. ; (INPE-15322-TDI/1365)

1. Biomassa. 2. Sensoriamento remoto. 3. Inventários. 4. Imagem de radar. 5. Texturas. 6. Região Amazônica (América do Sul). I. Título.

CDU 528.711.7

Copyright © 2008 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, microfílmico, reprográfico ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

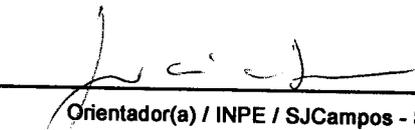
Copyright © 2008 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

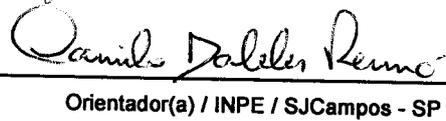
Dr. Yosio Edemir Shimabukuro


Presidente / INPE / SJCampos - SP

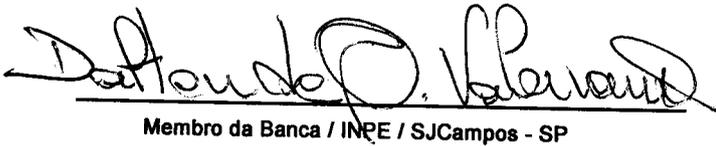
Dr. João Viane Soares


Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Camilo Daleles Rennó


Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Dalton de Morisson Valeriano


Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Bruce Walker Nelson


Membro da Banca / INPA/Manaus / Manaus - AM

Aluno (a): Taise Farias Pinheiro

São José dos Campos, 16 DE JULHO DE 2007

“... Se a Amazônia, sob uma ótica humanista, deve ser internacionalizada, internacionalizemos também as reservas de petróleo do mundo inteiro, o capital financeiro dos países ricos e todos os grandes museus do mundo... Da mesma forma, Nova York, como sede das Nações Unidas, deveria ser internacionalizada, assim como Paris, Veneza, Roma, Londres, Rio de Janeiro, Brasília, Recife, cada cidade, com sua beleza específica, sua história do mundo, deveria pertencer ao mundo inteiro... Se querem internacionalizar a Amazônia, pelo risco de deixá-la nas mãos de brasileiros, internacionalizemos todos os arsenais nucleares dos EUA... Se querem internacionalizar as reservas florestais do mundo em troca da dívida, comecemos usando essa dívida para garantir que cada criança do mundo tenha possibilidade de ir à escola. Internacionalizemos as crianças tratando-as, todas elas, não importando o país onde nasceram, como patrimônio que merece cuidados do mundo inteiro. Quando os dirigentes tratarem as crianças pobres do mundo como um patrimônio da Humanidade, eles não deixarão que elas trabalhem quando deveriam estudar; que morram quando deveriam viver.”

(Cristovam Buarque)

A meus pais Simone e Adalício e a meu irmão Simon

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Dr. João Viane Soares e Dr. Camilo Daleles Rennó pelos ensinamentos nestes anos de mestrado. Obrigada por todo apoio.

Ao INPE pela singular estrutura. Em especial Etel, Lucas e Vera pelo apoio aos alunos.

Aos professores pela formação científica e acadêmica.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao GEOMA pelo financiamento do trabalho de campo.

Ao INPA pelo apoio logístico no trabalho de campo.

Ao Dr. Thiago Izzo, Dr. Bruce Nelson e ao Dr. Niro Higuchi do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Dr. Paulo Prado e Ms. Milton Cezar da Universidade de São Paulo e Dr. Dalton Valeriano do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pelas discussões e importantes sugestões.

A meus pais, Adalício e Simone, e meu irmão Simon, pelo apoio, carinho e incentivo desde a época que eu decidi ficar um pouquinho longe deles. A todos meus tios e tias, especialmente minha madrinha Nena, minha segunda mãe, pela criação e carinho dedicados ao longo de toda minha vida. Aos meus avôs e avós, em especial minha avó Marietinha, por todo o carinho.

Ao Tiago, meu apoio, meu amigo, meu amor. Obrigada pela paciência nestes dois anos, que não foram fáceis. Eu desejo toda a felicidade do mundo para você.

À turma de Uruçuca, lá no sul da Bahia. Não há quem fique triste ao lado de vocês. Obrigada pelo apoio e amizade.

Aos meus amigos da faculdade que sempre estiveram presente nas minhas decisões, especialmente minha amigas Manoela e Nayara. Amo vocês.

A todos aqueles que confiaram em mim e no meu trabalho.

RESUMO

Sob a premissa de que nas florestas de terra firme da Amazônia Central a variação florística e estrutural sofrem influência do relevo e da proximidade da rede de drenagem, este estudo teve o objetivo de: 1) descrever a composição florística e a estrutura horizontal e vertical ao longo da toposequência; 2) desenvolver modelos preditivos de biomassa a partir de equações alométricas e atributos de textura de imagens de radar. A textura foi extraída de imagens multipolarizadas (HH, HV e VV), em banda L, de simulação do *Multi-Application Purpose SAR* (MAPSAR). A área de estudo está situada na microbacia do Igarapé Asu, localizada a 80Km ao norte de Manaus. A vegetação foi dividida em três estratos de acordo com a posição topográfica: platô, vertente e baixio. Foram amostrados cinco transectos (6,6ha), sub-divididos em parcelas de 20x25m. A amostragem incluiu todas as palmeiras, com qualquer DAP, e dicotiledôneas com $DAP \geq 10\text{cm}$. O levantamento florístico e fitossociológico foi feito em três transectos (2,55ha), sendo que a identificação taxonômica foi realizada em campo. Foram estimados parâmetros relativos ao índice de valor de importância para cada espécie (IVI) e família (IVIf). Uma análise de ordenação pelo método *Non-metric multidimensional scaling* (NMS) foi utilizada para gerar hipóteses sobre o padrão florístico na área. Para estimativa da biomassa, área basal e altura, utilizou-se os cinco transectos. A ANOVA foi utilizada para comparar a biomassa entre as fitofisionomias. Para estas mesmas áreas, atributos de textura para cada polarização foram extraídas e relacionadas à biomassa por regressão múltipla. No inventário, foram registradas 113 espécies, 73 gêneros e 33 famílias. Segundo o NMS, existem ao menos duas comunidades vegetais distintas na área, pois a abundância e a composição de espécies foi similar entre o platô e a vertente e diferente do baixio. Nas unidades platô e vertente, a superposição de espécies mais importantes foi de 55%, enquanto que entre o platô e o baixio foi de 40%. *Arecaceae* obteve elevado IVIf apenas no baixio, indicando a tolerância de algumas espécies de palmeiras ao solo encharcado. A estimativa de biomassa foi de 346 ton/ha, 325 ton/ha e 270 ton/ha para o platô, a vertente e o baixio, respectivamente, sendo significativamente diferente somente entre platô e baixio. A contribuição das palmeiras foi superior nos baixios, mas a sua contribuição para biomassa total foi menos de 1%. Uma amostragem da biomassa apenas de áreas de platô, como normalmente é realizado, superestimaria a biomassa da vertente em 2 a 11% e a biomassa do baixio em 21,8 a 22,11% (IC de 95%). O modelo preditivo indicado pela regressão múltipla incluiu as variáveis mediana (VV), variância da log-normal (VV) e contraste (HH) ($r^2 = 0,72$, $p < 0,01$). Estes resultados indicam que a abordagem estratificada dos ambientes é a melhor forma de investigar as florestas de terra firme da Amazônia Central em termos de diversidade florística e estrutural.

**PHYTOPHYSIONOMIC CHARACTERIZATION OF A CENTRAL AMAZON
UPLAND FOREST FROM FLORISTIC INVENTORY AND TEXTURE OF
IMAGES FROM SIMULATED MAPSAR (Multi-Application Purpose SAR)**

ABSTRACT

Considering the structure and floristic composition in the upland forest in Central Amazon are influenced by water availability and thus, by proximity to drainage network, this study had two objectives: 1) to describe its floristic composition and its vertical and horizontal structure and; 2) to develop predictive models to estimate biomass, using allometric equations and radar image textures features from radar images. These texture features were extracted from multipolarized (HH, HV and VV) and L-band SAR images from Multi-Application Purpose SAR (MAPSAR). The studied area was the Asu Basin located about 80 km north of Manaus. The vegetation was divided into three strata according to topographic position: plateau, slope and lowland. Five transects (6.6ha) were sampled and each one was subdivided into 20 by 25m plots. In the sampling, all palm trees, with any DBH as well as dicotyledons with $DBH \geq 10\text{cm}$ were recorded. Three transects (2.55ha) were used to describe the floristic composition and the phytosociological structure. The taxonomic identification was done in field. Importance value index was calculated for each species (IVI) and family (IVIf). An ordination analysis, Non-metric Multidimensional Scaling (NMS), was performed to identify gradients in vegetation along the toposequence. All five transects were used to estimate basal area, height and tree density parameters and biomass by allometric equations. ANOVA was used to compare biomass among the three strata. Texture features for all polarizations were calculated for the same areas. These features were related to biomass by multiple regression. In the whole floristic inventory, 113 species, 73 genres and 33 families were recorded. According to the NMS, the community was divided into two main floristic zones: the abundance and composition of plateau and slope species were similar yet significantly different from lowland species. The overlay of species between plateau and slope was 55% whereas 40% between plateau and lowland. Arecaceae was important only in lowland, signalling the influence of soil water availability for palm trees. The estimates of biomass in plateau, slope, and lowland were 346 ton ha^{-1} , 325 ton ha^{-1} e 270 ton ha^{-1} respectively. Biomass was different only between plateau and lowland. Palm tree biomass was greater in lowland than that of plateau and slope, yet its contribution for the whole biomass was less than 1%. Extrapolating plateau sampling, as it is usually performed, would overestimate the slope biomass in 2 to 11% and lowland biomass in 21.8 to 22.11% (CI 95%). Predictive model select by regression analysis included texture features median and variance of log-normal in VV polarization and contrast texture feature in HH polarization ($r^2 = 0,72$, $p < 0,01$). These results showed the stratified sampling is the best way to investigate the upland forest in Central Amazon, since some species are associated with specific topographic and hydrologic conditions.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL | 27 |
| 1.1 Organização da dissertação | 29 |
| CAPÍTULO 2 ÁREA DE ESTUDO..... | 31 |
| 2.1 Caracterização fisiográfica e vegetacional | 31 |
| 2.2 Seleção dos transectos | 36 |
| CAPÍTULO 3 FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLOGIA DE TOPOSEQUÊNCIAS EM UMA FLORESTA DE TERRA FIRME DA AMAZÔNIA CENTRAL..... | 43 |
| 3.1 Introdução..... | 43 |
| 3.2 Material e Métodos..... | 45 |
| 3.2.1 Inventário florístico | 45 |
| 3.2.2 Análise dos dados | 46 |
| 3.2.2.1 Aspectos florísticos e fitossociológicos..... | 46 |
| 3.2.2.2 Diversidade..... | 47 |
| 3.2.2.3 Similaridade florística | 47 |
| 3.3 Resultados..... | 50 |
| 3.3.1 Aspectos estruturais..... | 50 |
| 3.3.2 Aspectos florísticos e fitossociológicos..... | 54 |
| 3.3.2.1 Palmeiras e dicotiledôneas com DAP \geq 10cm..... | 54 |
| 3.3.2.2 Palmeiras acaule e palmeiras arbóreas com DAP \leq 10cm | 61 |
| 3.3.3 Aspectos ecológicos | 62 |
| 3.3.4 Similaridade florística | 62 |
| 3.3.4.1 Palmeiras e dicotiledôneas com DAP \geq 10cm..... | 62 |
| 3.3.4.2 Palmeiras acaule e palmeiras arbóreas com DAP \leq 10cm | 66 |
| 3.4 Discussão..... | 67 |
| 3.4.1 Contexto regional | 69 |
| CAPÍTULO 4 ESTIMATIVA DE BIOMASSA POR TEXTURA DE IMAGENS DE RADAR SIMULADAS PARA O MAPSAR (Multi-Application Purpose SAR) EM UMA FLORESTA DE TERRA-FIRME DA AMAZÔNIA CENTRAL | 73 |
| 4.1 Introdução..... | 73 |
| 4.2 Material e Métodos..... | 76 |
| 4.2.1 Aquisição e processamento das imagens de simulação do MAPSAR | 76 |

| | |
|---|------------|
| 4.2.2 Estimativa de biomassa por equações alométricas | 77 |
| 4.2.3 Extração dos atributos de textura das imagens SAR | 78 |
| 4.2.4 Análise dos dados | 81 |
| 4.3 Resultados..... | 84 |
| 4.3.1 Estimativa de biomassa por equações alométricas | 84 |
| 4.3.2 Relação entre atributos de textura e biomassa..... | 89 |
| 4.4 Discussão | 100 |
| 4.4.1 Estimativa de biomassa por equações alométricas | 100 |
| 4.4.2 Modelos preditivos de biomassa baseados em atributos de textura | 102 |
| CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES | 105 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 109 |
| APÊNDICE A | 117 |
| APÊNDICE B | 121 |
| APÊNDICE C | 125 |

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 2.1 Imagem de radar de simulação do <i>Multi-Application Purpose SAR</i> (MAPSAR) na composição L-VV(R), L-HH(G) e HV(B), com a localização da Microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM..... | 32 |
| 2.2 Unidades topográficas típicas da Amazônia Central..... | 33 |
| 2.3 Fitofisionomia de platô típica do ambiente de terra firme da Amazônia Central . | 35 |
| 2.4 Fitofisionomia de vertente típica do ambiente de terra firme da Amazônia Central | 36 |
| 2.5 Fitofisionomia de baixio típicas do ambiente de terra firme da Amazônia Central | 36 |
| 2.6 Modelo digital de elevação do SRTM indicando a localização dos cinco transectos marcados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM. Os números 1,2,3,4 e 5 denominam os transectos selecionados. Áreas mais claras na imagem indicam os platôs, enquanto as áreas mais escuras indicam os vales..... | 38 |
| 2.7 Perfil altimétrico do transecto 1 | 40 |
| 2.8 Perfil altimétrico do transecto 2 | 40 |
| 2.9 Perfil altimétrico do transecto 3 | 40 |
| 2.10 Perfil altimétrico do transecto 4 | 41 |
| 2.11 Perfil altimétrico do transecto 5 | 41 |
| 3.1 Número médio de indivíduos com DAP ≥ 10 cm em cada classe diamétrica para as fitofisionomias da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-Am. Classes de DAP: (A): $10 \leq DAP < 20$; (B): $20 \leq DAP < 30$; (C): $30 \leq DAP < 40$; (D): $40 \leq DAP < 50$; (E): $50 \leq DAP < 60$; (F): $60 \leq DAP < 70$; (G): $DAP \geq 70$ cm | 51 |
| 3.2 Número médio de indivíduos com DAP ≥ 10 cm (indicando os três maiores indivíduos identificados ao menos por gênero) presentes em classes de altura para as fitofisionomias da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM. Classes de altura: (A): $0 \leq H < 10$; (B): $10 \leq H < 20$; (C): $20 \leq H < 30$; (D): $30 \leq H < 40$; (E): $40 \leq H < 50$; (F): $H \geq 50$ cm..... | 52 |
| 3.3 Relação das 10 espécies com maior índice de valor de importância nos ambientes de platô da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM. | 57 |
| 3.4 Relação das 10 espécies com maior índice de valor de importância nos ambientes de vertente da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM. | 57 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.5 | Relação das 10 espécies com maior Índice de valor de importância nos ambientes de baixo da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM..... | 58 |
| 3.6 | Índice de importância familiar (IVIf) das famílias mais importantes para a fitofisionomia platô na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM..... | 60 |
| 3.7 | Índice de importância familiar (IVIf) das famílias mais importantes para a fitofisionomia vertente na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM..... | 60 |
| 3.8 | Índice de importância familiar (IVIf) das famílias mais importantes para a fitofisionomia baixo na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM..... | 61 |
| 3.9 | Curva acumulativa de espécies baseado na área amostrada dos ambientes de platô, vertente e baixo da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM..... | 62 |
| 3.10 | Composição florística dos ambientes de platô, vertente e baixo, resumida nos dois eixos que melhor representaram a variação do conjunto de dados para indivíduos com $DAP \geq 10$ cm. | 64 |
| 3.11 | Composição florística dos ambientes de platô, vertente e baixo, resumida nos eixos 1 e 2 para indivíduos com $DAP \geq 10$ cm. | 64 |
| 3.12 | Efeito da distância geográfica sobre a similaridade média ao longo da toposequência para todos transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM. | 66 |
| 3.13 | Composição florística dos ambientes de platô, vertente e baixo resumida no único eixo que representou a variação do conjunto de dados para palmeiras acaule e palmeiras arbóreas com $DAP \leq 10$ cm, na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM..... | 67 |
| 4.1 | Transectos vetorizados para o cálculo dos atributos de textura na imagem simulação do MAPSAR, da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM..... | 79 |
| 4.2 | Biomassa média (ton/ha) para palmeiras e dicotiledôneas com $DAP \geq 10$ cm em cada fitofisionomia da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM, indicando com letras minúsculas os grupos estatisticamente diferentes pelo teste Tukey..... | 86 |
| 4.3 | Variação da estimativa de biomassa total em cada fitofisionomia amostrada na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM. | 87 |
| 4.4 | Biomassa estimada por parcela no baixo do transecto 5, indicando as parcelas consideradas atípicas, na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM..... | 87 |
| 4.5 | Número de indivíduos arbóreos de grande porte situado no baixo de todos os transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM..... | 88 |

| | | |
|------|--|-----|
| 4.6 | Variação da estimativa de biomassa total arbórea em cada fitofisionomia amostrada na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM, após exclusão de amostras atípicas..... | 89 |
| 4.7 | Relação entre a biomassa estimada pelas medidas de textura mediana (VV), variância da log-normal (VV), dissimilaridade (VV) e <i>cluster shade</i> (VV) e a biomassa obtida estimada por equações alométricas em todas as fitofisionomias..... | 91 |
| 4.8 | Seleção das variáveis de acordo com o critério R^2_p . Em destaque no círculo vermelho, está o melhor subconjunto de variáveis..... | 91 |
| 4.9 | Seleção das variáveis de acordo com o critério R^2_a . Em destaque no círculo vermelho, está o melhor subconjunto de variáveis..... | 92 |
| 4.10 | Seleção das variáveis de acordo com o critério C_p . Em destaque no círculo vermelho, está o melhor subconjunto de variáveis..... | 92 |
| 4.11 | Relação entre a biomassa estimada pelas medidas de textura mediana (VV), variância da log-normal (VV), e <i>cluster shade</i> (VV) e a biomassa obtida estimada por equações alométricas em todas as fitofisionomias..... | 93 |
| 4.12 | Relação entre a biomassa estimada pelas medidas de textura mediana (VV) e variância da log-normal (VV) e a biomassa obtida estimada por equações alométricas em todas as fitofisionomias..... | 94 |
| 4.13 | Relação entre a biomassa estimada pelas medidas de textura mediana (VV), variância da log-normal (VV) e contraste (HV) e a biomassa obtida estimada por equações alométricas em todas as fitofisionomias..... | 95 |
| 4.14 | Gráfico de probabilidade normal dos resíduos do modelo final incluindo as variáveis mediana (VV), variância da log-normal (log) (VV) e contraste (HH)... | 96 |
| 4.15 | Relação entre os resíduos padronizados e a variável explicativa mediana (VV), com intervalo de confiança de 95% | 97 |
| 4.16 | Relação entre os resíduos padronizados e a variável explicativa variância da log-normal (VV), com intervalo de confiança de 95% | 97 |
| 4.17 | Relação entre os resíduos padronizados e a variável explicativa contraste (HH), com intervalo de confiança de 95% | 98 |
| 4.18 | Relação entre a variável média na polarização HH e a biomassa estimada por equações alométricas para microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM..... | 99 |
| 4.19 | Relação entre a variável média na polarização VV e a biomassa estimada por equações alométricas para microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM..... | 100 |
| 4.20 | Relação entre a variável média na polarização HV e a biomassa estimada por equações alométricas para microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM..... | 100 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Número médio de indivíduos (n° indi/500m ²) e estimativa média da área basal (AB: m ² /ha) de palmeiras e dicotiledôneas com DAP \geq 10 cm em cada fitofisionomia da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM. (Por estarem próximos, os dados do platô nos transecto 1 e 2 foram agrupados. A localização dos ambientes pode ser identificada nas figuras 2.7, 2.8 e 2.9)..... | 53 |
| 3.2 | Número de espécies e de indivíduos registrado por transecto nos ambientes de platô, vertente e baixio da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM. (Os números 1,2 e 3 identificam os transectos) | 54 |
| 3.3 | Relação das espécies localmente exclusivas a cada fitofisionomia na microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM. Indicadas com o asterisco estão as espécies exclusivas com menos de 5% de chance de ocorrerem ao acaso em apenas um ambiente | 56 |
| 4.1 | Parâmetros previstos de operação do radar orbital MAPSAR (HR = <i>High resolution</i> , MR = <i>Medium resolution</i> , LR = <i>Low resolution</i> , SPM = <i>Single polarization mode</i> , DPM = <i>dual polarization mode</i> , QPM = <i>Quad polarization mode</i>) | 77 |
| 4.2 | Equações alométricas utilizadas para estimar a biomassa seca acima do solo (kg ha ⁻¹) de árvores e palmeiras. As equações são baseadas no diâmetro à altura do peito (DAP, em cm) e/ou altura (H, em metros). | 78 |
| 4.3 | Medidas de textura classificadas em distribucionais e de co-ocorrência extraídas das imagens HH, HV e VV para a microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM. | 80 |
| 4.4 | Biomassa média (ton/ha) para palmeiras e dicotiledôneas com DAP \geq 10 cm em cada fitofisionomia da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM. (Para cada categoria tem-se o valor de probabilidade da ANOVA. Por estarem próximos, os platôs dos transectos 1 e 2 foram agrupados. A localização de cada ambiente pode ser identificada nas figuras 2.7 a 2.11) | 85 |
| 4.5 | Parâmetros da regressão múltipla para o modelo completo, gerado entre a biomassa de campo (n = 18 medidas) e atributos de textura calculados na imagem VV. Em negrito está a variável estatisticamente significativa. | 90 |
| 4.6 | Parâmetros da regressão múltipla para o modelo reduzido, gerado entre a biomassa de campo e atributos de textura calculados na imagem VV | 93 |
| 4.7 | Parâmetros da regressão múltipla para o modelo gerado entre a biomassa de campo e atributos de textura calculados na imagem VV | 93 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 4.8 | Parâmetros da regressão múltipla para o modelo final, gerado entre a biomassa de campo e atributos de textura calculados na imagem VV e HH | 94 |
| 4.9 | Resultados dos testes de <i>Levene</i> modificado para cada modelo ajustado | 96 |
| A.1 | Lista das espécies com $DAP \geq 10\text{cm}$ registradas nas fitofisionomias amostradas da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM..... | 119 |
| A.2 | Lista das palmeiras acaule e com $DAP \leq 10\text{cm}$ registradas nas fitofisionomias amostradas da microbacia do Igarapé Asu, Manaus - AM..... | 120 |
| B.1 | Dados de biomassa para fitofisionomia platô, em ton por unidade amostral (ua) e por hectare (ha) em todos os transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus - AM | 121 |
| B.2 | Dados de biomassa para fitofisionomia vertente, em ton por unidade amostral (ua) e por hectare (ha) em todos os transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus - AM | 122 |
| B.3 | Dados de biomassa para fitofisionomia baixio, em ton por unidade amostral (ua) e por hectare (ha) em todos os transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus - AM | 123 |
| C.1 | Matriz de correlação entre as medidas de textura extraídas das imagens HH, HV e VV para microbacia do Igarapé Asu, Manaus - AM | 125 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------------------|---|
| ANOVA | - Análise de Variância |
| DAP | - Diâmetro à altura do peito |
| DCA | - <i>Detrended correspondence analysis</i> |
| DFFITS | - Diferença Padronizada na Estimativa da <i>iésima</i> Observação |
| DLR | - <i>German Aerospace Center</i> |
| DPM | - <i>Dual polarization mode</i> |
| ENVI | - <i>Environment for Visualizing Images</i> |
| GEOMA | - Rede Temática de Pesquisa em Modelagem Ambiental da Amazônia |
| GPS | - <i>Global Position Satellite</i> |
| HR | - <i>High resolution</i> |
| IVI | - Índice de valor de importância |
| IVIf | - Índice de valor de importância familiar |
| INPE | - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| LR | - <i>Low resolution</i> |
| MAPSAR | - <i>Multi-Application Purpose SAR</i> |
| MDE | - Modelo digital de elevação |
| MR | - <i>Medium resolution</i> |
| NMS | - <i>Non-metric Multidimensional Scaling</i> |
| PCA | - <i>Principal components analysis</i> |
| PDBFF | - Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais |
| PRESS _p | - <i>Prediction Sum of Squares</i> |
| QPM | - <i>Quad polarization mode</i> |
| RA | - <i>Reciprocal averaging</i> |
| RADAR | - Radio Detection and Ranging |
| RGB | - <i>Red, Green, Blue</i> |
| SAR | - <i>Synthetic Aperture Radar</i> |
| SIPAM | - Sistema de Proteção da Amazônia |

| | |
|------|---|
| SPM | - <i>Single polarization mode</i> |
| SRTM | - <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> |
| SQE | - Soma dos Quadrados dos Erros |
| VIF | - Fator de Inflação da Variância |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------------------|--|
| Lhh | - Polarização paralela horizontal (em banda L) |
| Lvv | - Polarização paralela vertical (em banda L) |
| Lhv | - Polarização cruzada (em banda L) |
| σ° | - Coeficiente de retroespalhamento |
| α | - Nível de Significância |
| β | - Parâmetro da análise de regressão |
| B | - Estimador do parâmetro da análise de regressão |
| Cp | - Critério de Mallow para seleção de variáveis |
| F | - Valor da distribuição F de Fisher |
| F* | - Valor do teste estatístico F calculado |
| R ² | - Coeficiente de determinação |
| R ² _p | - Critério R ² para seleção de variáveis |
| R ² _a | - Critério R ² ajustado para seleção de variáveis |
| t | - Valor da distribuição t-student |
| t* | - Valor do teste estatístico t-student calculado |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

A importância das florestas tropicais no ciclo global do carbono deve-se à capacidade desse ecossistema em armazenar, absorver e emitir carbono para a atmosfera (Lugo e Brown, 1992; Malhi e Grace, 2000; Grace, 2004). As mudanças de uso da terra aumentam a liberação dos estoques de carbono contidos na vegetação e no solo para a atmosfera (Fearnside, 1996), interferindo, dessa forma, no ciclo hidrológico e no clima global (Artaxo, 2004). No Brasil, a pressão para conversão das florestas vem principalmente da pecuária (Asner et al., 2004), atividade que historicamente é pouco rentável nos solos pobres da Amazônia, sendo que o plantio de soja vem se tornando uma atividade bastante expressiva a cada ano.

O carbono estocado na vegetação e que, potencialmente, pode ser liberado para a atmosfera por atividades antrópicas, pode ser quantificado através de estimativas de biomassa, obtida por inventários florestais (Castilho, 2004). Estima-se que o carbono constitui cerca de 48% do peso seco da biomassa viva acima do solo, possibilitando que as tendências futuras no ciclo global do carbono possam ser avaliadas pelo monitoramento da dinâmica da biomassa florestal (Malhi e Grace, 2000). Conhecer a biomassa que compõe as florestas e sua variação espacial nas regiões tropicais é de grande importância para se avaliar corretamente a quantidade de carbono emitido para atmosfera com as mudanças de uso da terra (Houghton, 2005).

Acredita-se que os erros associados ao balanço de carbono terrestre originam-se de incertezas sobre a taxa de desmatamento e sobre a biomassa presente em cada área florestal desmatada (Houghton, 2005). Atualmente, não há um consenso se os períodos em que verifica-se uma tendência ao acúmulo de biomassa nas florestas tropicais são devido à diminuição do desmatamento ou se mais florestas com menor biomassa estão sendo convertidas. Isto sugere que grande parte das modificações no estoque de biomassa nas

florestas tropicais, ao longo de décadas, é resultado de incertezas nas estimativas e não refletem de fato uma tendência ao acúmulo ou diminuição de biomassa (Houghton, 2005).

Embora atenção tem sido dada à estimativa de liberação de carbono para a atmosfera considerando diferentes fitofisionomias (Houghton et al., 2001), ainda são necessários estudos em função da grande heterogeneidade espacial da Amazônia. Apesar de um considerável número de inventários ser realizado na Amazônia, muitos são incompletos, tendenciosos, obsoletos ou de difícil comparação (Houghton, 2005). Uma comparação entre sete inventários realizados para estimar a biomassa na Amazônia revelou uma amplitude de 39 PgC a 93 PgC entre as estimativas, não havendo um consenso sobre a localização geográfica das áreas com menor e maior biomassa (Houghton et al., 2001).

Extrapolações realizadas a partir de um valor médio de biomassa para toda Amazônia, podem resultar em estimativas tendenciosas se a coleta dos dados não for realizada de forma correta, pois implica em generalizar atributos dos ecossistemas sem uma base confiável para extrapolação espacial (Castilho, 2004; Houghton, 2005). Estimativas confiáveis para grandes áreas devem ser obtidas de amostras aleatórias, replicáveis, de tamanho adequado, dispostas a cobrir toda a área em questão ou estratificada de acordo com alguma classificação espacial ou vegetal (Brown e Lugo, 1992; Clark e Clark, 2000; Keller et al., 2001; Houghton et al., 2001).

Na Amazônia, a estrutura e a florística de uma fitofisionomia depende de fatores topográficos, edáficos, hidrológicos, por condicionar uma distribuição não aleatória das espécies e o crescimento diferencial dos indivíduos (Clark et al., 1999; Hay, 1995; Magalhães et al., 1998; Ribeiro et al., 1994). Portanto, a variação topográfica pode ser considerada o gradiente principal de habitat e deve ser levada em consideração na seleção dos locais de amostragem (Castilho, 2004).

Dada a heterogeneidade ambiental e a imensidão territorial da Amazônia, a possibilidade da biomassa acima do solo ser monitorada por dados de sensoriamento remoto é uma

alternativa bastante promissora. Isto porque, suas características tornam medidas sistemáticas de biomassa em campo com alto custo logístico e, conseqüentemente, baixa frequência temporal, limitando o monitoramento da biomassa a intervalos de 10 anos, quando ocorre (Houghton, 2005).

Apesar do seu limitado uso em florestas tropicais, recentes sensores, incluindo o radar de abertura sintética (SAR, do inglês *Synthetic Aperture Radar*) mais avançados, possuem diferentes polarizações (HH, HV e VV) e diversos comprimentos de onda, melhorando a qualidade da informação obtida (Waring et al., 1995). Atributos de textura têm sido utilizados para discriminar tipos florestais e classes de uso em imagens SAR, sendo um parâmetro bastante interessante a ser explorado no estabelecimento de modelos preditivos de biomassa. Neste trabalho, foram utilizadas imagens inéditas de simulação do MAPSAR (*Multi-Application Purpose SAR*), fruto de uma iniciativa de cooperação entre o INPE e a Agência Aeroespacial da Alemanha (*German Aerospace Center*), para o desenvolvimento de um estudo de viabilidade de construção de um radar orbital.

Uma importante iniciativa no estudo dos ambientes Amazônicos é formada por um grupo de instituições que forma a Rede Temática GEOMA (Rede temática de pesquisa em modelagem ambiental da Amazônia). Esta rede tem subsidiado estudos que têm entre os objetivos desenvolver modelos integrados em múltiplas escalas que incorporem mudanças de uso da terra, condicionantes climáticos, hidrológicos e ecológicos. O presente estudo insere-se dentro desta temática, especificamente dentro do grupo de Física Ambiental, que tem como objetivo geral entender como as mudanças do uso e cobertura da terra modificam o escoamento das bacias hidrológicas em diferentes escalas espaciais e temporais.

1.1 Organização da dissertação

Os capítulos subseqüentes têm como objetivo geral caracterizar a variação estrutural da vegetação, associada à topografia e a proximidade da rede de drenagem nas florestas de terra-firme da Amazônia Central. No capítulo dois encontra-se a descrição dos aspectos fisiográficos e vegetacionais da área de estudo, além de uma descrição detalhada da coleta

dos dados que serviram de base para alcançar os objetivos descritos nos capítulos três e quatro. No capítulo três encontra-se a descrição da composição florística ao longo da toposequência pelos aspectos florísticos, fitossociológicos e ecológicos de cada ambiente, a partir de inventário florístico. O capítulo quatro descreve a variação espacial da biomassa obtida por equações alométricas, relacionada ao gradiente topográfico. Uma vez atestada a diferença de biomassa entre estas fitofisionomias, modelos preditivos de biomassa foram estabelecidos a partir da biomassa estimada em campo e medidas de textura extraídas de imagens do SAR aerotransportado de simulação do *Multi-Application Purpose SAR* (MAPSAR). O capítulo cinco sintetiza os resultados obtidos nos capítulos três e quatro, apontando algumas tendências futuras para os inventários florísticos e estimativas de biomassa na Amazônia Central.

CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDO

2.1 Caracterização fisiográfica e vegetacional

A microbacia do igarapé Asu está inserida na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), na margem esquerda da estrada vicinal ZF-2, a 80 Km ao norte de Manaus, Amazônia Central (2° 36' S e 60° 12' O). Possui uma área de drenagem de cerca de 6,37 Km², sendo uma das unidades que compreendem o sistema hidrográfico da bacia do Cuieiras (Figura 2.1). O igarapé Asu é classificado como de 2^a ordem, por ser um riacho de cabeceira, formado pela confluência de cinco igarapés de 1^a ordem.

O clima da região é Am na classificação de Koppen, apresentando alternância de uma longa estação úmida entre dezembro e maio, e uma estação seca que ocorre entre agosto e novembro (RADAM, 1978). O clima é caracterizado como quente e úmido, com temperatura média anual oscilando entre 25,6° C e 27,6° C, precipitação anual entre 1.355 e 2.839mm e umidade relativa do ar variando de 84 a 90%, ao longo do ano (Oliveira e Amaral, 2004). Entre os meses março e abril a precipitação média mensal pode exceder 300mm.

A topografia do terreno consiste basicamente de planos suaves com declives moderados, dissecados pela rede hidrográfica, ligados por vertentes convexas aos vales planos periodicamente alagados na estação chuvosa. Os platôs da região podem atingir uma altitude entre 90 e 120m, enquanto a altitude dos baixios varia entre 45 e 55m. A largura dos platôs da região é relativamente pequena, variando entre 500 e 1000m (Chauvel, 1982).

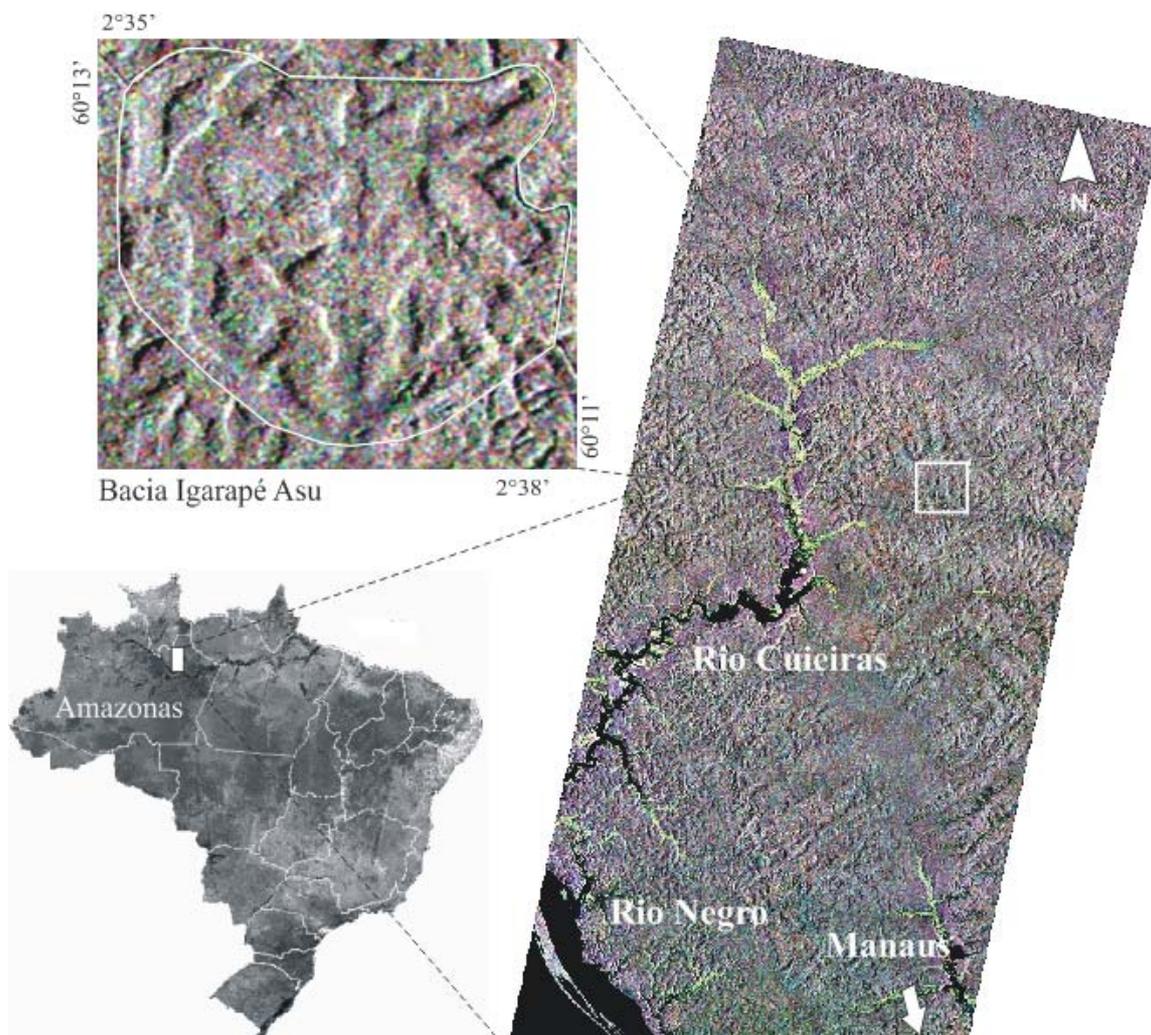


Figura 2.1 - Imagem de radar de simulação do *Multi-Application Purpose SAR* (MAPSAR) na composição L-VV(R), L-HH(G) e HV(B), com a localização da Microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM

O material original dos solos encontrado na área que compreende a bacia do rio Cuieiras é composto pelos sedimentos terciários do Grupo Barreiras (Alter do Chão). Estes sedimentos são essencialmente constituídos de minerais resistentes à alteração, tais como caolinita, quartzo, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (Ranzani, 1980; Sombroek, 2000). Na região, a composição dos solos é fortemente condicionada pela topografia (Figura 2.2).

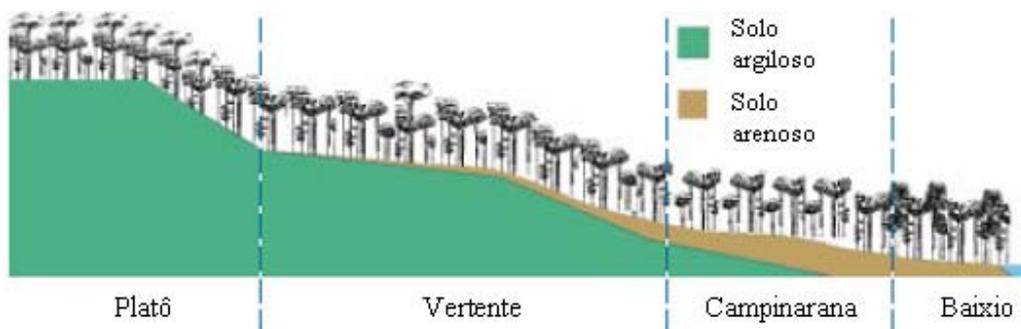


Figura 2.2 - Unidades topográficas típicas da Amazônia Central

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (1999).

Os solos mais extensivamente encontrados na bacia hidrográfica do Cuieiras são do tipo latossolos amarelos álicos, argilosos (tipicamente entre 45-75%), que ocupam a superfície dos platôs. São caracterizados pela presença de um horizonte médio poroso e fortemente microagregado, situado entre dois horizontes menos porosos (Chauvel, 1982). Nas vertentes, os solos são do tipo Podzólicos Vermelho-Amarelo, com características dos platôs e dos baixios (Ferraz et al., 1998). Nestas áreas ocorre a podzolização dos solos, causado principalmente pelo movimento lateral da água. Neste processo, ocorre essencialmente a translocação de argila e de compostos organo-minerais dentro do perfil entre os horizontes A e B do solo. Isto faz com que as vertentes caracterizem-se por solos argilosos nas partes mais altas e areno-argilosos em direção aos baixios. Nas campinaranas, localizadas entre as áreas de baixio e vertente, encontram-se solos com areia-branca quartzosas. Nos baixios, localizados nas planícies aluviais ao longo dos igarapés, encontram-se os Arenossolos hidromórficos, predominantemente arenosos, úmidos e ricos em alumínio (Ferraz et al., 1998; Laurance et al., 1999). Neste trabalho, considerou-se a campinarana e o baixio como sendo uma única unidade topográfica.

Segundo Ferraz et al. (1998), o padrão de distribuição vertical dos teores dos nutrientes trocáveis K, Ca e Mg indicam que é na camada mais próxima à cobertura vegetal que se processa com maior intensidade a ciclagem de nutrientes. A conservação da matéria orgânica nesses solos é fator essencial para manutenção da fertilidade dos solos. Os solos

são considerados distróficos, pois a disponibilidade de nutrientes para as plantas é baixa. As maiores concentrações dos micronutrientes Fe, Mn e Cu estão nos solos dos platôs, o que pode ser associado à textura argilosa desses solos. A oferta de Fe e Zn para as plantas nos solos arenosos é provavelmente reduzida, devido ao teor desses nutrientes estar abaixo da zona de enraizamento das plantas (Ferraz et al., 1998).

Dentro do complexo ecossistema conhecido como Floresta Densa Tropical Úmida, a vegetação da microbacia é considerada uma típica floresta de terra firme, pois suas florestas não são sazonalmente inundadas pela cheia dos grandes rios da Amazônia. Embora pareça fisionomicamente única, suas matas não são florística e estruturalmente homogêneas (Pires, 1985). A sua heterogeneidade numa macro escala, pode ser explicada por eventos geoclimáticos pretéritos que definem as províncias fitogeográficas, que descrevem padrões de distribuição comuns a várias espécies (Ribeiro et al., 1999). Numa escala mais detalhada, a vegetação é condicionada à textura e à drenagem do solo, que, por sua vez, estão relacionados à posição topográfica e à fase evolutiva da toposequência, sendo possível o reconhecimento de diferentes fisionomias. De uma forma geral, a estrutura da vegetação apresenta diversas sinúsias, pois as plantas possuem diferenças na forma, no hábito e nos requerimentos microclimáticos para seu crescimento e desenvolvimento dentro da comunidade vegetal.

Na área de platô, encontra-se uma vegetação multiestratificada, apresentando sub-bosque, dossel e emergentes em estratos bem definidos (Figura 2.3). Estão presentes árvores de dossel com altura entre 35 e 40m, árvores emergentes com altura superior a 45m e um sub-bosque desprovido de emaranhados de cipó onde predominam muitas palmeiras acaules (Ribeiro et al., 1999). Nas vertentes, há dificuldade em delimitar a sua estrutura e composição florística característica, apesar de apresentar espécies endêmicas (Figura 2.4). Por ser uma área de transição, tende a ser fisionomicamente mais semelhante ao platô nas áreas mais altas e ao baixio nas partes mais baixas, sendo que a transição vertente-baixio é mais abrupta (Hopkins, 2005). Em geral, apresenta dossel com altura entre 25 e 35m, com

poucas árvores emergentes. Nos baixios, desenvolve-se uma vegetação mais arbustiva, com muitas palmeiras arbóreas e sub-bosque repleto de palmeiras acaules e ervas de áreas encharcadas (Ribeiro et al., 1999) (Figura 2.5). A presença da água nestes ambientes dificulta ou restringe o desenvolvimento radicular das plantas. Dependendo do nível e tempo de alagamento sua fisionomia varia bastante, podendo apresentar espécies típicas de florestas de várzea e igapó (ambientes sazonalmente alagados pela cheia dos grandes rios). Em geral, sua fisionomia apresenta dossel com altura entre 20 e 35m, com poucas árvores emergentes.



Figura 2.3 - Fitofisionomia de platô típica do ambiente de terra firme da Amazônia Central



Figura 2.4 - Fitofisionomia de vertente típica do ambiente de terra firme da Amazônia Central



Figura 2.5 - Fitofisionomia de baixio típicas do ambiente de terra firme da Amazônia Central

2.2 Seleção dos transectos

Os transectos marcados na área de estudo foram selecionados utilizando como base o modelo digital de elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Suas

características englobam resolução espacial de 3" (aproximadamente 90m), resolução vertical de 1m, para regiões fora dos Estados Unidos, e banda C que possui comprimento de onda em microondas de aproximadamente 5,6 cm. Este radar representa a melhor fonte de informação topográfica já disponibilizada para superfície terrestre.

O MDE do SRTM auxiliou no reconhecimento de grande parte da heterogeneidade geomorfológica da área de estudo e, conseqüentemente, do seu sistema de drenagem. A disposição espacial dos transectos na área visou representar uma variedade de ambientes com relevo e condições hidrológicas distintas. Devido à relação entre topografia e vegetação, esperou-se com este procedimento representar grande parte da variação fisionômica presente na área. Deste modo, os transectos selecionados cortaram igarapés de primeira e segunda ordem, assim como terrenos de diferentes declividades.

Ao final da análise visual da imagem do SRTM, cinco transectos foram marcados transversalmente aos baixios, de forma a percorrer a variação de declividade do terreno (Figura 2.6). As coordenadas geográficas iniciais e finais de cada transecto foram anotadas para posterior identificação dos transectos em campo, com o uso de um GPS (*Global Positioning System*). As coordenadas foram registradas com um auxílio de uma haste que elevava a antena do GPS acima do dossel florestal, melhorando a qualidade do sinal recebido.

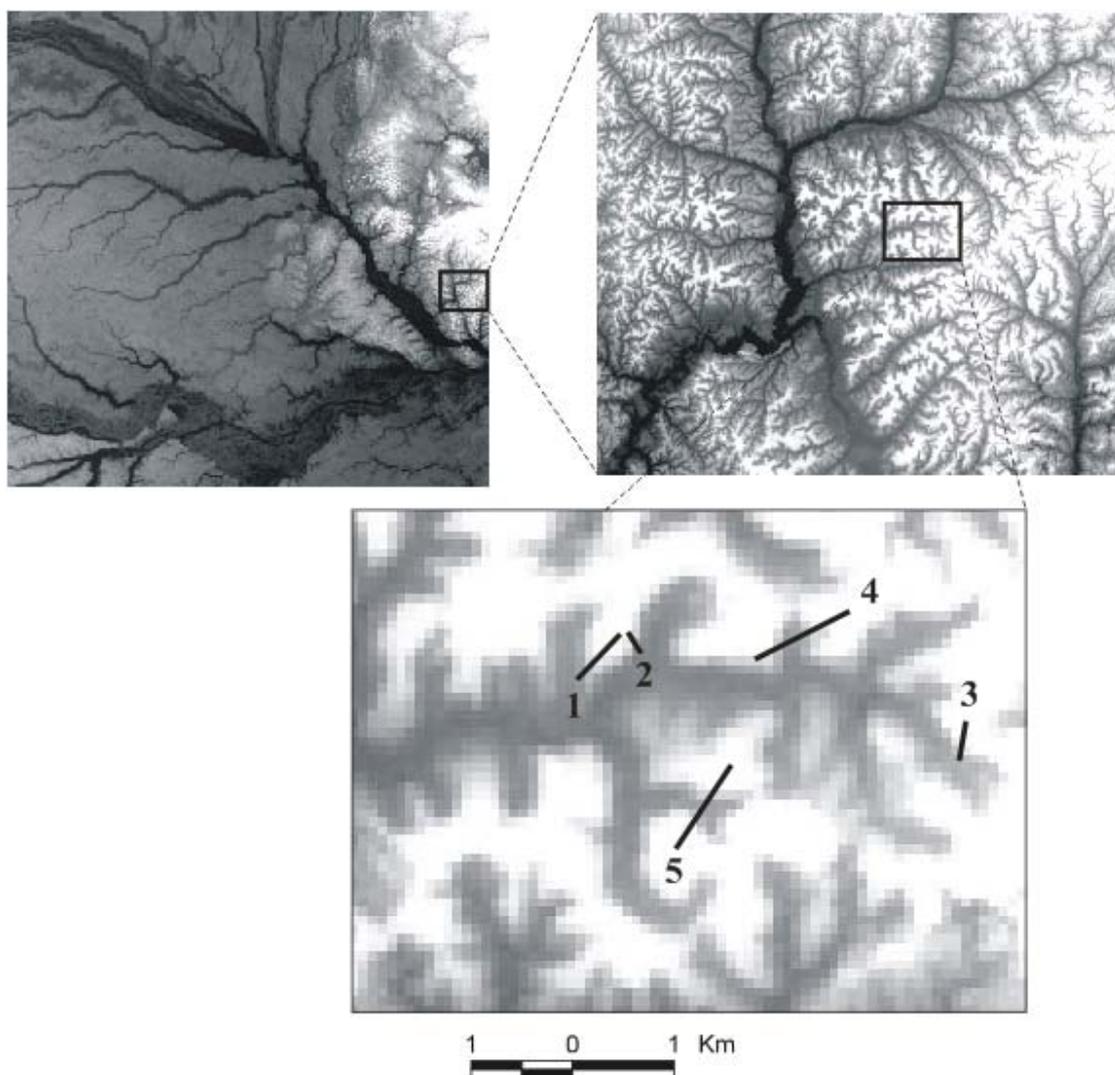


Figura 2.6 - Modelo digital de elevação do SRTM indicando a localização dos cinco transectos marcados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM. Os números 1,2,3,4 e 5 denominam os transectos selecionados. Áreas mais claras na imagem indicam os platôs, enquanto as áreas mais escuras indicam os vales.

Em campo, o início de cada transecto foi identificado e marcado com o auxílio de uma bússola e de uma trena. Medidas altimétricas foram registradas com o auxílio de um barômetro em todos os transectos. Com estes dados, traçou-se o perfil altimétrico de cada transecto, que serviu de base para delimitação das unidades topográficas platô, vertente e baixio (Figura 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 e 2.11). Os transectos 1, 2 e 3 iniciaram-se no platô e se

estenderam até os baixios (Figura 2.7 a 2.9), enquanto que os transectos 4 e 5 iniciaram-se no platô, atravessaram o baixio e se estenderam até o platô seguinte, seguindo o gradiente topográfico (Figura 2.10 e 2.11). Os transectos foram subdivididos a cada 25m, onde uma nova coordenada foi registrada. Dentro de uma faixa de 20m de largura todas as dicotiledôneas com $DAP \geq 10\text{cm}$ e palmeiras acaules e com $DAP \leq 10\text{ cm}$ foram registradas, sem levar em consideração sua localização dentro da parcela. A extensão total dos transectos foi variável, sendo que os transectos 1, 2, 3, 4 e 5 abrangeram uma faixa de 20 x 625m, 20 x 250m, 20 x 400m, 20 x 1050m e 20 x 1000m, respectivamente.

Enquanto o inventário florestal foi realizado em todos os cinco transectos, o levantamento taxonômico das árvores inventariadas foi realizado em três transectos. Portanto, para a descrição dos aspectos estrutural e florístico, o número de transectos utilizados foi diferente. No Capítulo 3, a análise fitossociológica, a descrição da diversidade e a análise de ordenação foram feitas com os dados coletados nos transectos 1, 2 e 3 (Figura 2.6, 2.7 e 2.8). Foram utilizadas 23 parcelas no platô (1,15 ha), 12 parcelas na vertente (0,6 ha) e 15 parcelas no baixio (0,8 ha), totalizando 2,55 ha. A análise estrutural descrita no Capítulo 3 e a estimativa de biomassa por equações alométricas apresentada no Capítulo 4, foram realizadas sobre os dados coletados em todos os cinco transectos (Figura 2.6 a 2.10). Foram utilizadas 56 parcelas no platô (2,8ha), 45 parcelas na vertente (2,25ha) e 31 parcelas no baixio (1,55ha), totalizando 6,6 ha.

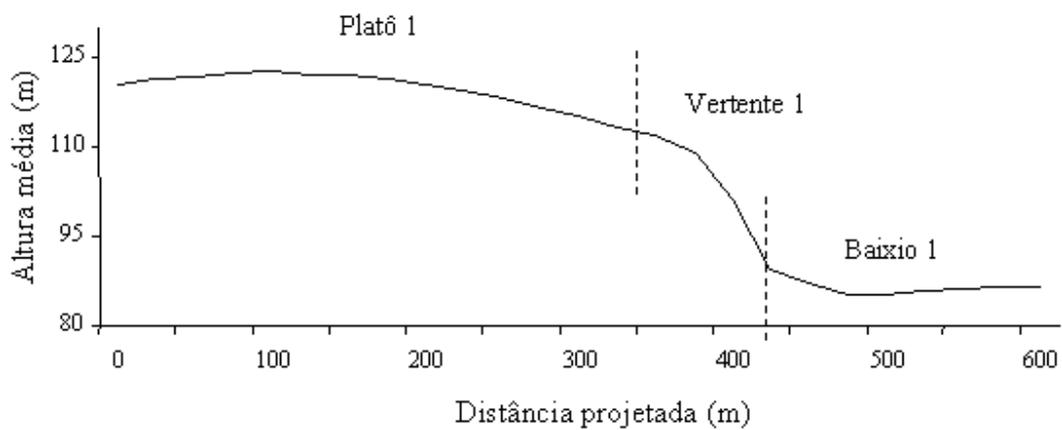


Figura 2.7 - Perfil altimétrico do transecto 1

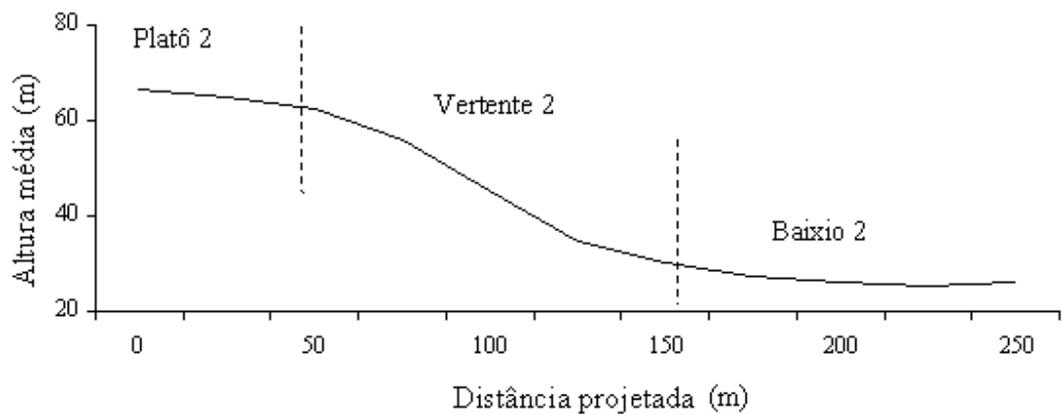


Figura 2.8 - Perfil altimétrico do transecto 2

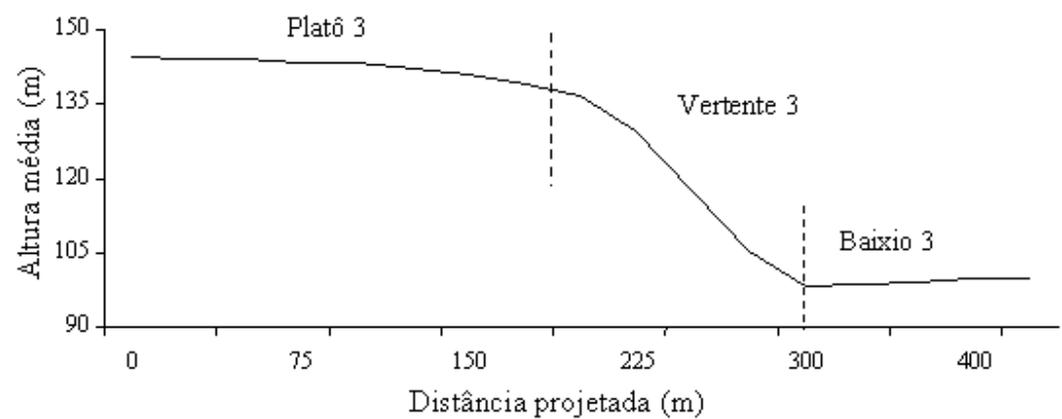


Figura 2.9 - Perfil altimétrico do transecto 3

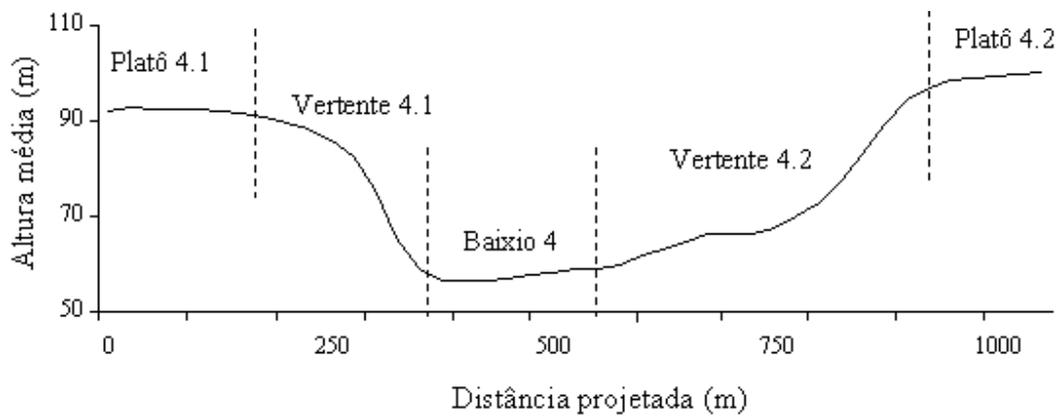


Figura 2.10 - Perfil altimétrico do transecto 4

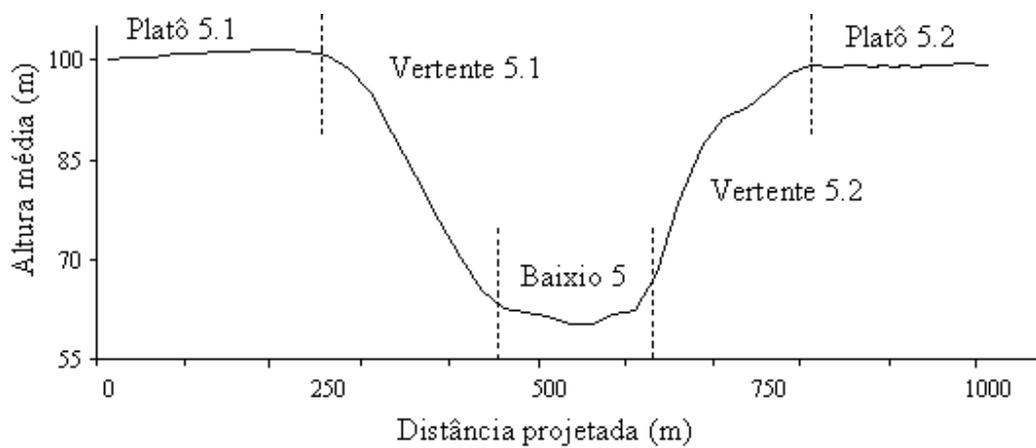


Figura 2.11 - Perfil altimétrico do transecto 5

CAPÍTULO 3

FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLOGIA DE TOPOSEQUÊNCIAS EM UMA FLORESTA DE TERRA FIRME DA AMAZÔNIA CENTRAL

3.1 Introdução

A diversidade beta é conhecida como a taxa com que a composição de espécies varia em uma região, sendo uma medida muito eficiente da heterogeneidade florística (Whittaker, 1972). Embora ainda não exista um consenso sobre a origem da diversidade beta nos trópicos, há indícios de que ela seja mais importante que a diversidade alfa (número de espécies em uma escala local) em determinar a riqueza de espécie em uma área (Kinnup e Magnusson, 2005).

Nas últimas décadas, o interesse em documentar e ampliar o conhecimento sobre a estrutura espacial e a composição de espécies nas florestas de terra firme da Amazônia tem aumentado entre os pesquisadores (Tuomisto et al., 2003). Embora muitos trabalhos tenham sido publicados, ainda é preciso entender os principais fatores que controlam a distribuição das espécies nestas florestas e o padrão geral de distribuição que as espécies seguem.

Existem ao menos três hipóteses que explicam a variação na composição florística das florestas. Recentemente, foi proposto que a riqueza de espécies das comunidades é estocasticamente balanceada pela imigração e por extinções locais e especiação (Hubbell, 2001). De acordo com essa hipótese, a preferência de habitats desempenha um papel relativamente pequeno na determinação da abundância e amplitude de distribuição das espécies, sobretudo em ambientes muito ricos como as florestas tropicais. Trata-se de uma hipótese nula (teoria neutra de Hubbell), pois seus proponentes não afirmam que as duas outras hipóteses são incorretas. A segunda hipótese afirma que, para as espécies localmente comuns, a flora é mais homogênea do que previsto pela teoria neutra de Hubbell (Pitman et al., 2001). Isto indica que estas espécies têm amplitudes geográficas maiores que o previsto pela teoria neutra. A terceira hipótese atribui ao determinismo ambiental a explicação mais forte sobre os padrões geográficos de diversidade beta na Amazônia

ocidental, mesmo que a região seja climaticamente homogênea (Tuomisto et al., 2003). Nesta hipótese, é esperado que as espécies sejam mais abundantes onde as condições ambientais sejam mais favoráveis, e que este padrão se repita entre áreas sob as mesmas condições ambientais (Tuomisto et al., 1998).

Corroborando a terceira hipótese, diversos trabalhos sugerem que a dinâmica entre topografia, solo e condições hídricas influenciam bastante a composição florística nas florestas (Harms et al., 2001; Itoh et al., 2003; Sabatier et al., 1997). Como visto, na Amazônia Central há uma clara divisão topográfica e edáfica, denominada platô, vertente e baixio, que sugere que a paisagem da Amazônia é suficientemente heterogênea para criar comunidades florísticas distintas (Clark et al., 1999). As características físico-químico e biológicas, principalmente entre as áreas de platô e baixio, favorecem a presença de uma comunidade florística e estruturalmente diferenciada.

Desde que a condição dos inventários nos trópicos foi sumarizada por Prance (1977), um crescente número de dados sobre a estrutura e composição florística das florestas da Amazônia foram disponibilizados. No entanto, quando se considera o tamanho e a heterogeneidade de fisionomias desta região, estes dados tornam-se ainda insuficientes para uma satisfatória interpretação da fitogeografia da Amazônia (Milliken, 1998).

Sobre as florestas de terra-firme da Amazônia Central, inventários com propósito de análise da variação florística entre as unidades topográficas platô, vertente e baixio ainda são poucos. Grande parte dos inventários existentes localiza-se nos platôs (Amaral et al., 2000; Jardim e Hosokawa, 1986; Lima Filho et al., 2001; Milliken, 1998; Prance et al., 1976), havendo poucos trabalhos nas vertentes (Oliveira e Amaral, 2004) e baixios (Porto et al., 1976). Alguns possuem o propósito de diferenciação florística entre a toposequência considerando toda a comunidade (Carneiro, 2004; Higuchi et al., 1998; Tello, 1995), outros baseiam-se apenas em uma família (Kahn e Castro, 1985) ou apresentam uma breve discussão sobre o tema (Rankin-de-Mérona et al., 1992).

Partindo da premissa de que os latossolos bem drenados do platô, o relevo escarpado da vertente e os solos arenosos pouco drenados do baixio exercem influência sobre o padrão de ocorrência e abundância de algumas espécies, espera-se que a abordagem estratificada da vegetação seja o melhor método de avaliação da diversidade da floresta de terra firme. Adotando este método, este capítulo teve o objetivo de descrever a variação florística, fitossociológica e estrutural ao longo das unidades topográficas.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Inventário florístico

O inventário florístico incluiu palmeiras acaules e palmeiras arbóreas sem um diâmetro à altura do peito (DAP) mínimo específico e dicotiledôneas com $DAP \geq 10$ cm. Não foram inventariadas plântulas de palmeiras, sendo considerados apenas os indivíduos acima de 50 cm de altura. Durante o inventário, a classificação taxonômica de cada indivíduo por família, gênero e espécie, a altura total e o DAP foram registrados. A identificação taxonômica foi feita sem coleta de material botânico, baseando-se na experiência de um mesmo técnico de campo. A identificação foi feita a partir da observação das flores, folhas, frutos e casca do tronco (padrão de coloração e cheiro). Foram considerados nomes populares para posterior identificação em caso de dúvida sobre alguma espécie. A identificação e a grafia dos nomes das espécies foram conferidas na página da WEB do Missouri Botanical Garden (<http://mobot.bobot.org.W3T/search/vas.html>) e no livro Flora da Reserva Ducke (Ribeiro et al., 1999). O agrupamento das espécies em famílias botânicas foi feito de acordo com Angiosperm Phylogeny Group (APG, 2003).

A altura total foi estimada subjetivamente, considerando o valor obtido da base da árvore até seu ápice. O DAP foi obtido por uma fita diamétrica a uma altura de 1,3m do solo. Caso o indivíduo apresentasse sapopemas, o DAP era estimado ou medido logo acima, sempre que possível. A medida de DAP e altura total não foi tomada para as palmeiras com $DAP \leq 10$ cm.

3.2.2 Análise dos dados

3.2.2.1 Aspectos florísticos e fitossociológicos

A comunidade vegetal foi caracterizada pelos parâmetros densidade, dominância, frequência e Índice de Valor de Importância das famílias (IVIf) e espécies (IVI). Estes parâmetros foram obtidos com o auxílio dos programas PREPARE, PARAMS e MATRIZ do pacote FITOPAC (Shepherd, 1995). Estes parâmetros são descritos a seguir:

- Densidade: Relaciona o número de indivíduos (n) por unidade de área ou pelo total de indivíduos da amostra. Seu valor relativo representa a porcentagem com que um táxon *i* aparece na amostragem em relação ao total de indivíduos do componente amostrado. Representa a probabilidade de um indivíduo pertencer a táxon particular, em uma amostragem aleatória.
- Dominância: é originalmente obtida pela projeção da copa dos indivíduos sobre o solo. Devido à dificuldade para se obter essa medida, substitui-se pela área basal. Seu valor relativo indica a porcentagem de área basal de cada espécie ou família que compõe a área basal total de todas as espécies ou famílias, por unidade de área.
- Frequência: indica a ocorrência do táxon nas unidades amostrais. Seu valor relativo representa a porcentagem de ocorrência de uma espécie ou família em relação à soma das frequências absolutas de todas as espécies ou famílias.
- Índice de valor de importância: indicam a posição sociológica da espécie ou da família na comunidade analisada. É uma somatória dos valores relativos de densidade, frequência, dominância com a finalidade de atribuir uma nota global para cada espécie ou família, caracterizando sua importância no conglomerado total do povoamento.

3.2.2.2 Diversidade

Para descrever a diversidade florística nos ambientes de platô, vertente e baixio analisou-se a curva acumulativa de espécie em função da área. Este gráfico representa a expressão analítica da relação entre o incremento da área amostrada em uma comunidade e o número de espécies acumuladas.

A riqueza será comparada através do índice de diversidade Alfa (α) de Fisher, que tem se mostrado eficiente em não permitir que a abundância influencie a diversidade. Neste índice, a diversidade depende do número de indivíduos amostrados, sendo possível realizar comparações entre parcelas de diferentes áreas e parcelas com diferentes números de indivíduos. Do ponto de vista matemático, o índice α de Fisher controla e elimina o efeito positivo que a abundância tem sobre a diversidade. Isso permite determinar se uma parcela na floresta é mais diversa do que a outra (Silva, 2004). A constante α é uma expressão da diversidade de espécies na comunidade. Ela é baixa quando o número de espécies é baixo e é alta quando o número de espécies é alto (Krebs, 1999).

3.2.2.3 Similaridade florística

Para revelar padrões na composição das espécies nos ambientes de platô, vertente e baixio utilizou-se ordenações. As ordenações buscam sumarizar atributos da comunidade, agrupando amostras de acordo com suas semelhanças em composição de espécies (Gauch, 1982). A influência de fatores ambientais nos padrões encontrados pode ser constatada posteriormente, inferida a partir da composição dos dados, sendo este espaço ecológico seu principal resultado (Gauch, 1982).

As ordenações foram realizadas no programa PCORD 4.0 (McCune e Grace, 2002). O índice quantitativo de Bray-Curtis foi utilizado para descrever a dissimilaridade florística entre as áreas a partir da abundância das espécies, e o método Escalonamento multidimensional não-métrico (NMS, do inglês *Non-metric Multidimensional Scaling*) foi utilizado para sumarizar os padrões da comunidade.

Segundo Faith et al. (1987) e Minchin (1987), o NMS é o melhor método para descrever gradientes ecológicos, além de ser bastante útil em situações onde a relação entre os objetos é desconhecida. O NMS é um método iterativo de ordenação, pois busca a melhor posição das amostras em um espaço n-dimensional. A relação entre a distância real dos objetos, obtida pelo índice de dissimilaridade, e a distância aproximada entre os objetos em um espaço de ordenamento de dimensões reduzidas, produzida pelas iterações do NMS, é feita por regressão monotônica. Isto significa que no NMS apenas o ordenamento da distância dos dados é importante, ao contrário de outras técnicas de ordenação. Esta propriedade dá vantagens ao NMS sobre outros métodos de ordenação por não pressupor relações lineares entre atributos e objetos e, geralmente, resumir mais informações em menos dimensões (eixos) (Gauch, 1982; Manly, 1994).

Apesar das vantagens do NMS, testes preliminares com outros métodos de ordenação tais como PCA (*Principal components analysis*), DCA (*Detrended correspondence analysis*) e RA (*Reciprocal averaging*) foram realizados para comparar aos resultados obtidos com o NMS. O padrão geral da comunidade de platô, vertente e baixio indicado por estas diversas técnicas foi bastante similar. Isto indica que o NMS é uma técnica adequada para este conjunto de dados e para responder às perguntas propostas neste trabalho (estas comparações foram omitidas deste trabalho).

No NMS, é necessário que se defina previamente o número de dimensões (eixos) que o programa resumirá a matriz de dissimilaridade (McCune e Grace, 2002). Por isso, analisou-se ordenações com uma a seis dimensões, posteriormente selecionou-se o número de dimensões mais apropriado e executou-se o programa novamente. Isto foi necessário, pois para um dado número de dimensões selecionado a solução para um determinado eixo é singular (McCune e Grace, 2002).

Para descobrir em quantos eixos os dados estariam bem representados, analisou-se o valor de *stress*. O *stress* avalia a precisão da solução em representar uma relação multidimensional, a partir da diferença entre a distância real e a distância aproximada entre

todos os pares de objetos. Neste processo, busca-se a solução com menor dimensão e maior redução do valor de *stress*. Outras análises foram feitas para escolha do número de eixos a partir do teste de Monte Carlo e do valor de instabilidade da solução. O teste de Monte Carlo avalia a confiabilidade do resultado ($\alpha = 0,05$), testando a probabilidade da solução final ser obtida ao acaso. Os seguintes parâmetros iniciais foram utilizados: critérios de instabilidade igual a 0,0005, número máximo de iterações de 500, 40 repetições com os dados originais e 50 repetições para o teste de Monte Carlo.

O resultado do NMS são coordenadas de objetos em n dimensões, que são utilizadas para criar um mapa que demonstra como os objetos (parcelas) estão relacionados quanto à sua similaridade florística. Se a similaridade entre os objetos for muito próxima à distância geográfica, ou seja, objetos mais próximos são mais similares que objetos mais distantes, o mapa formado por um NMS de duas dimensões se aproximará do mapa real obtido em campo.

As ordenações foram realizadas sobre dois conjuntos de dados. O primeiro conjunto refere-se aos indivíduos com $DAP \geq 10\text{cm}$ (dicotiledôneas e palmeiras), com uma matriz de 50 parcelas de 25x20m (linhas) por 59 espécies (colunas), contendo o número de indivíduos de cada espécie. As espécies consideradas raras, ou seja, presentes em menos de 10% das parcelas, foram excluídas da análise. Espécies raras tendem a confundir e desorganizar o padrão florístico em análises de agrupamento e em ordenações (Gherardi, 2004). Analisou-se também o efeito das espécies muito frequentes sobre a separação das comunidades do platô, vertente e baixo. Considerou-se que a presença delas não afetava a separação das comunidades florísticas e, portanto, não foram excluídas do banco de dados. Não foi necessário aplicar qualquer tipo de transformação à matriz de dados, pois não houve desvio muito acentuado entre a abundância das espécies dominantes e das espécies menos comuns em função do tamanho da parcela (25x20m). O segundo conjunto de dados continha o número de indivíduos das 13 espécies mais abundantes de palmeiras acaules ou com $DAP \leq 10\text{cm}$.

3.3 Resultados

3.3.1 Aspectos estruturais

Foram registrados 3817 indivíduos em 6,6 hectares distribuídos nos ambientes de platô, vertente e baixio. A análise da estrutura diamétrica indicou que mais da metade de todos os indivíduos inventariados em todos os ambientes (59%) encontram-se na primeira classe de diâmetro, que compreende indivíduos entre 10 e 20cm de DAP. Poucas árvores atingiram diâmetro maior que 60cm, com exceção de algumas emergentes (Figura 3.1). Do ponto de vista relativo, este valor mantém-se quase invariável quando considera-se os ambientes separadamente, pois no platô a estimativa é de cerca de 59%, na vertente 60,5% e no baixio 57,5%. Segundo o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) os platôs e os baixios são distintos quanto à distribuição de indivíduos em classes de diâmetro (KS, $p < 0,001$), assim como os baixios e as vertentes (KS, $p < 0,001$), enquanto platô e vertente apresentam distribuição similar (KS, $p > 0,1$).

A estrutura vertical das comunidades também foi bastante diferenciada (Figura 3.2). O teste Kolmogorov-Smirnov (KS) indicou que os platôs e os baixios são distintos quanto à distribuição de indivíduos em classes de altura (KS, $p < 0,025$), assim como o baixio e a vertente (KS, $p < 0,1$) e a vertente e o platô (KS, $p < 0,05$). Cerca de 67% dos indivíduos registrados no baixio estão concentrados na primeira classe de altura, que compreende indivíduos até 10m. Esta proporção é bastante diferenciada do platô e da vertente, que concentram apenas 15% e 14%, respectivamente, dos seus indivíduos nesta classe de altura. Nas classes de altura que compreendem as maiores árvores dentro da comunidade, esta situação é inversa. Cerca de 24% e 26% dos indivíduos de platô e vertente, respectivamente, estão concentrados nas classes que compreendem indivíduos com mínimo de 20m de altura, enquanto que esta proporção alcança apenas 3% no baixio. Nos ambientes de platô e vertente foram encontradas árvores emergentes com altura de até 60m, enquanto no baixio o maior indivíduo registrado alcançou altura de 40m.

No baixo, foram registradas palmeiras de dossel com altura de até 30m. Neste estrato florestal encontrou-se *Euterpe precatoria* (Açaí) e *Oenocarpus bataua* (Patauí). Nenhuma palmeira alcançou o topo da floresta sobre os solos bem drenados do platô e da vertente. No platô, a palmeira mais alta atingiu altura de 16m (situada no transecto sem identificação taxonômica). Na vertente, a *Oenocarpus bacaba* (Bacaba) pôde ser encontrada no sub-dossel com altura de 22m. No nível inferior do sub-bosque, palmeiras acaules foram encontradas com frequência em todos os ambientes.

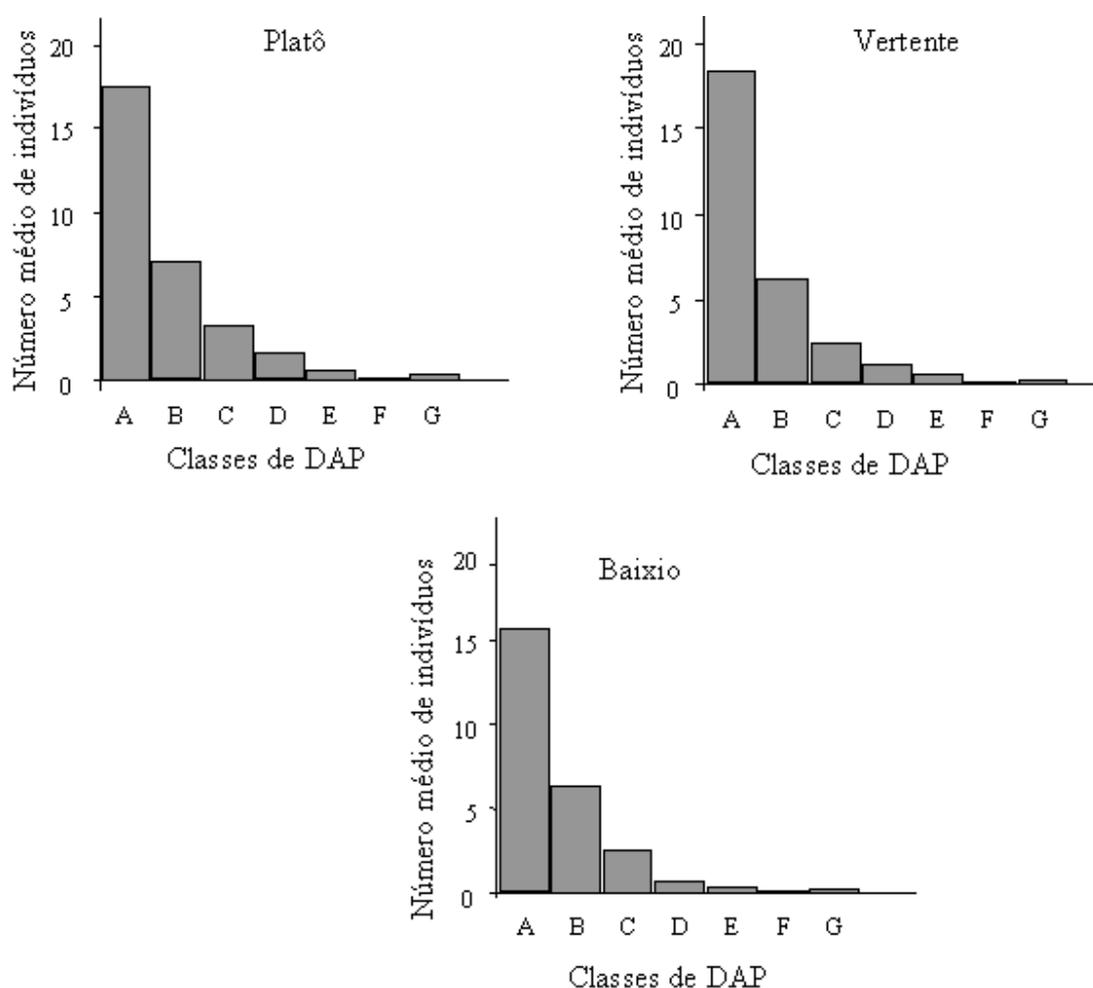


Figura 3.1 - Número médio de indivíduos com DAP ≥ 10 cm em cada classe diamétrica para as fitofisionomias da microbasia do Igarapé Asu, Manaus-Am. Classes de DAP: (A): $10 \leq \text{DAP} < 20$; (B): $20 \leq \text{DAP} < 30$; (C): $30 \leq \text{DAP} < 40$; (D): $40 \leq \text{DAP} < 50$; (E): $50 \leq \text{DAP} < 60$; (F): $60 \leq \text{DAP} < 70$; (G): $\text{DAP} \geq 70$ cm

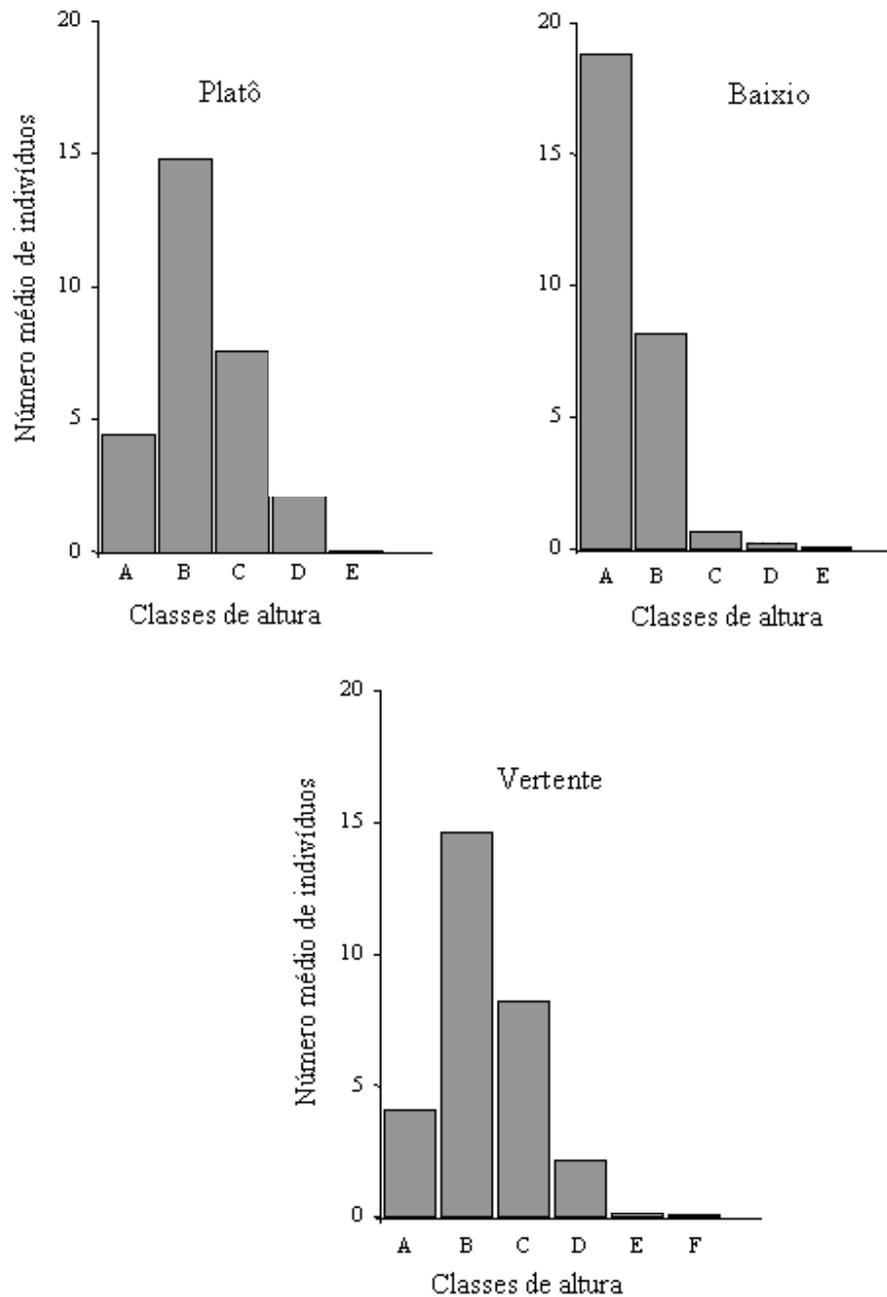


Figura 3.2 - Número médio de indivíduos com DAP ≥ 10 cm (indicando os três maiores indivíduos identificados ao menos por gênero) presentes em classes de altura para as fitofisionomias da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM. Classes de altura: (A): $0 \leq H < 10$; (B): $10 \leq H < 20$; (C): $20 \leq H < 30$; (D): $30 \leq H < 40$; (E): $40 \leq H < 50$; (F): $H \geq 50$ cm.

Na tabela 3.1 está descrito o número médio de palmeiras e dicotiledôneas com $DAP \geq 10$ cm por parcela e a estimativa média da área basal por hectare. Para permitir uma comparação à outros estudos, a densidade média de palmeiras e dicotiledôneas com $DAP \geq 10$ cm por hectare encontrada no platô foi de 581 árvores/ha, na vertente de 587 árvores/ha e no baixio de 559 árvores/ha (ANOVA, $p = 0,83$). A média de área basal para o platô, vertente e baixio foi de $35\text{m}^2/\text{ha}$, $28\text{m}^2/\text{ha}$ e $26\text{m}^2/\text{ha}$, respectivamente, sendo estatisticamente diferente entre o platô e o baixio (ANOVA, $p = 0,022$; Tukey, $p = 0,024$). As palmeiras com $DAP \geq 10$ cm tiveram maior densidade e área basal nas áreas de baixio. A família Arecaceae foi responsável por menos de 1% do número total de indivíduos no platô e por 16% no baixio. A maior parte destes indivíduos apresentaram DAP inferior a 20 cm (81,3%), alcançando o máximo de 36,5 cm de DAP .

Tabela 3.1 - Número médio de indivíduos (n° indi/500 m^2) e estimativa média da área basal (AB: m^2/ha) de palmeiras e dicotiledôneas com $DAP \geq 10$ cm em cada fitofisionomia da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM. (Por estarem próximos, os dados do platô nos transecto 1 e 2 foram agrupados. A localização dos ambientes pode ser identificada nas figuras 2.7, 2.8 e 2.9)

| Ambiente | Dicotiledônea | | Palmeira | |
|----------|----------------|-------|----------------|------|
| | n° indi | AB | n° indi | AB |
| Platô | | | | |
| 1 e 2 | 31,3 | 35,25 | 0,3 | 0,11 |
| 3 | 25,3 | 25,54 | 0,1 | 0,03 |
| 4.1 | 33,7 | 30,70 | 0 | 0 |
| 4.2 | 28,4 | 34,52 | 0 | 0 |
| 5.1 | 26,5 | 43,22 | 0,2 | 0,05 |
| 5.2 | 27,8 | 43,17 | 0,1 | 0,04 |
| Vertente | | | | |
| 1 | 27,7 | 31,19 | 0,3 | 0,14 |
| 2 | 40,0 | 32,62 | 0,8 | 0,24 |
| 3 | 26,0 | 24,15 | 0,8 | 0,48 |
| 4.1 | 37,7 | 28,60 | 0,1 | 0,03 |
| 4.2 | 23,2 | 22,96 | 0,1 | 0,02 |
| 5.1 | 28,2 | 34,91 | 0,8 | 0,27 |
| 5.2 | 27,3 | 23,29 | 0,3 | 0,15 |
| 1 | 26,7 | 21,45 | 5,1 | 2,57 |

continua

Tabela 3.1 - Conclusão

| | | | | |
|---|------|-------|-----|------|
| 2 | 27,3 | 23,57 | 3,8 | 1,91 |
| 3 | 26,3 | 23,04 | 5,0 | 1,79 |
| 4 | 21,1 | 20,23 | 4,8 | 2,9 |
| 5 | 21,5 | 28,52 | 5,8 | 3,0 |

3.3.2 Aspectos florísticos e fitossociológicos

3.3.2.1 Palmeiras e dicotiledôneas com DAP \geq 10cm

Foram registradas entre os 1514 indivíduos amostrados, 113 espécies distribuídas em 73 gêneros e 33 famílias em 2,55ha (Apêndice A.1). Destas espécies, 57 foram identificadas em nível específico, 30 em nível de gênero, 24 em nível de família, separadas em morfo-espécies, e 2 espécies por nome popular. Na tabela 3.2, está apresentado o número de indivíduos e de espécies registrado para cada um dos três transectos inventariados (transectos 1, 2 e 3). O valor de alfa de Fisher para o platô foi de 17,7 (N= 614 indivíduos e S= 83 espécies), variando de 21,2 a 23,7. Para o baixio, o valor do índice foi de 19,8 (N= 414 indivíduos e S= 73 espécies), variando de 20,9 a 27. Para a vertente o índice foi de 21,7 (N= 381 indivíduos e S= 69 espécies), variando de 26,7 a 45,6.

Tabela 3.2 - Número de espécies e de indivíduos registrado por transecto nos ambientes de platô, vertente e baixio da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM. (Os números 1,2 e 3 identificam os transectos)

| Ambiente | Nº parcelas | Nº ind. | Nº Spp |
|-------------|-------------|---------|--------|
| Platô 1 e 2 | 15 | 413 | 69 |
| Vertente 1 | 3 | 79 | 38 |
| Baixio 1 | 7 | 203 | 61 |
| Vertente 2 | 5 | 196 | 50 |
| Baixio 2 | 4 | 119 | 40 |
| Platô 3 | 8 | 201 | 58 |
| Vertente 3 | 4 | 106 | 47 |
| Baixio 3 | 4 | 92 | 28 |

Em todas as três fitofisionomias houve baixa riqueza de espécies por gênero, em geral registrou-se uma espécie. No platô, os gêneros com maior riqueza de espécies foram *Eschweilera*, *Pouteria* com três espécies e *Brosimum*, *Caryocar*, *Dipteryx*, *Hymenaea*, *Licania*, *Protium*, *Swartzia* com duas espécies. Na vertente, destacaram-se *Dipteryx*,

Eschweilera, *Ocotea*, *Pouteria*, *Protium*, *Swartzia*, *Theobroma*, todos com duas espécies. No baixio, destacaram-se *Caryocar*, *Couma*, *Dipteryx*, *Eschweilera*, *Licania*, *Parkia*, *Protium*, *Oenocarpus*, *Swartzia* também com duas espécies.

Das 112 espécies registradas, 17% (19) foram encontradas exclusivamente no platô, 12,5% (14) no baixio e 3,6% (4) na vertente (Tabela 3.3). Deve-se chamar atenção que a ocorrência restrita de algumas espécies não significa que sejam necessariamente endêmicas a determinado ambiente, mas que durante o inventário foram localmente exclusivas a cada ambiente. No platô, a família Fabaceae apresentou maior número de espécies localmente exclusivas, três espécies no total. No baixio, Arecaceae e Fabaceae apresentaram três espécies localmente exclusivas cada uma. Nenhuma das espécies listada na tabela 3.3 está entre as mais importantes em densidade, dominância e frequência.

Nas Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 estão apresentadas as 10 espécies mais importantes indicadas pelo Índice de valor de importância (IVI) nos ambientes de platô, vertente e baixio, respectivamente. No platô, estas 10 espécies representaram cerca de 48% do número total de indivíduos inventariados, na vertente 47% e no baixio 52%. A única palmeira arbórea entre as 10 espécies com elevado índice foi o *Oenocarpus bataua* (patauá) no ambiente de baixio. Destaca-se a espécie Sapotaceae sp.1, pela sua importância em todos os três ambientes, determinada principalmente pela sua dominância relativa. Nas unidades platô e vertente, a superposição de espécies mais importantes foi de 55%, enquanto entre o platô e o baixio este índice cai para 40% e se mantém constante entre baixio e vertente.

Tabela 3.3 - Relação das espécies localmente exclusivas a cada fitofisionomia na microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM. Indicadas com o asterisco estão as espécies exclusivas com menos de 5% de chance de ocorrerem ao acaso em apenas um ambiente

| Ambiente | Família | Espécie |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Platô | Apocynaceae | <i>Aspidosperma sp.</i> |
| | Apocynaceae | <i>Geissospermum sp.*</i> |
| | Araliaceae | <i>Schefflera morototoni</i> |
| | Boraginaceae | <i>Cordia sp.</i> |
| | Fabaceae | <i>Cedrelinga cataeniformis</i> |
| | Fabaceae | <i>Derris negrensis</i> |
| | Fabaceae | <i>Hymenolobium sp.*</i> |
| | Lauraceae | <i>Sextonia rubra</i> |
| | Lauraceae | <i>Aniba canelilla</i> |
| | Lecythidaceae | <i>Eschweilera grandiflora*</i> |
| | Moraceae | <i>Brosimum longifolium*</i> |
| | Rubiaceae | <i>Borojoa claviflora</i> |
| | Sapindaceae | <i>Pseudima sp.</i> |
| | Sapotaceae | <i>Pouteria laevigata</i> |
| | Urticaceae | <i>Pourouma sp.</i> |
| Violaceae | <i>Rinorea racemosa*</i> | |
| Vertente | Anacardiaceae | <i>Ocotea tabacifolia</i> |
| | Apocynaceae | <i>Theobroma sylvestre</i> |
| | Salicaceae | <i>Laetia sp.</i> |
| Baixio | Anacardiaceae | <i>Anacardium parvifolium</i> |
| | Apocynaceae | <i>Couma utilis*</i> |
| | Apocynaceae | <i>Himatanthus sucuuba*</i> |
| | Arecaceae | <i>Astrocaryum acaule*</i> |
| | Arecaceae | <i>Euterpe precatoria*</i> |
| | Arecaceae | <i>Mauritiella aculeata*</i> |
| | Fabaceae | <i>Erythrina sp.</i> |
| | Fabaceae | <i>Parkia nitida</i> |
| | Fabaceae | <i>Parkia pendula</i> |
| | Moraceae | <i>Ficus sp.</i> |
| Rubiaceae | <i>Palicourea corymbifera</i> | |

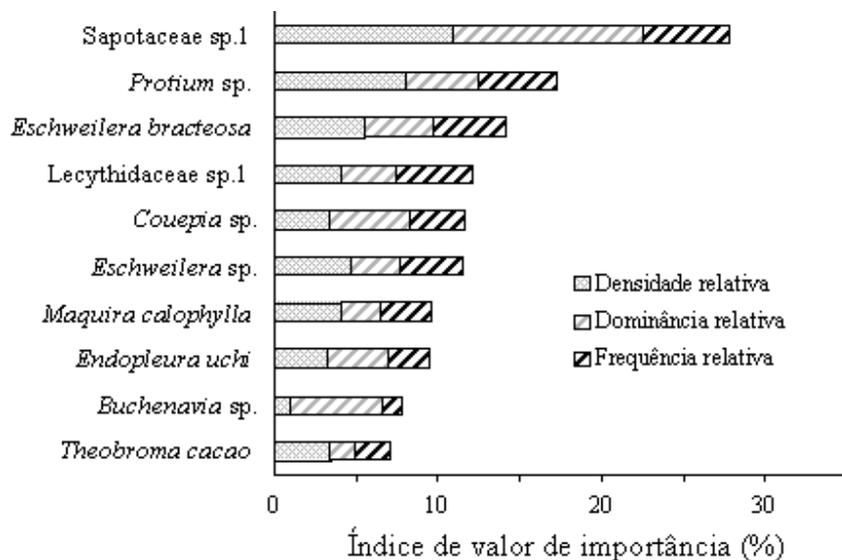


Figura 3.3 - Relação das 10 espécies com maior índice de valor de importância nos ambientes de platô da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM.

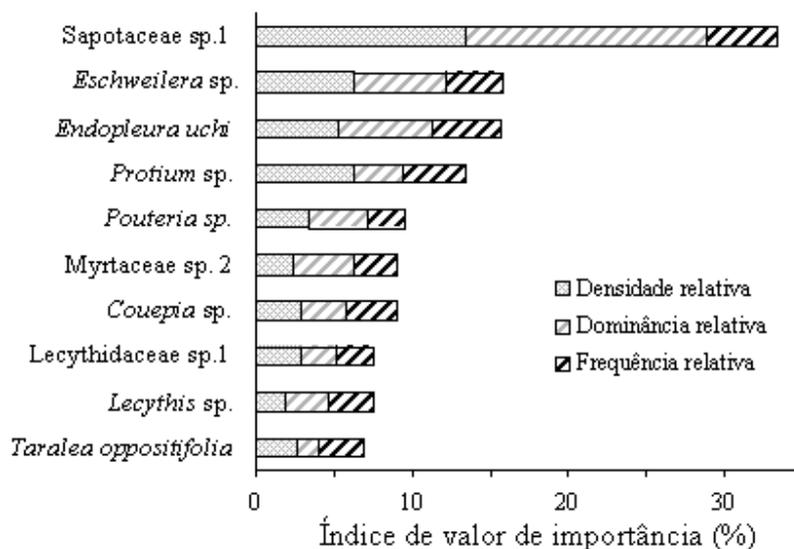


Figura 3.4 - Relação das 10 espécies com maior índice de valor de importância nos ambientes de vertente da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM.

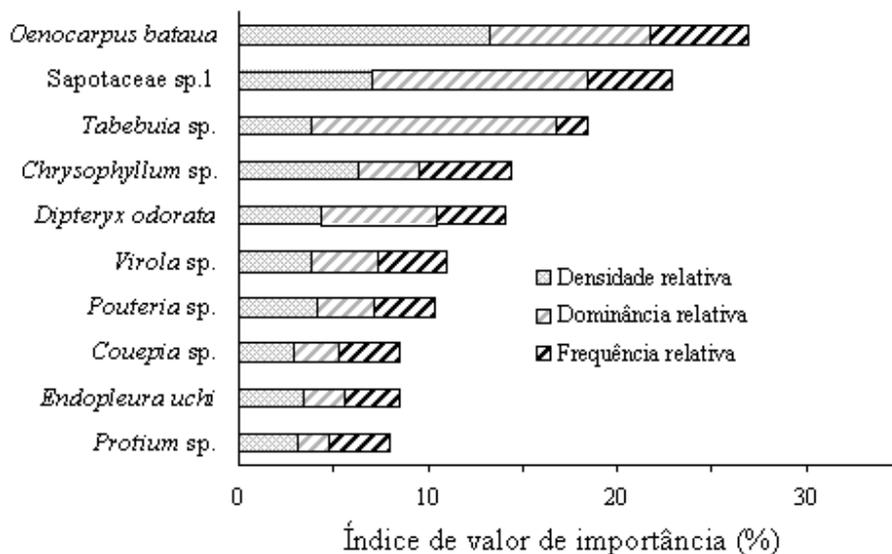


Figura 3.5 - Relação das 10 espécies com maior Índice de valor de importância nos ambientes de baixo da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM.

A família Fabaceae foi a mais diversificada nos três ambientes, com 18 espécies no platô, 17 espécies no baixo e 13 espécies na vertente. Completam a lista das famílias mais diversificadas no platô, Lecythidaceae (8 spp), Lauraceae (7 spp) e Sapotaceae (7 spp), na vertente também as famílias Lecythidaceae (7 spp), Lauraceae (7 spp) e Sapotaceae (5 spp) e no baixo Arecaceae (5 spp) e Lauraceae (5 spp). Essas famílias listadas em cada ambiente contribuíram com cerca de 48% da riqueza local no platô, 46% na vertente e 37% baixo.

Excluindo a família Lauraceae, as famílias mais importantes em número de indivíduos foram as mesmas famílias mais diversificadas. No platô, tem-se Lecythidaceae (117 indivíduos), Sapotaceae (88 indivíduos) e Fabaceae (79 indivíduos), na vertente Sapotaceae (71 indivíduos), Lecythidaceae (62 indivíduos) e Fabaceae (50 indivíduos) e no baixo Sapotaceae (72 indivíduos), Arecaceae (66 indivíduos) e Fabaceae (66 indivíduos). Em conjunto, estas famílias agruparam quase metade do total de indivíduos inventariados, cerca de 46% dos indivíduos do platô, 47% dos indivíduos na vertente e 48% dos indivíduos no baixo, ficando o restante em 26 famílias no platô, 25 famílias na vertente e 22 famílias no baixo.

O índice de valor de importância familiar não leva em consideração a riqueza de espécies das famílias, mas seu resultado refletiu em grande parte a representatividade de cada família em número de espécies, uma vez que três das cinco famílias mais importantes também foram as mais diversificadas. Em geral, no platô, as cinco famílias mais importantes contribuíram com cerca de 53% do IVIf total (Figura 3.6), na vertente com 54% (Figura 3.7) e no baixio com cerca de 50% (Figura 3.8).

Verifica-se, no entanto, que nem sempre a família com maior riqueza é também a de maior importância na comunidade, pois houve famílias pouco diversas, mas que caracterizaram a comunidade por sua densidade, frequência ou dominância. No platô, a baixa riqueza da família Burseraceae, representada por apenas duas espécies, foi compensada principalmente pela sua alta densidade e frequência, ocupando a quarta colocação em importância. Neste mesmo ambiente, a família Lauraceae, representada por sete espécies, não entrou na lista das famílias mais importantes, sendo uma família diversa, mas pouco numerosa e frequente.

Na figura 3.8, destaca-se a posição sociológica adquirida pela família Areacaceae no baixio. Enquanto no baixio a família Areaceae ocupou a terceira colocação em termos de número de espécies (5 spp) e número de indivíduos (65), no platô e na vertente ela ocorre na 24^a e 15^a colocação, respectivamente.

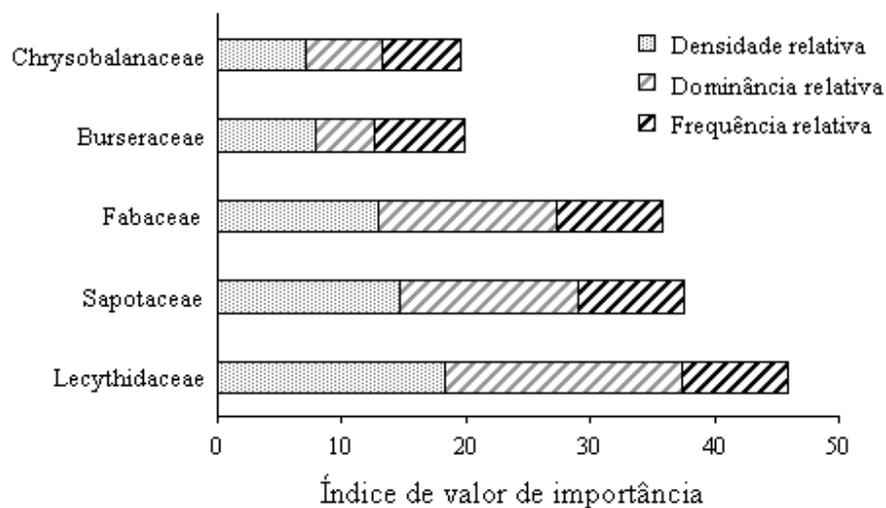


Figura 3.6 - Índice de importância familiar (IVIf) das famílias mais importantes para a fitofisionomia platô na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM

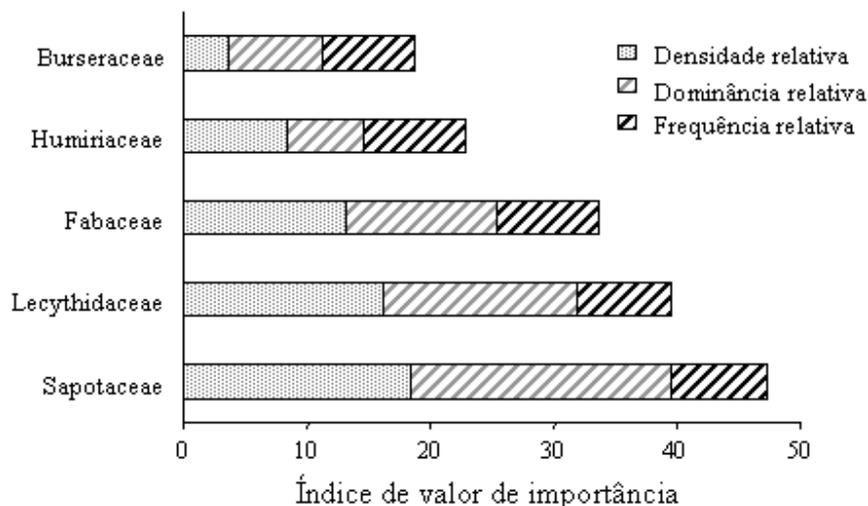


Figura 3.7 - Índice de importância familiar (IVIf) das famílias mais importantes para a fitofisionomia vertente na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM

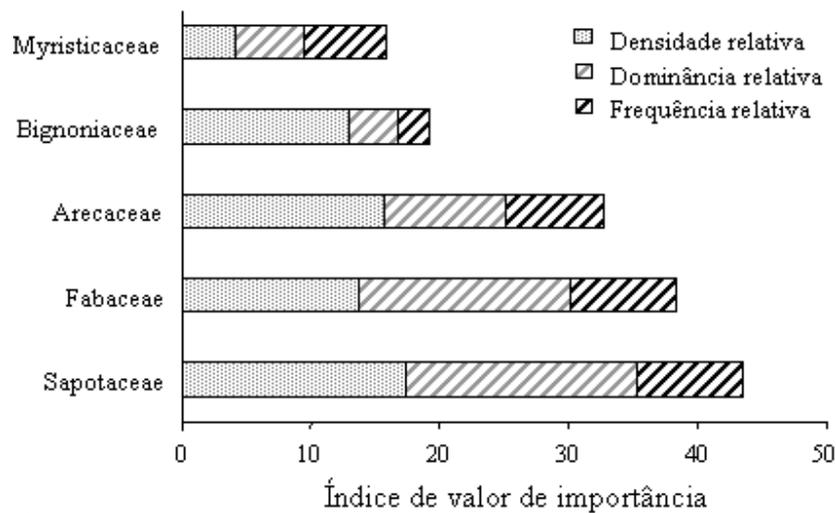


Figura 3.8 - Índice de importância familiar (IVIf) das famílias mais importantes para a fitofisionomia baixo na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM

3.3.2.2 Palmeiras acaules e palmeiras arbóreas com DAP ≤ 10 cm

Foram inventariados 1458 indivíduos em 14 espécies distribuídas em 11 gêneros, onde 11 espécies foram identificadas em nível específico, duas em gênero e uma por família (Apêndice A.2). No platô, foram registradas 10 espécies, na vertente 11 espécies e no baixo 15 espécies. Registrou-se 54 indivíduos por parcela no baixo, 35 indivíduos no platô e 28 indivíduos na vertente.

No platô, a espécie de maior densidade foi o murumuru (*Astrocaryum murumuru*) (276), com densidade média por parcela de 12 indivíduos. Esta mesma espécie obteve uma densidade bastante inferior no baixo, apenas quatro indivíduos em todas as 15 parcelas amostradas. No baixo, o patauá (*Oenocarpus bataua*) e o bussu (*Manicaria saccifera*) foram espécies de maior densidade, com 26 e 16 indivíduos por parcela, respectivamente. Não houve registro de ocorrência destas espécies nas parcelas situadas no platô. A vertente apresentou espécies que foram registradas exclusivamente no platô ou no baixo, como o murumuru e o bussu, em função da sua condição de transição entre estes dois ambientes. A espécie paxiúba (*Socratea exorrhiza*) foi a de menor registro em todo o inventário, com um indivíduo no platô e dois indivíduos no baixo.

3.3.3 Aspectos ecológicos

A curva acumulativa de espécie demonstra a rapidez com que novas espécies foram incluídas no inventário nos ambientes de platô, vertente e baixo (Figura 3.9). As primeiras cinco parcelas (0,25ha) apresentam maior inclinação da curva para os ambientes de platô e vertente, indicando a inclusão de maior número de espécies mais rapidamente que o baixo. A partir deste ponto este padrão parece se inverter, pois o baixo tende a acumular mais espécies. Na 12^a parcela (0,65ha), o acúmulo de espécies no baixo é maior, mas apresenta tendência à estabilização, enquanto no platô o número de espécies novas começa aumentar novamente. Como nenhuma das três curvas acumulativas de fato atingiu a assíntota, não é possível fazer inferências sobre o comportamento da curva após o limite de área amostrada, embora a curva acumulativa para o platô demonstre tendência à estabilização após 1ha.

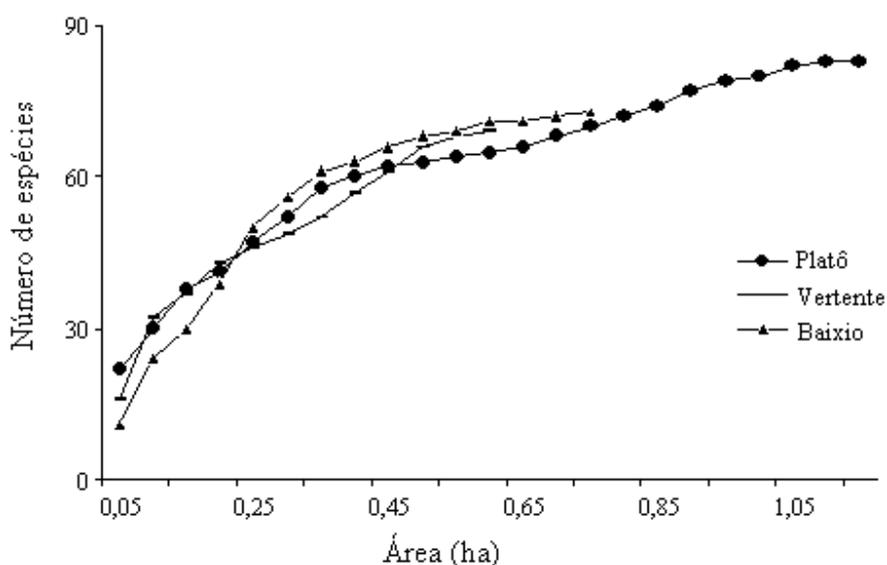


Figura 3.9 - Curva acumulativa de espécies baseado na área amostrada dos ambientes de platô, vertente e baixo da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM.

3.3.4 Similaridade florística

3.3.4.1 Palmeiras e dicotiledôneas com DAP ≥ 10 cm

A ordenação com NMS resultou em uma solução tri-dimensional, baseando-se nas 59 espécies mais abundantes presentes nas três fitofisionomias das florestas de terra firme. O

stress final foi de 20,97 e a instabilidade da solução foi de 0,00049 em 142 interações. Segundo McCune e Grace (2002), um valor de *stress* próximo a 20 e um valor de instabilidade menor que 0,001 são considerados satisfatórios quando se trata de dados sobre comunidades.

De um modo geral, houve tendência ao agrupamento entre parcelas amostradas em uma mesma fitofisionomia, formando pelo menos dois grupos: platô e vertente e outro grupo distinto formado pelas parcelas do baixio. Esta análise produziu uma representação dos ambientes em três dimensões, que indicam como eles se relacionam com respeito à ocorrência e abundância das espécies.

As figuras 3.10 e 3.11 indicam a dissimilaridade das parcelas situadas nos ambientes de platô, vertente e baixio, uma vez que pontos mais distantes entre si são floristicamente mais distintos. O eixo 2, que representou cerca de 40% da variabilidade do conjunto de dados, parece refletir as diferenças ambientais entre os habitats. De um modo geral, parcelas do platô tendem a se agrupar do lado esquerdo e parcelas do baixio do lado direito, enquanto as parcelas da vertente se confundem principalmente com o platô. A vertente, por ter uma transição mais abrupta para o baixio, apresentou composição florística bastante semelhante ao platô. O eixo 3 representou cerca de 18% da variabilidade, e pode refletir algum padrão de distribuição das espécies que pode não ser condicionado por fatores ambientais. O eixo 1 representou cerca de 6% da variação, que somados à representatividade dos eixos 1 e 2, totalizaram 64%.

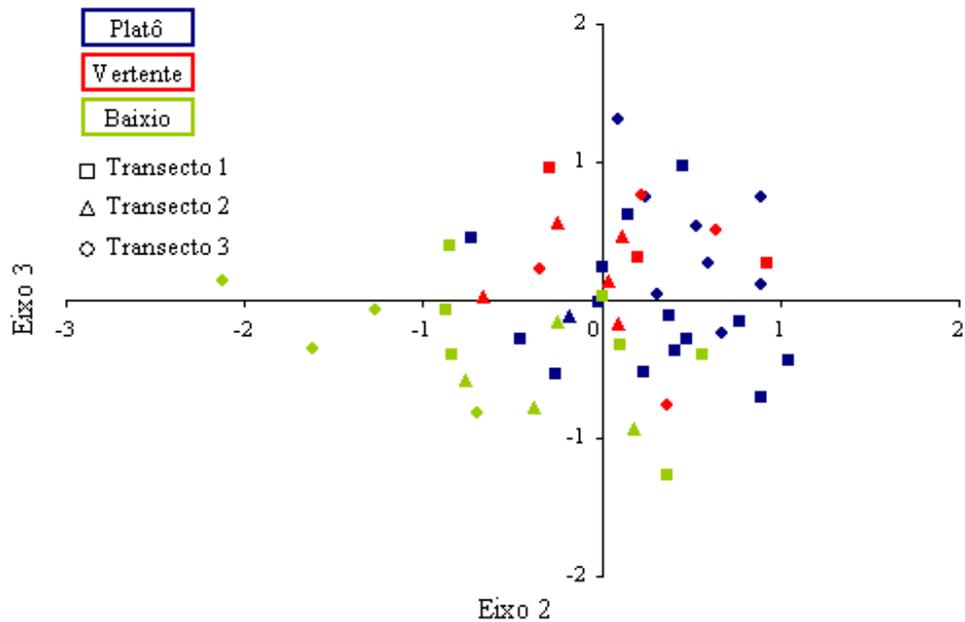


Figura 3.10 - Composição florística dos ambientes de platô, vertente e baixo, resumida nos dois eixos que melhor representaram a variação do conjunto de dados para indivíduos com $DAP \geq 10$ cm.

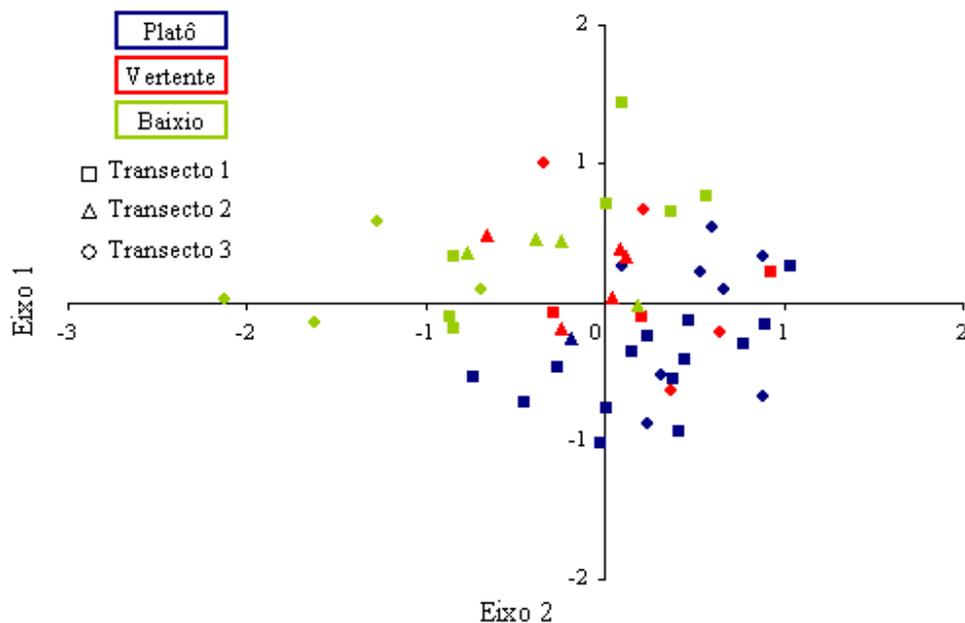


Figura 3.11 - Composição florística dos ambientes de platô, vertente e baixo, resumida nos eixos 1 e 2 para indivíduos com $DAP \geq 10$ cm.

A figura 3.12 é o resultado do efeito da distância e da mudança de fitofisionomias sobre a similaridade média de Bray-Curtis, ao longo de uma mesma toposequência, para todos os transectos. Percebe-se que há uma tendência a diminuição da similaridade à medida que se aumenta a distância entre as parcelas. A partir dos 350m de distância, o efeito da autocorrelação espacial sobre a similaridade tende a se estabilizar, provavelmente porque a esta distância as parcelas comparadas pertencem à ambientes diferentes. Percebe-se, portanto, que parte do efeito da distância está correlacionado ao efeito da variação fisionômica do ambiente, pois parcelas mais próximas tendem a ser da mesma fisionomia.

A máxima similaridade média encontrada para todos os transectos foi cerca de 40%. Na faixa de estabilização do índice, a similaridade na composição de espécies cai pela metade, atingindo cerca de 20%. Os valores de similaridade variaram entre 60% de similaridade e nenhuma similaridade entre as parcelas, sendo estes índices considerados baixos, em se tratando de parcelas extraídas de uma mesma comunidade.

Devido ao pequeno tamanho das parcelas (25x20m), para uma análise ao nível de espécie, a similaridade entre os objetos apenas pôde variar dentro de uma faixa muito pequena. Em geral, parcelas obtidas no mesmo ambiente, que tenderiam a apresentar similaridade próxima a 100%, apresentaram similaridade muito baixa. Isto pode significar insuficiência de amostragem, sabendo que em uma parcela de 20x25m foram encontrados, 33 indivíduos em média, dentro de uma floresta com alta diversidade. Como cada parcela amostrou poucos indivíduos, a porcentagem da variabilidade dos dados causada pelo acaso pode ter sido alta, influenciando a similaridade entre as parcelas.

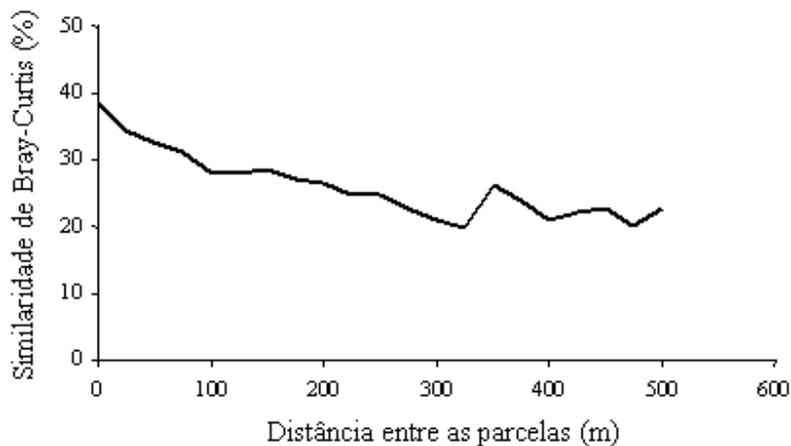


Figura 3.12 - Efeito da distância geográfica sobre a similaridade média ao longo da toposequência para todos transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM.

3.3.4.2 Palmeiras acaules e palmeiras arbóreas com DAP \leq 10cm

A ordenação com NMS resultou em uma solução com apenas uma dimensão, baseando-se nas 13 espécies mais abundantes, presentes nas três fitofisionomias das florestas de terra firme. O *stress* final foi de 17,06 e a instabilidade da solução foi de 0,00062, em 500 iterações. Um único eixo selecionado representou 87% da variabilidade do conjunto de dados. A Figura 3.13 representa o ordenamento das parcelas em função da matriz de similaridade de Bray-Curtis, onde parcelas mais próximas são mais similares que parcelas mais distantes.

Também para palmeiras acaule e palmeiras arbóreas com DAP \leq 10cm, os ambiente de platô e vertente foram bastante dissimilares do baixio (Figura 3.13). Percebe-se que quando há semelhança das parcelas de baixio a parcelas situadas em outros ambientes, em geral esta semelhança se dá a parcelas situadas na vertente, provavelmente em função da delimitação arbitrária das parcelas entre estas duas unidades topográficas.

No platô e na vertente, as espécies que mais contribuíram para a formação do padrão florístico demonstrado pelas análises de ordenamento foram *Astrocaryum murumuru*, a espécie mais abundante registrada no inventário, *Astrocaryum gynacanthum* e *Attalea*

maripa. O padrão florístico do baixo foi bastante relacionado às espécies *Oenocarpus bataua*, *Manicaria saccifera* e *Euterpe precatoria*.

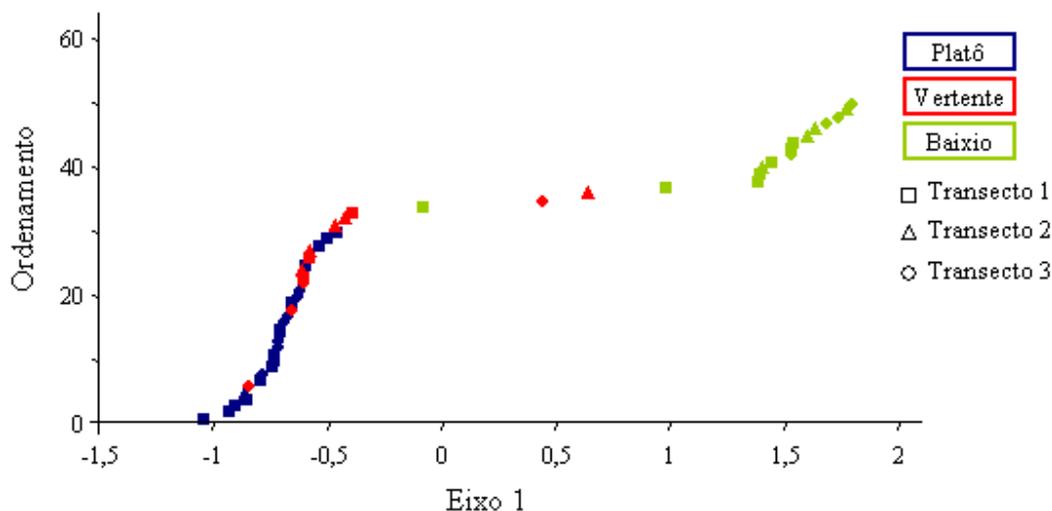


Figura 3.13 - Composição florística dos ambientes de platô, vertente e baixo resumida no único eixo que representou a variação do conjunto de dados para palmeiras acaule e palmeiras arbóreas com $DAP \leq 10\text{cm}$, na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM.

3.4 Discussão

As florestas de terra firme da microbacia do igarapé Asu demonstraram ser fisionomicamente heterogêneas, pelas diferenças florísticas e estruturais ao longo da toposequência. Especialmente a partir dos resultados obtidos com os parâmetros estruturais, foi possível revelar as diferenças marcantes entre áreas de platô e baixo. A variável altura mostrou as diferenças de estratificação entre fitofisionomias, sendo as características registradas para o baixo consistentes com a presença de mais clareiras e maior *turnover* de árvores.

A ocorrência e a abundância de algumas espécies parece sofrer influência das modificações ambientais ao longo da toposequência, pois houve espécies associadas às regiões mais úmidas ou mais drenadas. Este fato foi corroborado pelas ordenações realizadas tanto com as palmeiras acaules e arbóreas com $DAP \leq 10\text{cm}$ quanto com as palmeiras e dicotiledôneas

com DAP ≥ 10 cm, que revelaram o quão similares são estas comunidades em cada fitofisionomia. Especialmente com o ordenamento da comunidade de palmeiras acaule e arbóreas com DAP ≤ 10 cm foi possível reconhecer cada compartimento geomorfológico envolvido na análise.

As palmeiras são componentes muito abundantes e característicos das florestas de terra firme da Amazônia Central (Kahn e Castro, 1985). Neste estudo, a comunidade foi marcada por grande diversidade e variedade de formas de crescimento, pois registrou-se grande diversidade de espécies de palmeiras acaule e arbóreas que povoaram especialmente o sub-bosque e o sub-dossel das florestas. A densidade e riqueza de palmeiras atingiram o máximo nas áreas pouco drenadas dos baixios, apesar da sua área de amostragem ser inferior a dos platôs.

Claramente a comunidade de palmeiras demonstrou ao menos duas zonas de ocorrência de acordo com as condições hídricas do solo. A *Oenocarpus bacaba* (bacaba) é uma das palmeiras arbóreas mais comuns na terra firme e de ocorrência restrita aos platôs quando adultos. Alguns indivíduos jovens foram encontrados próximos aos baixios, no entanto o seu recrutamento até a fase adulta parece ser limitado pela presença da água. No baixio, por sua vez, a *Oenocarpus bataua* (Patauá) é uma das palmeiras arbóreas mais abundante e restrita a este ambiente devido às suas adaptações fisiológicas. Embora indivíduos jovens não tenham sido encontrados nos platôs, talvez por uma dificuldade de dispersão dos baixios em direção aos platôs, estudos anteriores indicam que para o recrutamento da *O. bataua* é necessário a presença de água e, portanto o seu desenvolvimento até a fase adulta só pode ser atingido nos baixios (Costa et al., 2005). Por outro lado, é possível que esta espécie apresente uma vantagem competitiva em condições de excesso de água, devido a sua maior tolerância ao encharcamento, e, por isso, apresente-se em maior abundância nos ambientes de baixio.

Segundo Vormisto (2000), espécies de palmeiras refletem relativamente bem as diferenças nas condições ambientais. Em florestas de terra-firme na Amazônia peruana, a variação da

composição florística de palmeiras foi capaz de prever padrões florísticos de árvores, pteridófitas e melastomataceas (Vormisto *et al.*, 2000), indicando que os padrões de distribuição encontrados para palmeiras podem também ser extrapolados para outros grupos.

3.4.1 Contexto regional

É interessante considerar como estes resultados se assemelham aos inventários já realizados, como podem acrescentar novas informações à região e como podem ser discutidos em um contexto geral para Amazônia Central. No entanto, uma direta comparação nem sempre é possível, pois os inventários variam amplamente em precisão botânica, hábito de vida das espécies incluídas (lianas, epífitas), DAP mínimo de inclusão, área amostrada, forma e localização topográfica das parcelas dentro da floresta de terra firme. Por estas diferenças metodológicas, a interpretação dos dados é difícil, pois os aspectos florísticos, fitossociológicos, estruturais e ecológicos variam bastante.

Em alguns parâmetros estruturais, os resultados encontrados neste estudo estão dentro da variação indicada em outros inventários florísticos, realizados nesta mesma região fitogeográfica. Higuchi *et al.* (1998) encontraram estimativas médias de área basal de 31,1 m²/ha para o platô (35m²/ha neste estudo), 28,6 m²/ha para vertente (28 m²/ha neste estudo) e 26,5 m²/ha para o baixio (26m²/ha neste estudo). Quanto à densidade de árvores por hectare, os resultados encontrados estão abaixo do registrado em outros inventários. Carneiro (2004) e Rankin-de-Mérona *et al.* (1992) encontraram cerca de 623 e 645 árvores/ha de platô, respectivamente, enquanto neste estudo foram registradas 581 árvores/ha. Oliveira e Amaral (2004) encontraram 771 árvores/ha na vertente (587 neste estudo), e Carneiro (2004) encontrou 624 árvores/ha no baixio (559 neste estudo). A área de amostragem do presente estudo foi menor que a área amostrada em todos os estudos citados. Como consequência, tem-se que quanto menor a área de amostragem, maior a variabilidade esperada nas estimativas da média. Dessa forma, a verdadeira densidade de árvores neste estudo poderia ter sido maior.

Em todo o inventário, as famílias Fabaceae e Lecythidaceae foram as mais expressivas tanto em diversidade específica, quanto na análise estrutural. No baixio, a família Arecaceae se destaca principalmente pela sua contribuição para caracterização fisionômica da área. Estes resultados estão de acordo com outros estudos, que variaram sua área de amostragem entre 1 e 70ha e diâmetros de inclusão das árvores entre 10 e 20cm (Carneiro, 2004; Jardim e Hosokawa, 1986; Milliken, 1998; Prance et al., 1976; Rankin-de-Mérona et al., 1992). Estes resultados ilustram a grande similaridade na composição florística, em nível de família, para a região da Amazônia Central.

Analisando em um nível taxonômico mais abaixo, a similaridade entre a microbacia Igarapé Asu e outros inventários, para os gêneros mais diversos, também foi recorrente. Para o platô, os gêneros *Protium*, *Pouteria*, *Licania* e *Eschweilera* são indicados tanto por inventários realizados próximos a região do Igarapé Asu (área do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais – PDBFF, localizado à 80Km ao norte de Manaus, Rankin-de-Mérona et al., 1992) quanto por inventários realizados em regiões mais distantes da Amazônia Central (povoado de Maré, localizado à 200Km a nordeste de Manaus, Milliken, 1998). Para vertente, é citado *Swartzia*, além dos gêneros já citados para o platô (Oliveira e Amaral, 2004). Para o baixio, destacam-se *Protium* e *Licania* (Carneiro, 2004).

Na análise em nível específico, no entanto, a comparação com este estudo foi dificultada, pois muitas espécies com alto valor de importância (IVI) na comunidade foram identificadas apenas por gênero. Com os dados disponíveis, foi feita uma comparação aos inventários realizados anteriormente, indicando que a similaridade por espécie é menos pronunciada, mesmo entre áreas geograficamente próximas (Prance, 1976; Rankin-de-Mérona et al., 1992).

As 20 espécies com maior IVI contribuíram com cerca de 64%, 65% e 68% do total de indivíduos registrados no platô, na vertente e no baixio, respectivamente. Carneiro (2004), no entanto, destaca a baixa densidade de indivíduos por espécie, indicando que suas 20 espécies mais importantes contribuíram com apenas 27% dos indivíduos no platô e 48%

dos indivíduos no baixio. No presente estudo, uma espécie identificada apenas por família como Sapotaceae sp.1 foi a de maior contribuição para densidade relativa no platô e na vertente, perdendo apenas para *Oenocarpus bataua* (Patauá) no baixio. A alta densidade da espécie Sapotaceae sp.1 não pôde ser comparada a outros estudos. No entanto, a expressividade da *Oenocarpus bataua*, é corroborada por outros estudos, sendo uma das poucas espécies que apresentam grande densidade em diferentes sítios da região (Oliveira, 2000).

De acordo com outros inventários realizados nas florestas de terra firme da Amazônia Central, grande parte da riqueza de espécies das florestas de terra firme é devido à proliferação de espécies dentro de alguns gêneros (Rankin-de-Mérona et al., 1992). Neste inventário, os gêneros mais diversos agruparam até três espécies, enquanto outros inventários apontaram gêneros bem mais diversos. Dois fatores mais prováveis podem ser apontados para explicar estas diferenças. O primeiro fator refere-se à diferença de área amostrada entre os inventários. O segundo fator refere-se ao fato de que cerca da metade das espécies registradas neste estudo (49,6%) não foram identificadas em nível específico. Como comparação este estudo encontrou duas espécies para o gênero *Swartzia*, em uma área de 0,6ha de vertente sem coleta de material botânico. Oliveira e Amaral (2004), na mesma região do Igarapé Asu, encontraram 13 espécies para o mesmo gênero em 1ha, identificando as amostras por morfologia comparada no herbário. Segundo Milliken (1998), a identificação em campo é sempre um risco quando comparado à identificação no herbário, e pode ser um dos limitantes para comparação da diversidade regional entre diversos estudos.

A riqueza de espécies por ambiente é difícil de ser interpretada, pois a amplitude de variação dos dados é muito grande. No platô, a amplitude variou entre 83 (este estudo) e 698 espécies (Rankin-de-Mérona et al., 1992), na vertente entre 69 espécies (este estudo) e 239 espécies (Oliveira e Amaral, 2004) e no baixio entre 73 (este estudo) e 461 espécies (Carneiro, 2004). Associando a baixa concentração de espécies por gênero, o resultado da

curva de acumulativa de espécies em função da área e os pequenos valores registrados para o índice alfa de Fisher sugere-se que as fitofisionomias foram insuficientemente amostradas quanto a sua diversidade florística e que a identificação taxonômica em campo dificultou uma melhor descrição dos indivíduos em nível específico. Enquanto no estudo de Oliveira e Amaral (2004), o valor de alfa diversidade para vertente foi de cerca de 119, este estudo registrou um valor bem abaixo, cerca de 22. Acredita-se que, provavelmente, o aumento na área amostrada e uma identificação feita no herbário levariam à concentração de novas espécies em poucos gêneros.

Os dados obtidos em campo foram considerados suficientes para atingir o propósito maior deste estudo que foi de constatar as diferenças estruturais e florísticas entre os ambientes de platô, vertente e baixio. A comparação em nível de família foi suficiente para identificar as florestas de terra firme da microbacia do Igarapé Asu como sendo tipicamente da Amazônia Central, e suficiente para ilustrar as diferenças de colonização entre o platô, a vertente e o baixio. Percebe-se que para uma caracterização florística geral, não é necessário a coleta de material botânico, que demanda tempo e muitas vezes é economicamente inviável (Carneiro, 2004). Comparando os diversos inventários realizados com métodos e áreas de amostragem diferentes, as mesmas famílias foram apontadas como importantes na caracterização dos ambientes. No entanto, para uma maior contribuição no reconhecimento dos padrões estruturais e florísticos comuns às florestas de terra firme ao nível de espécie, a coleta é recomendável.

CAPÍTULO 4

ESTIMATIVA DE BIOMASSA POR TEXTURA DE IMAGENS DE RADAR SIMULADAS PARA O MAPSAR (*Multi-Application Purpose SAR*) EM UMA FLORESTA DE TERRA-FIRME DA AMAZÔNIA CENTRAL

4.1 Introdução

Existe grande variabilidade espacial de biomassa vegetal nas florestas tropicais, que se deve, em grande parte, às características ambientais da paisagem (Laurance et al., 1999, Chave et al., 2001, Chave et al., 2003). Segundo Castilho (2004), a variação topográfica pode ser considerada o gradiente principal de habitat e deve ser levada em consideração na seleção dos locais de amostragem para estimativa de biomassa. A estratificação da estimativa de biomassa de acordo com uma classificação fisionômica é crucial no processo de generalização de atributos da paisagem a partir de modelos de predição de biomassa para Amazônia Central (Brown e Lugo, 1992; Clark e Clark, 2000).

Como resultado, o conhecimento da variabilidade espacial da biomassa torna-se importante para o entendimento do ciclo do carbono ao menos por duas razões. Primeiro, para o cálculo das áreas fonte de carbono, resultante da conversão da floresta por atividades antrópicas (Houghton, 2005). Acredita-se, que grande parte do erro na estimativa do balanço de carbono terrestre é resultado tanto de incertezas sobre a taxa de desmatamento, como de incertezas sobre o estoque de carbono presente na área desflorestada (Houghton et al., 2001). Segundo, para melhorar a estimativa de variação da biomassa ao longo do tempo, pois não há um consenso se os períodos em que há acúmulo de biomassa nas florestas tropicais é devido à diminuição do desmatamento ou se mais florestas com menor biomassa estão sendo convertidas.

A necessidade de proporcionar estimativas confiáveis de biomassa para os modelos de fluxo de carbono na atmosfera e para a determinação do papel das florestas tropicais no clima global exige o desenvolvimento de metodologias eficientes e baratas para estimar a biomassa florestal (Castilho, 2004). A evolução tecnológica na área de sensoriamento

remoto tem permitido o surgimento de novos produtos para caracterização e monitoramento florestal. Diversos trabalhos buscam viabilizar a utilização dos dados obtidos remotamente na estimativa de biomassa para Amazônia, onde a realização de inventários florestais nem sempre é possível em função da dificuldade logística e de acesso (Steininger, 2000; Podest e Saatchi, 2002).

Por ser um sensor ativo e atuar na região de microondas, o SAR (*Synthetic Aperture Radar*) torna-se uma fonte importante de dados, principalmente em uma região permanentemente coberta por nuvens como a Amazônia (ProRADAR, 1997). Os diversos comprimentos de ondas disponíveis para o SAR são capazes de fornecer informações sobre a rugosidade da superfície, topografia, condições de umidade e aspectos da vegetação. Os sistemas SAR mais avançados transmitem e recebem pulsos em diferentes polarizações (HH, HV, VH e VV), aumentando a quantidade de informações contida no sinal retroespalhado (σ^0) (Waring et al., 1995).

No estudo de florestas, os sistemas SAR têm demonstrado capacidade em estimar a biomassa até um certo limiar, acima do qual o incremento de biomassa não mais sensibilizará o sensor. Estudos de viabilidade da utilização de radar para estimativa de biomassa indicam que com a banda L, a saturação do sinal retroespalhado tende a ocorrer entre 60-100 ton/ha (Imhoff, 1995; Luckman et al. 1998). Isto torna o emprego da relação entre biomassa e σ^0 inviável, pois florestas tropicais como a Amazônia tendem a apresentar biomassa bastante superior ao limiar de saturação.

Uma alternativa de utilização de imagens de sensoriamento remoto na estimativa de biomassa é encontrada na textura. Os atributos de textura contêm informações importantes sobre o arranjo estrutural das superfícies e seus relacionamentos com o ambiente ao redor, sendo bastante promissor no estudo de florestas tropicais. Em análises digitais, ela reflete o padrão espacial ou a frequência de variação de tons de cinza em uma determinada área. Estes padrões são produzidos por associações de feições pequenas demais para serem

identificadas individualmente, mas que permitem a identificação de áreas com propriedades específicas (Simonett e Davis, 1983).

Na literatura, são descritos diferentes atributos de textura, baseados em padrões de frequência e estatísticas de primeira e segunda ordem (Haralick et al., 1973). Estes atributos podem ser agrupadas em três conjuntos segundo Oliveira et al. (2005): atributos distribucionais, que não levam em conta a distribuição espacial dos níveis de cinza, e sim sua distribuição probabilística; atributos baseados na matriz de co-ocorrência dos níveis de cinza, que consideram a dependência espacial entre os níveis de cinza; e atributos relacionados à autocorrelação espacial, que levam em conta a relação entre os pixels de uma imagem, atribuindo um valor de autocorrelação para cada relação de vizinhança.

Muitos atributos de textura têm sido desenvolvidos e utilizados para melhorar a precisão em classificações da cobertura da terra ou na separação de tipos florestais, mas raramente tem sido avaliada a sua importância para estimativa de biomassa. Lu e Batistella (2005), exploraram a relação entre biomassa e textura em imagens Landsat-TM da região de Rondônia e encontraram relações que encorajam o aprofundamento sobre como a informação textural representa a biomassa. No entanto, esta relação ainda é pouco conhecida, deixando sob discussão questões como “quais atributos de textura podem efetivamente extrair informação sobre a biomassa?” ou “como os atributos de textura se relacionam à estimativa de biomassa?”.

Por suas configurações, as imagens a serem disponibilizadas pelo MAPSAR (*Multi-Application Purpose SAR*) têm grande potencial para qualificar e quantificar florestas com diferenças estruturais. O MAPSAR é fruto de uma iniciativa de cooperação entre o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a Agência Aeroespacial da Alemanha (*German Aerospace Center*), para o desenvolvimento de um estudo de viabilidade de construção de um radar orbital para aplicação em diversas regiões, incluindo a Amazônia. Suas especificações em banda L (~23cm), polarimétrica (HH, HV e VV, fase), com alta resolução espacial (3-20 m), constituem uma fonte inédita de imagens com grande

capacidade de levantar informações sobre a região Amazônica. Na literatura, a banda L é indicada para estimativa de biomassa, pois as principais fontes de espalhamento do sinal são galhos e troncos, devido a sua capacidade de penetração parcial do dossel (Van der Sanden, 1997). Devido à diversidade de orientação e arquitetura dos espalhadores na floresta, as múltiplas polarizações seria um meio de incrementar a informação captada pelo sensor.

Partindo da premissa de que há diferença estrutural entre os ambientes, como constatado no Capítulo 3, espera-se que áreas com solos permanente ou sazonalmente saturados e áreas com pouca influência do lençol freático também difiram quanto ao estoque de biomassa.. Desta forma, um dos objetivos deste capítulo foi testar a hipótese de que as áreas de platô, vertente e baixio são diferentes em termos de biomassa. O segundo objetivo foi avaliar se a textura das imagens de radar simuladas para o MAPSAR em banda L, multipolarizada e com resolução espacial de 10m se relacionam com a estrutura vertical e horizontal dos ambientes de terra firme e, conseqüentemente com a biomassa. Isto é esperado baseando-se na hipótese de que a distribuição dos níveis de cinza na imagem de radar, indicado pela textura, representa a estrutura da vegetação e, conseqüentemente a biomassa. Uma vez que exista esta relação, modelos preditivos de biomassa foram estabelecidos considerando a amostragem estratificada por fitofisionomias, esperando uma melhora nas estimativas de biomassa para a área.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Aquisição e processamento das imagens de simulação do MAPSAR

A configuração do satélite de sensoriamento remoto por microondas MAPSAR prevê imagens com diferentes resoluções espaciais (3m, 10m e 20m), polarizações (única, dual e quad-pol), distintas larguras de faixas e ângulo de incidência entre 20° e 48° (Mura et al., 2007) (Tabela 4.1). Para o teste de viabilidade, simulou-se apenas as especificações do imageamento orbital no Modo MR, que se restringe ao modo de média resolução sob elevada incidência. O sobrevôo na área teste situada na microbacia do Igarapé Asu foi

realizado em 10/05/2005. A simulação foi feita pelo sensor SAR-R99B a bordo da aeronave EMB-145 do SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia).

Tabela 4.1- Parâmetros previstos de operação do radar orbital MAPSAR (HR = *High resolution*, MR = *Medium resolution*, LR = *Low resolution*, SPM = *Single polarization mode*, DPM = *dual polarization mode*, QPM = *Quad polarization mode*)

| Parâmetros | Modo HR (SPM) | | Modo MR (DPM) | | Modo LR (QPM) | |
|-----------------------------------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|
| | próximo | distante | próximo | distante | próximo | distante |
| Resolução espacial em Range (m) | 4,7 | 3,1 | 10 | 10 | 20 | 20 |
| Resolução espacial em Azimute (m) | 3,1 | 3,1 | 10 | 10 | 20 | 20 |
| Largura da faixa (Km) | 38,3 | 20,5 | 45,1 | 35 | 43,4 | 28 |
| Ângulos de incidência (°) | 20,3 | 47,6 | 20 | 48,1 | 20 | 36,8 |

Para que a partir das características de um sensor aerotransportado fosse possível simular um sensor orbital, tomou-se um conjunto de 10 imagens do SAR-R99B com ângulo de incidência entre 39,57° e 70,99° e sobreposição lateral. De cada uma destas imagens foram feitos recortes entre os ângulos de incidência 45° e 53°, que permitiriam a geração de mosaicos relativos ao Modo MR do MAPSAR. A este mosaico adicionou-se um ruído, sabendo que as imagens orbitais apresentam mais ruídos que imagens aerotransportadas. Em seguida, o mosaico sofreu um processamento na direção perpendicular ao vôo (*range*) e na direção de vôo (azimute), e uma transformação geométrica para projeção inclinada da geometria MAPSAR (*slant range*) (Mura et al., 2007).

4.2.2 Estimativa de biomassa por equações alométricas

Para as dicotiledôneas, utilizou-se duas equações desenvolvidas pelo método direto em áreas de platô de latossolo amarelo, na própria Bacia do Igarapé Asu (Higuchi et al., 1998) (Tabela 4.2). Esta equação utiliza apenas o DAP, que é uma variável fácil de ser obtida em campo, ao contrário da variável altura que pode ser bastante imprecisa. Um fator de 0,6 foi inserido à equação para conversão da biomassa de peso fresco para peso seco, considerando que o peso seco do tronco corresponde à cerca de 60% de seu peso fresco e o peso seco da

copa corresponde à 58% do seu peso fresco (Higuchi et al., 1998). Para estimativa de biomassa de palmeiras, utilizou-se uma equação específica desenvolvida na região do alto Rio Negro na Venezuela e Colômbia (Saldarriaga et al., 1988). Para posterior comparação com estudos já realizados, a biomassa foi fornecida em toneladas por hectare.

Tabela 4.2 - Equações alométricas utilizadas para estimar a biomassa seca acima do solo (kg ha⁻¹) de árvores e palmeiras. As equações são baseadas no diâmetro à altura do peito (DAP, em cm) e/ou altura (H, em metros).

| Formas de vida | Equação alométrica |
|--------------------------------|--|
| Dicotiledôneas | |
| 5 cm >DAP < 20 cm ^a | $\text{Exp}(-1,754 + 2,665 \ln(\text{DAP})) * 0,6$ |
| DAP ≥ 20 cm ^a | $\text{Exp}(-0,151 + 2,17 \ln(\text{DAP})) * 0,6$ |
| Palmeiras | |
| DAP ≥ 1cm ^b | $\text{Exp}(-6,3798 - 0,877 * \ln(1/\text{DAP}^2)) + 2,151 * \ln(H)$ |

Fonte: ^a Higuchi et al. (1998)

^b Saldarriaga et al. (1988)

4.2.3 Extração dos atributos de textura das imagens SAR

Para as mesmas áreas onde realizou-se o inventário florestal, calculou-se atributos de textura da imagem multipolarizada de simulação do MAPSAR. Um arquivo vetorial contendo os transectos definidos em campo foi sobreposto à cada imagem (HH, HV e VV) separadamente, no programa ENVI 4.0 (Figura 4.1). Os atributos de textura foram então calculados utilizando o sistema Texture, desenvolvido em IDL\ENVI (Rennó et al., 1998). Como resultado, obteve-se um valor de cada atributo de textura para cada ambiente vetorizado, em cada imagem. Estes valores foram relacionados à biomassa estimada em campo no programa Statistica 6.0. No sistema Texture, podem-se extrair três grupos de atributos de textura: distribucional (dist), que se divide em dois subgrupos: básicos e particulares; co-ocorrência (cooc); e autocorrelação espacial (auto). Neste trabalho, foram utilizados 32 atributos de textura classificados como básicos, particulares e de co-ocorrência para cada polarização (Tabela 4.3), totalizando 96 atributos.

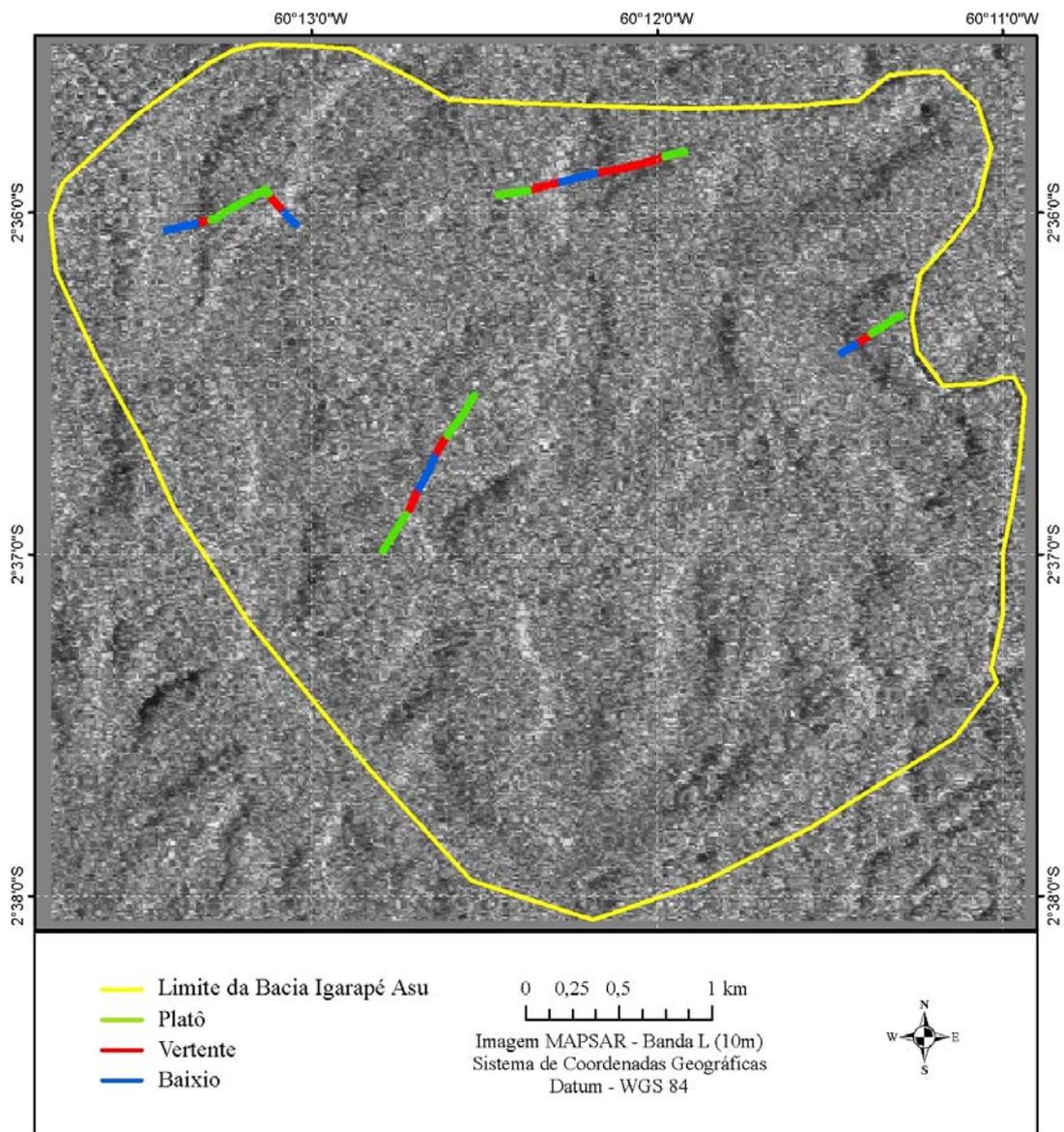


Figura 4.1 - Transectos vetorizados para o cálculo dos atributos de textura na imagem simulação do MAPSAR, da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM

Tabela 4.3 - Medidas de textura classificadas em distribucionais e de co-ocorrência extraídas das imagens HH, HV e VV para a microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM.

| Variáveis | Classificação |
|------------------------------|---------------|
| Assimetria | Básico |
| Coeficiente de variação | Básico |
| Curtose | Básico |
| Desvio padrão | Básico |
| Média | Básico |
| Mediana | Básico |
| Variância | Básico |
| Chi-quadrado | Co-ocorrência |
| <i>Cluster prominence</i> | Co-ocorrência |
| <i>Cluster shade</i> | Co-ocorrência |
| Contraste | Co-ocorrência |
| Contraste do vetor diferença | Co-ocorrência |
| Correlação | Co-ocorrência |
| Dissimilaridade | Co-ocorrência |
| Energia | Co-ocorrência |
| Energia do vetor diferença | Co-ocorrência |
| Energia do vetor soma | Co-ocorrência |
| Entropia | Co-ocorrência |
| Entropia do vetor diferença | Co-ocorrência |
| Entropia do vetor soma | Co-ocorrência |
| Homogeneidade | Co-ocorrência |
| Média do vetor diferença | Co-ocorrência |
| Média do vetor soma | Co-ocorrência |
| Variância do vetor diferença | Co-ocorrência |
| Variância do vetor soma | Co-ocorrência |
| Desvio absoluto da média | Particular |
| Desvio padrão da log-normal | Particular |
| Energia | Particular |
| Entropia | Particular |
| Média da log-normal | Particular |
| Variância da log-normal | Particular |

4.2.4 Análise dos dados

Para testar se os ambientes de platô, vertente e baixio diferiam quanto à biomassa obtida em campo por equações alométricas, utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA). Anteriormente à realização desta análise, atestou-se a normalidade dos dados relativos à biomassa.

A escolha do atributo ou do conjunto de atributos de textura que melhor representam a biomassa estimada em campo foi realizada por regressões múltiplas. Como variável independente utilizou-se os atributos de textura extraídos da imagem de radar em todas as polarizações (HH, HV e VV). Como variável dependente, foi utilizado a biomassa média estimada por equações alométricas nos 18 ambientes amostrados de platô, vertente e baixio (Figura 2.7 a 2.11). A biomassa média foi calculada pela soma da biomassa de cada parcela de 20x25m dentro de uma mesma fitofisionomia e de um mesmo transecto, dividido pelo número de parcelas amostradas (Apêndice B.1, B.2 e B.3).

A princípio, as regressões múltiplas foram realizadas entre a biomassa estimada pelas equações alométricas e os atributos de textura calculados em cada polarização, separadamente. Em seguida, a análise foi feita em conjunto, para verificar se há incremento na predição da biomassa com a inserção de diferentes polarizações. Uma análise adicional foi feita para comparar o desempenho de um modelo preditivo de biomassa baseado apenas em um atributo relacionado à tonalidade, como a média, que não possui informação textural. Para esta análise, utilizou-se regressão simples.

Anteriormente à geração dos modelos de regressão múltipla, foi feita uma pré-seleção dos 96 atributos de textura a partir da análise da matriz de correlação (Apêndice C.1). Neste procedimento, descartou-se as variáveis que eram muito correlacionadas entre si ou que possuíam correlação muito pequena em relação à variável dependente biomassa. Provavelmente, estas variáveis seriam excluídas posteriormente do modelo por não contribuírem com informação nova (Neter et al. 1996). Como o número de variáveis resultantes desta pré-seleção ainda era alto, uma segunda seleção foi realizada pela

regressão *stepwise*. Este procedimento é muito indicado em situações como esta, onde o número de variáveis explicativas é muito elevado (Aguiar, 1996). Esta técnica identifica um único subconjunto de variáveis explicativas que melhor se adequou ao modelo, por meio de um procedimento iterativo que, em cada passo, adiciona ou remove uma única variável do modelo. O método *stepwise* termina quando não houver nenhuma variável explicativa do conjunto inicial para ser inserida ou retirada do modelo. O modelo resultante da regressão *stepwise* foi considerado o modelo completo.

Quando utiliza-se um procedimento automático de seleção de variáveis, onde somente um único modelo é escolhido como o mais adequado, outros modelos alternativos também devem ser considerados. Estes modelos alternativos foram constituídos por equações que envolveram combinações das mesmas variáveis explicativas presentes no modelo completo. Para tanto, foram utilizados os critérios C_p , R_p^2 e R_a^2 , para calcular todas as regressões possíveis e identificar as variáveis para o modelo final. O C_p é executado pela montagem de um gráfico de dispersão no qual o eixo das ordenadas é composto pelos valores do indicador, enquanto as abscissas assumem o valor do número de variáveis do subconjunto avaliado (p). Neste critério, os pares ordenados localizados mais próximos da reta, que indica o valor do C_p esperado, são indicados como melhores subconjuntos de variáveis. Os critérios R_p^2 e R_a^2 também se utilizam do gráfico de dispersão, no entanto a escolha do subconjunto se baseia nos pares ordenados que representam pontos de máximo valor da função.

Após a obtenção do modelo final, todas as 78 variáveis descartadas por possuir correlação muito pequena com a variável dependente biomassa ou por que eram muito correlacionadas entre si foram inseridas uma a uma ao modelo de regressão. Este procedimento foi adotado para permitir que qualquer uma destas variáveis descartadas pudesse ser inserida ao modelo, caso tivesse alguma relação com a variável dependente. Estas variáveis não foram incluídas ao modelo completo inicial devido à multicolinearidade entre as variáveis.

As regressões foram feitas seguindo as premissas básicas de normalidade dos resíduos, homocedasticidade (constância da variância) dos resíduos, independência dos resíduos e linearidade da função de regressão (Neter et al., 1996). A análise da normalidade dos resíduos foi feita pelo gráfico de probabilidade normal e pelo teste de Shapiro-Wilk, onde deve-se rejeitar a hipótese de normalidade caso a estatística W seja significativa. A análise da variância dos resíduos foi realizada pelo teste de Levene modificado (Neter et al., 1996). Em caso de não linearidade da regressão, algumas transformações nas variáveis foram realizadas.

Análises adicionais foram realizadas para identificar alguma possível inadequação do modelo final. A identificação de *outliers* influentes foi realizada pelo cálculo do DFFITS, pois a presença de observações atípicas pode limitar o desempenho da modelagem estatística (Neter et al., 1996). A identificação de multicolinearidade das variáveis incluídas no modelo final também foi verificada pelo Fator de inflação da variância (VIF) (Neter et al., 1996). As análises foram repetidas caso fosse constatada a presença de alguma destas inadequações.

Após todas estas análises procedeu-se a validação do modelo de regressão gerado. Em geral, para validar o modelo de regressão é necessário separar, a priori, um subconjunto de amostras. Porém quando o número de observações é pequeno e, conseqüentemente, de difícil separação, Neter et al. (1996) sugerem que a validação seja realizada pelo critério $PRESS_p$ (*Prediction sum of squares*). Este critério é obtido pela exclusão de uma observação do conjunto de dados, estimando-se a função de regressão para o conjunto de dados restantes e então, a partir desta função, estimar o valor para o caso omitido da análise. O critério $PRESS_p$ é definido pela soma dos quadrados dos erros preditos sobre todos n casos, segundo a equação:

$$PRESS_p = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_{i(i)})^2$$

Onde Y_i e $\hat{Y}_i(i)$ referem-se respectivamente ao valor da observação omitida i e de sua estimativa. Segundo Neter et al. (1996), o modelo é válido quando o $PRESS_p$ estiver relativamente próximo do valor da soma dos quadrados dos erros (SQE) do modelo, cuja capacidade preditiva está sendo avaliada, utilizando as n observações.

4.3 Resultados

4.3.1 Estimativa de biomassa por equações alométricas

De acordo com a Análise de variância, a biomassa média encontrada para palmeiras foi diferente entre o platô e o baixio e entre a vertente e o baixio (ANOVA, $p < 0,01$; Tukey, $p < 0,01$) (Tabela 4.4; Figura 4.2). Enquanto para o platô e para o baixio a contribuição das palmeiras arbóreas para biomassa total foi quase nula (0,07 e 0,5, respectivamente), sua biomassa foi de cerca de 9 ton/ha no baixio. Isto era esperado visto que no capítulo 3, as palmeiras com $DAP \geq 10\text{cm}$ tiveram maior densidade e área basal nas áreas de baixio e na análise fitossociológica esta família teve grande importância para colonização destes ambientes.

Considerando apenas a biomassa média de dicotiledôneas, a análise de variância indicou que há diferença apenas entre o platô e o baixio (ANOVA, $p=0,05$; Tukey, $p=0,05$). As dicotiledôneas foram responsáveis por grande parte da biomassa florestal total. Para a estimativa da biomassa para dicotiledôneas sem levar em consideração a fitofisionomia inventariada tem-se uma biomassa média de 316 ton/ha. Particionando por ambiente, a biomassa média registrada para o platô foi de 346 ton/ha, na vertente foi de 324 ton/ha e no baixio foi de 269 ton/ha.

Tabela 4.4 - Biomassa média (ton/ha) para palmeiras e dicotiledôneas com DAP \geq 10 cm em cada fitofisionomia da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM. (Para cada categoria tem-se o valor de probabilidade da ANOVA. Por estarem próximos, os platôs dos transectos 1 e 2 foram agrupados. A localização de cada ambiente pode ser identificada nas figuras 2.7 a 2.11)

| Ambiente | Dicotiledônea | Palmeira | Total |
|-----------------|---------------|----------|-------|
| Platô | | | |
| 1 e 2 | 366,5 | 0,1 | 366,7 |
| 3 | 293,6 | 0,1 | 293,7 |
| 4.1 | 349,6 | 0,0 | 349,6 |
| 4.2 | 413,5 | 0,0 | 413,5 |
| 5.1 | 317,4 | 0,1 | 317,5 |
| 5.2 | 337,6 | 0,2 | 337,8 |
| Vertente | | | |
| 1 | 368,6 | 0,1 | 368,8 |
| 2 | 361,3 | 1,0 | 362,3 |
| 3 | 273,2 | 1,4 | 274,6 |
| 4.1 | 313,8 | 0,2 | 314,0 |
| 4.2 | 269,6 | 0,1 | 269,7 |
| 5.1 | 423,1 | 0,4 | 423,5 |
| 5.2 | 260,9 | 0,2 | 261,1 |
| Baixio | | | |
| 1 | 236,6 | 9,9 | 246,5 |
| 2 | 264,1 | 14,8 | 278,8 |
| 3 | 271,8 | 5,6 | 277,4 |
| 4 | 230,2 | 10,8 | 241,0 |
| 5 | 343,7 | 5,6 | 349,3 |
| ANOVA | 0,05 | <0,01 | 0,09 |

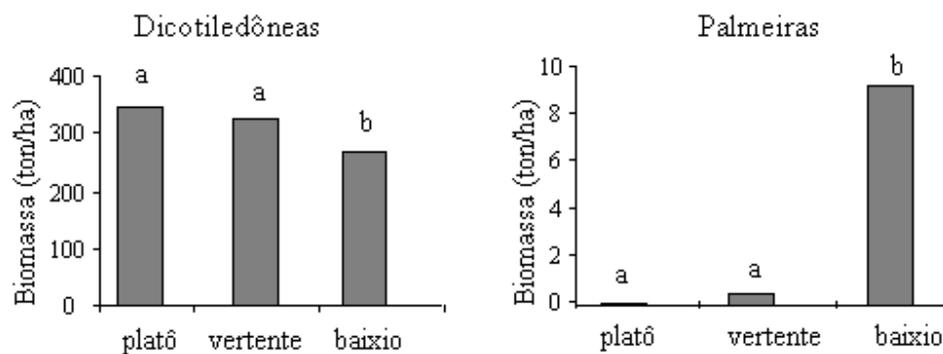


Figura 4.2 - Biomassa média (ton/ha) para palmeiras e dicotiledôneas com $DAP \geq 10$ cm em cada fitofisionomia da microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM, indicando com letras minúsculas os grupos estatisticamente diferentes pelo teste Tukey.

No entanto, analisando a variação da estimativa de biomassa para o baixio, indicado na Figura 4.3, percebe-se a presença de um valor atípico. Este valor foi reconhecido como a média da biomassa estimada a partir de oito parcelas situadas no baixio do transecto 5. Com a análise detalhada da biomassa estimada em cada uma destas parcelas, detectou-se a presença de duas parcelas com biomassa acima da registrada nas outras seis parcelas (Figura 4.4). Na figura 4.5, percebe-se que há um número de árvores de grande porte no baixio do transecto 5 acima do registrado no baixio de outros transectos, devido a presença destas duas parcelas atípicas. Atribuiu-se este fato à designação arbitrária das parcelas como sendo de baixio ou vertente. Algumas parcelas de baixio podem ter tido parte da sua área coberta por ambientes mais típicos da vertente, mas que durante a delimitação das unidades topográficas com base nas medidas do barômetro foram consideradas parcelas de vertente. Isto pode ter favorecido a presença de alguns indivíduos de grande porte mais do que o esperado, comparando-se com outros baixios dos outros transectos.

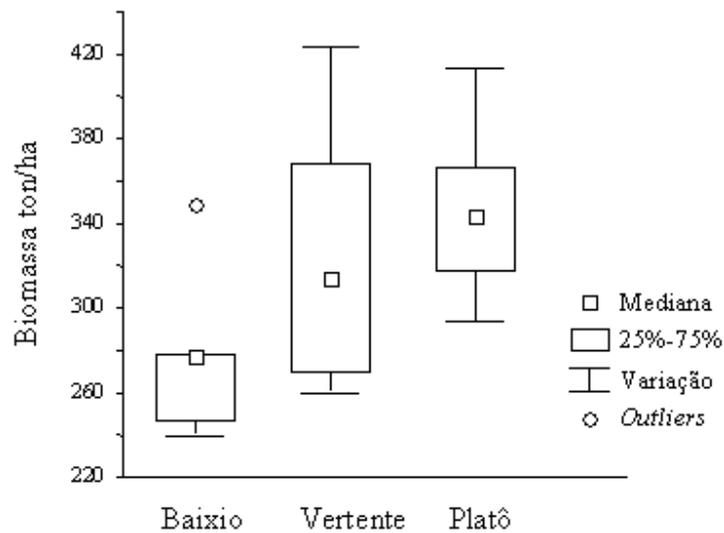


Figura 4.3 - Variação da estimativa de biomassa total em cada fitofisionomia amostrada na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM.

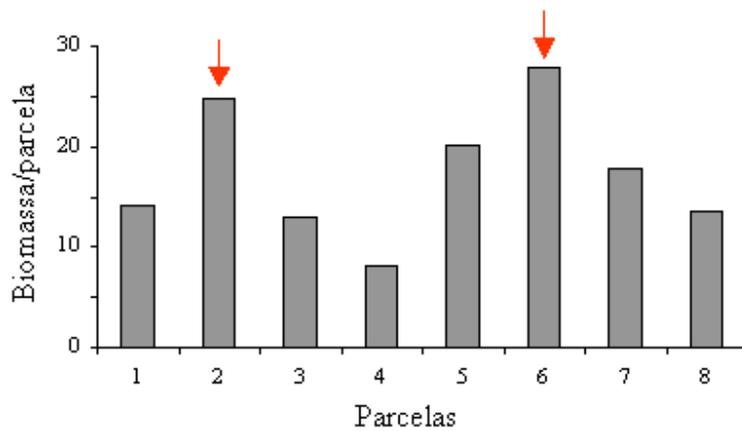


Figura 4.4 - Biomassa estimada por parcela no baizão do transecto 5, indicando as parcelas consideradas atípicas, na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM

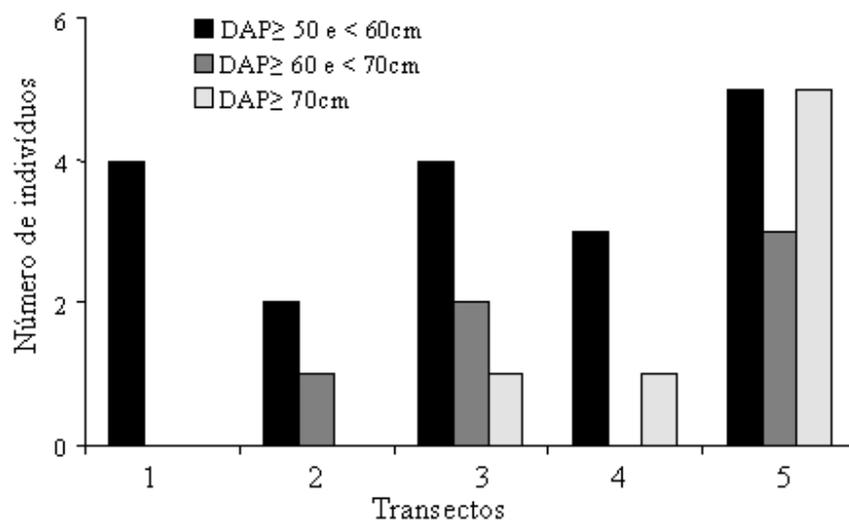


Figura 4.5 - Número de indivíduos arbóreos de grande porte situado no baixio de todos os transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM.

Com a exclusão de apenas dois indivíduos com DAP de 100cm e 70cm das parcelas consideradas atípicas, a estimativa de biomassa média registrada para todo o baixio 5 passou de cerca 349 ton/ha para 308 ton/ha, se aproximando da média registrada em outros baixios. Após este procedimento, a biomassa média total para todas as fitofisionomias reduziu de 319 ton/ha para 317 ton/ha, o que foi suficiente para que os ambientes de platô e baixio fossem considerados diferentes em termos de biomassa (ANOVA, $p=0,039$; Tukey, $p= 0,04$) (Figura 4.6). Considerando os ambientes separadamente, a biomassa média total registrada para o platô foi igual a 346ton/ha, para vertente foi igual a 325 ton/ha e para o baixio foi igual a 270 ton/ha, sem a presença dos indivíduos considerados atípicos.

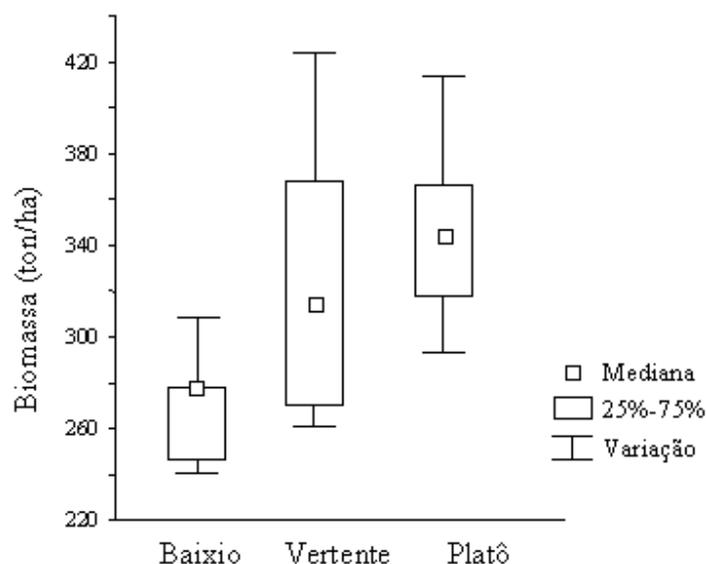


Figura 4.6 - Variação da estimativa de biomassa total arbórea em cada fitofisionomia amostrada na microbacia do Igarapé Asu, Manaus-AM, após exclusão de amostras atípicas

4.3.2 Relação entre atributos de textura e biomassa

Com a pré-seleção baseando-se na análise da matriz de correlação, 78 variáveis foram descartadas, restando 18 variáveis independentes para aplicar ao método de regressão *stepwise* (quatro variáveis para HH, três variáveis para HV e 11 variáveis para VV). Em seguida, foram realizadas transformações matemáticas naquelas variáveis que não possuíam relações lineares com a variável dependente, para alcançar uma melhor relação dos índices com a variável dependente. O apêndice C.1 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis restantes, sendo possível observar as transformações realizadas.

Com estas 18 variáveis independentes, foram gerados quatro modelos preditivos pelo método *stepwise*, que corresponderam aos três modelos realizados com as polarizações separadamente, mais um modelo que agrupou todas as polarizações. Apenas o modelo com a polarização VV foi considerado neste trabalho, uma vez que para a polarização HH e HV nenhum modelo de regressão foi significativo e o modelo com as três polarizações selecionou as mesmas variáveis indicadas pelo modelo VV.

Na tabela 4.5, está indicado o modelo completo para a polarização VV, obtido pela regressão *stepwise*. Este método selecionou quatro atributos de textura, distribuídos entre distribucionais e de co-ocorrência, que explicaram 70% da biomassa estimada por equação alométrica ($R^2= 0,70$; $p=0,002$) (Figura 4.7). Destas quatro variáveis, apenas a textura Variância da log-normal (log) foi significativa. Um teste de hipótese de nulidade dos parâmetros foi aplicado, para saber se as três variáveis não significativas ainda presentes no modelo poderiam ser retiradas, concomitantemente. Como o teste indicou que as três variáveis deveriam permanecer no modelo, procedeu-se as análises de todas as regressões possíveis e de quais variáveis deveriam permanecer no modelo final.

Tabela 4.5 - Parâmetros da regressão múltipla para o modelo completo, gerado entre a biomassa de campo (n = 18 medidas) e atributos de textura calculados na imagem VV. Em negrito está a variável estatisticamente significativa.

| | B | σ (B) | t(13) | p-valor | R ² |
|--------------------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|----------------|
| Intercepto | 423,27 | 265,47 | 1,59 | 0,13 | |
| Dissimilaridade (log) | -117,10 | 164,68 | -0,71 | 0,49 | |
| <i>Cluster shade</i> | 0,00 | 0,00 | 1,66 | 0,12 | 0,7 |
| Variância da log-normal (log) | -207,69 | 78,53 | -2,64 | 0,02 | |
| Mediana | -1,75 | 0,92 | -1,91 | 0,08 | |

B = inclinação da reta
 σ (B) = erro da estimativa
t(13) = *t student*

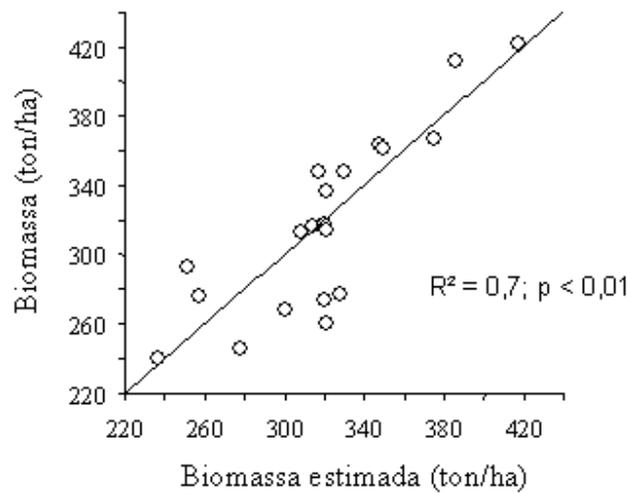


Figura 4.7 - Relação entre a biomassa estimada pelas medidas de textura mediana (VV), variância da log-normal (VV), dissimilaridade (VV) e *cluster shade* (VV) e a biomassa obtida estimada por equações alométricas em todas as fitofisionomias

Nas figuras 4.8, 4.9 e 4.10, estão as análises de todas as regressões possíveis, segundo os critérios C_p , R^2_p e R^2_a , respectivamente. Segundo os critérios de seleção de variáveis C_p e R^2_p , o modelo ideal deveria conter três variáveis, indicando a exclusão da variável dissimilaridade. O critério R^2_a , no entanto, indicou que todas as quatro variáveis deveriam permanecer no modelo final. Com este resultado, optou-se por retirar a variável dissimilaridade do modelo final e permanecer com um modelo com três variáveis.

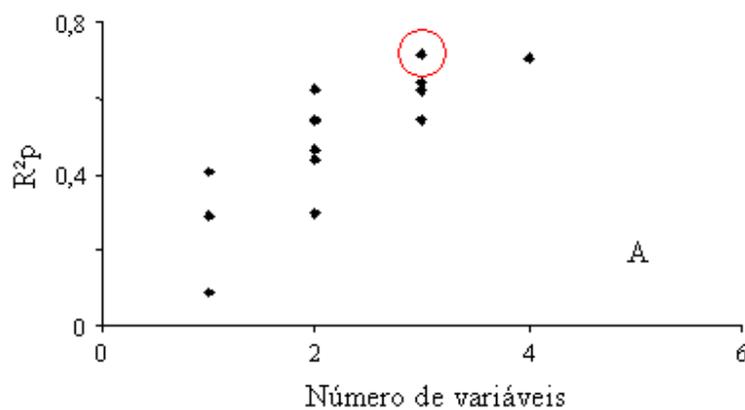


Figura 4.8 - Seleção das variáveis de acordo com o critério R^2_p . Em destaque no círculo vermelho, está o melhor subconjunto de variáveis

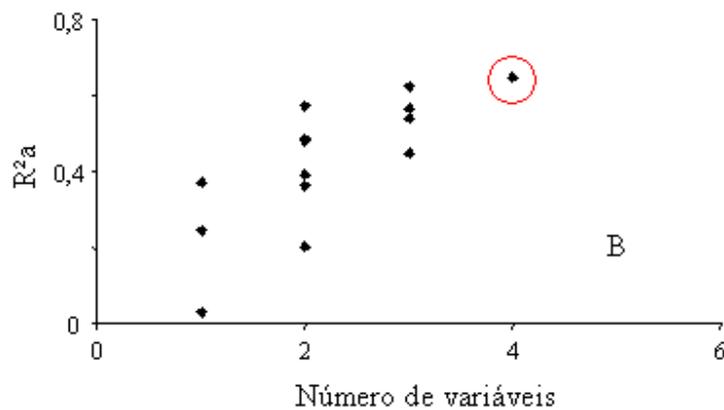


Figura 4.9 - Seleção das variáveis de acordo com o critério R^2_a . Em destaque no círculo vermelho, está o melhor subconjunto de variáveis

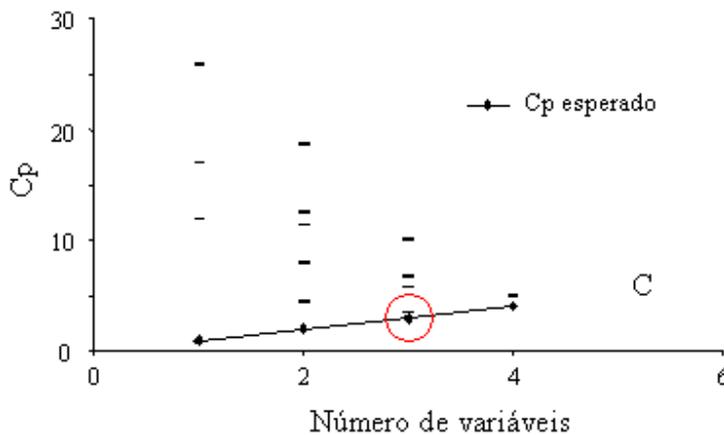


Figura 4.10 - Seleção das variáveis de acordo com o critério C_p . Em destaque no círculo vermelho, está o melhor subconjunto de variáveis

Na Tabela 4.6, está indicado o modelo com três variáveis, que explicou cerca de 69% da biomassa ($R^2= 0,69$; $p<0,001$) (Figura 4.11). Pode-se observar pela coluna do p-valor que no modelo ainda existe uma variável não significativa que precisa ser excluída, pois neste trabalho buscou-se estabelecer um modelo simples que ainda fosse capaz de explicar grande parte da biomassa. Para exclusão da variável não significativa, o teste de hipótese de nulidade dos parâmetros foi aplicado novamente, indicando que a variável *cluster shade* poderia ser retirada do modelo. Após a exclusão desta variável, obteve-se um modelo com duas variáveis classificadas como distribucionais que explicaram 62% da biomassa (Tabela 4.7) (Figura 4.12).

Tabela 4.6 - Parâmetros da regressão múltipla para o modelo reduzido, gerado entre a biomassa de campo e atributos de textura calculados na imagem VV

| | B | σ (B) | t(14) | p-valor | R ² |
|--------------------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|----------------|
| Intercepto | 252,94 | 112,41 | 2,25 | 0,04 | |
| <i>Cluster shade</i> | 0,00 | 0,00 | 1,74 | 0,10 | |
| Variância da log-normal (log) | -244,55 | 57,94 | -4,22 | 0,00 | 0,69 |
| Mediana | -2,06 | 0,80 | -2,58 | 0,02 | |

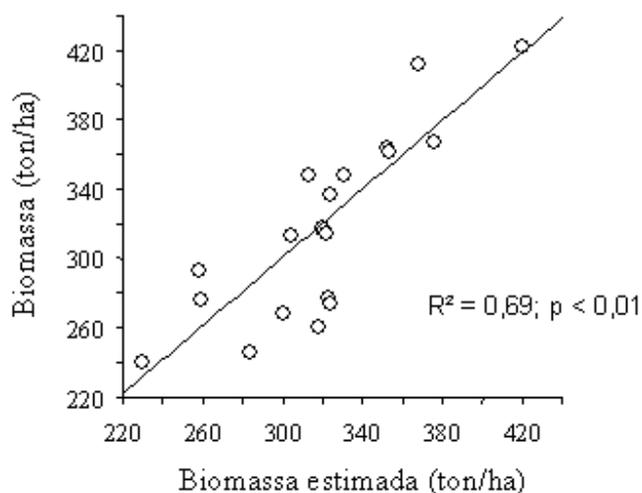


Figura 4.11 - Relação entre a biomassa estimada pelas medidas de textura mediana (VV), variância da log-normal (VV), e *cluster shade* (VV) e a biomassa obtida estimada por equações alométricas em todas as fitofisionomias

Tabela 4.7 - Parâmetros da regressão múltipla para o modelo gerado entre a biomassa de campo e atributos de textura calculados na imagem VV

| | B | σ (B) | t(15) | p-valor | R ² |
|--------------------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|----------------|
| Intercepto | 313,23 | 113,99 | 2,75 | 0,01 | |
| Variância da log-normal (log) | -273,61 | 59,13 | -4,63 | 0,00 | 0,62 |
| Mediana | -2,72 | 0,75 | -3,65 | 0,00 | |

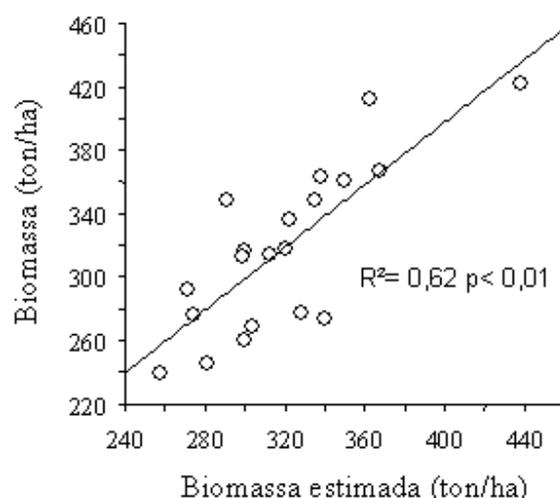


Figura 4.12 - Relação entre a biomassa estimada pelas medidas de textura mediana (VV) e variância da log-normal (VV) e a biomassa obtida estimada por equações alométricas em todas as fitofisionomias

Ao modelo apresentado na tabela 4.7, foram inseridas, uma a uma, todas as variáveis descartadas pela análise da matriz de correlação. Neste procedimento, o atributo de textura contraste, extraída da polarização HH, foi inserido ao modelo (Tabela 4.8). Com a inclusão desta variável, obteve-se um modelo final com variáveis de textura extraídas da polarização HH e VV, que explicaram 72% da biomassa estimada pelas equações alométricas ($R^2=0,72$, $p < 0,01$) (Figura 4.13).

Tabela 4.8 - Parâmetros da regressão múltipla para o modelo final, gerado entre a biomassa de campo e atributos de textura calculados na imagem VV e HH

| | B | σ (B) | t(14) | p-valor | R^2 |
|---|---------------|--------------|--------------|-------------|-------|
| Intercepto | 278,42 | 102,0 | 2,73 | 0,02 | |
| Variância da log-normal (log) (VV) | -294,5 | 53,12 | -5,54 | 0,00 | 0,72 |
| Mediana (VV) | -3,1 | 0,68 | -4,55 | 0,00 | |
| Contraste (HH) | 0,04 | 0,02 | 2,27 | 0,04 | |

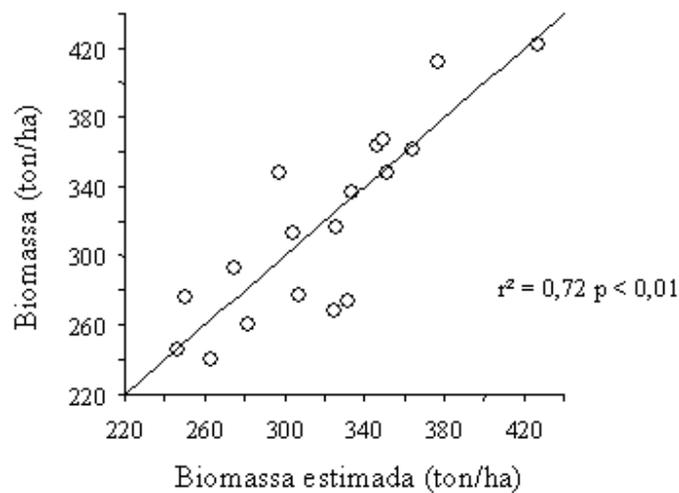


Figura 4.13 - Relação entre a biomassa estimada pelas medidas de textura mediana (VV), variância da log-normal (VV) e contraste (HV) e a biomassa obtida estimada por equações alométricas em todas as fitofisionomias

O modelo final se adequou às premissas de normalidade dos resíduos e homocedasticidade. O gráfico de probabilidade normal denota a boa proximidade da distribuição estatística dos resíduos com a curva normal esperada (Figura 4.14). O teste de Shapiro-Wilk ($W=0,96$; $p=0,75$) confirmou o indicado pela análise visual, pois sendo a estatística W não significativa deve-se aceitar a hipótese de normalidade dos dados. O teste de *Levene* modificado feito aceitou a homocedasticidade dos dados, uma vez que os valores de $|t^*| > t_{crítico}$, com 95% de confiança (Tabela 4.9). As Figuras 4.15, 4.16 e 4.17 indicam a estabilidade da variância dos resíduos do modelo final.

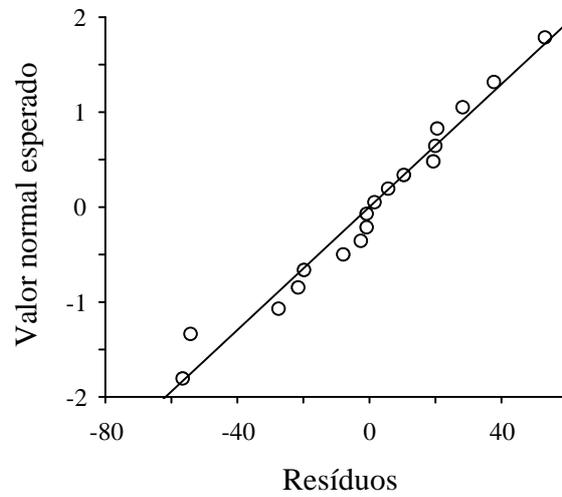


Figura 4.14 - Gráfico de probabilidade normal dos resíduos do modelo final incluindo as variáveis mediana (VV), variância da log-normal (log) (VV) e contraste (HH)

Tabela 4.9 - Resultados dos testes de *Levene* modificado para cada modelo ajustado

| Variável independente | t* | t crítico (95%) | Variância dos resíduos |
|------------------------------|-------|-----------------|------------------------|
| Mediana (VV) | -5.29 | | constante |
| Variância da log-normal (VV) | -5.56 | 1,74 | constante |
| Contraste (HH) | -6.54 | | constante |

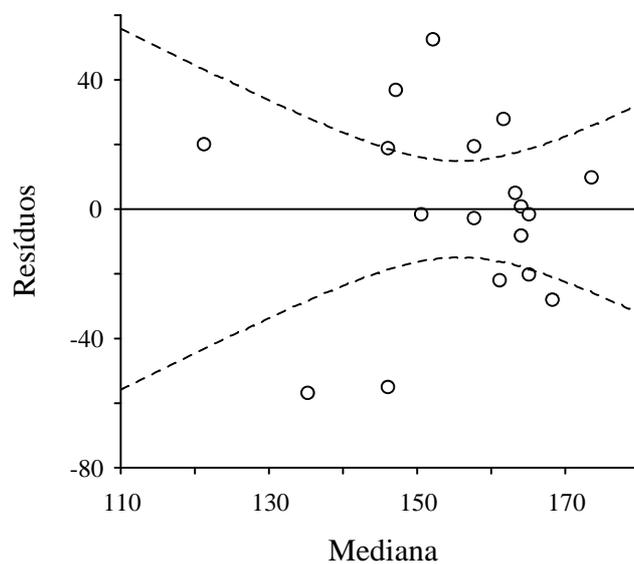


Figura 4.15 - Relação entre os resíduos padronizados e a variável explicativa mediana (VV), com intervalo de confiança de 95%

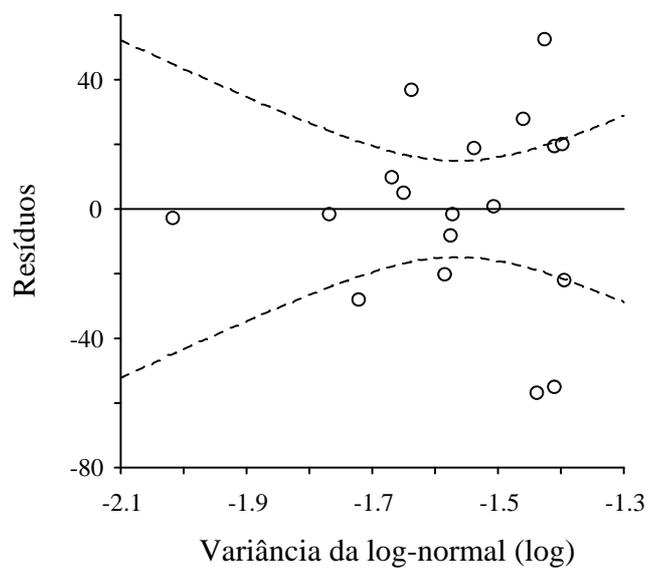


Figura 4.16 - Relação entre os resíduos padronizados e a variável explicativa variância da log-normal (VV), com intervalo de confiança de 95%

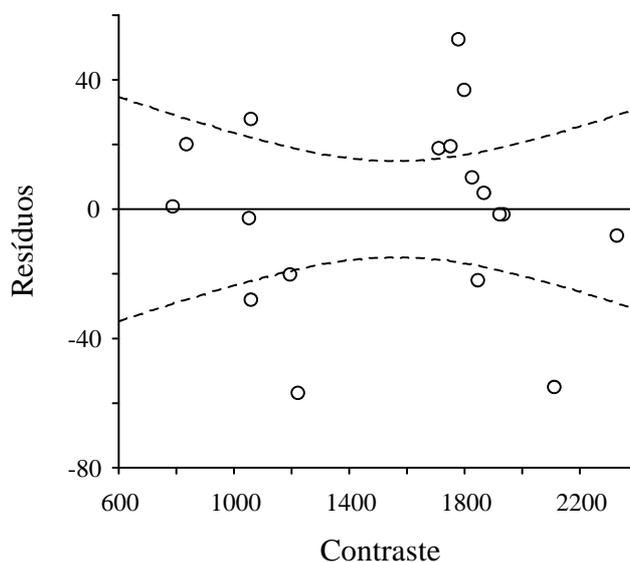


Figura 4.17 - Relação entre os resíduos padronizados e a variável explicativa contraste (HH), com intervalo de confiança de 95%

Análises adicionais antes da validação do modelo foram conduzidas para identificação de *outliers* influentes e para detecção de multicolinearidade entre as variáveis do modelo. O cálculo de DFFITS não detectou a existência de *outliers* que pudessem prejudicar a performance do modelo estatístico. O cálculo do VIF não indicou existência de correlação entre as variáveis mediana, variância da log-normal (log) e contraste.

O critério de avaliação para a validação do modelo de regressão, em caso de amostras pequenas, partiu do cálculo dos valores de $PRESS_p$ (*Prediction sum of squares*) e da soma dos quadrados dos erros (SQE). O valor calculado para o $PRESS_p$ e para o SQE foi de 22,58 e de 14,18, respectivamente. Neter et al. (1996) não mencionam o quão próximo o valor do $PRESS_p$ precisa estar do valor do SQE para a validação do modelo, mas indicam que uma pequena aproximação entre estes dois valores é suficiente para considerar válida a capacidade preditiva do modelo selecionado. Dessa forma, com os valores obtidos, considerou-se que o SQE forneceu uma indicação apropriada da capacidade preditiva do modelo final, sendo considerado, portanto, um modelo válido.

Como comparação ao modelo gerado acima que incluiu ao menos dois atributos de textura, a variância da log-normal (log) e o contraste, estabeleceu-se um modelo de regressão simples entre a biomassa e a variável média, que não possui informação de textura da imagem (Figura 4.18, 4.19 e 4.20). A média não representa a frequência de variação de tons de cinza em uma determinada área, mas apenas o valor médio da distribuição de todos os tons. Percebe-se que o modelo que tem como variável explicativa apenas a informação de tonalidade não tem poder de predição da biomassa, sendo extremamente necessária a informação textural.

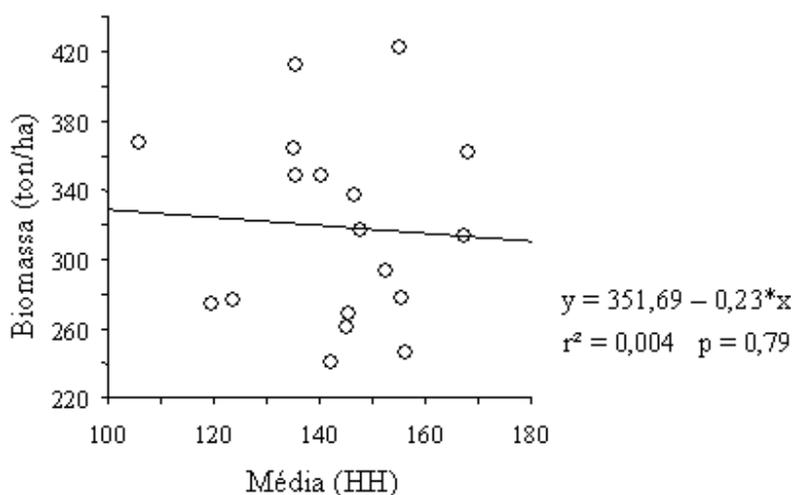


Figura 4.18 - Relação entre a variável média na polarização HH e a biomassa estimada por equações alométricas para microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM.

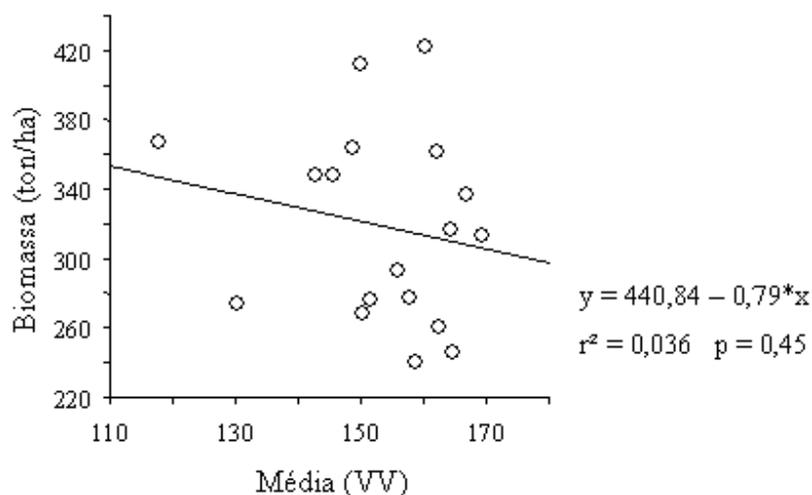


Figura 4.19 - Relação entre a variável média na polarização VV e a biomassa estimada por equações alométricas para microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM

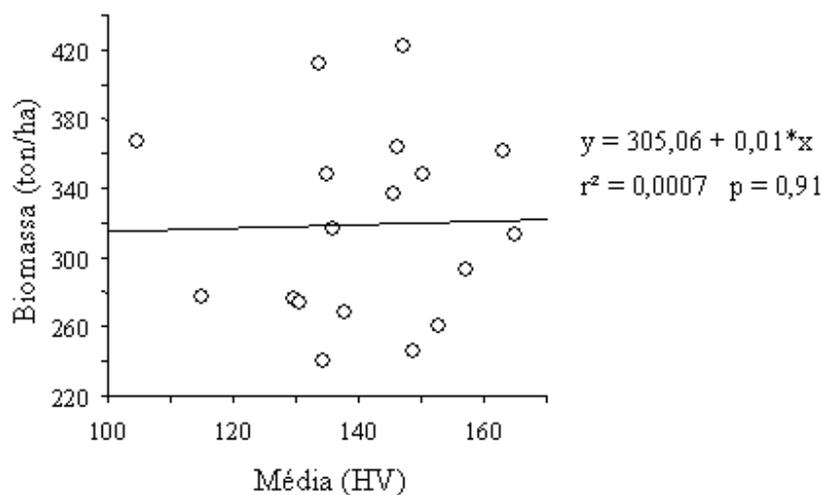


Figura 4.20 - Relação entre a variável média na polarização HV e a biomassa estimada por equações alométricas para microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM

4.4 Discussão

4.4.1 Estimativa de biomassa por equações alométricas

Na microbacia do Igarapé Asu, as dicotiledôneas foram as responsáveis por grande parte da biomassa arbórea total, restando as palmeiras a contribuição de menos de 1%. Segundo Castilho (2004), a contribuição das palmeiras pode atingir proporções maiores quando os baixios são formados por igarapés grandes que favorecem a presença de palmeiras de

grande porte como Buriti (*Mauritia flexuosa*), ausente neste inventário. Nos baixios amostrados neste estudo, os igarapés eram pequenos, em geral de primeira ordem, e pouco alagados. Na Reserva Ducke, situada na periferia de Manaus, a biomassa de palmeiras foi de menos de 1%, alcançando cerca de 20% da biomassa em igarapés grandes (Castilho, 2004). Para estudos comparativos, é importante considerar as palmeiras como um componente independente nas estimativas de biomassa, para melhor caracterização da estrutura da floresta (Castilho, 2004) e para melhor entendimento de como este componente pode ser incluído nos modelos de fluxo de carbono (Brown e Lugo, 1992).

Este estudo reforça estimativas anteriores de que nas florestas de terra-firme da Amazônia Central há grande estoque de biomassa e que este estoque varia com a paisagem. Para a microbacia do Igarapé Asu, em um universo de 18 parcelas com área de, aproximadamente, 0,47 hectares cada uma, estimou-se uma variação na estimativa de biomassa entre 241 ton/ha e 424 ton/ha, sendo as menores estimativas relacionadas às áreas de baixo. Estudos em larga escala utilizando metodologias diferentes e desenvolvidos em regiões próximas à microbacia do Igarapé Asu, encontraram a mesma variação de cerca de 50% entre os valores mínimo e máximo de biomassa calculada. Castilho (2004) encontrou variação entre 215 e 421 ton/ha para Reserva Ducke em uma área de amostragem de 72 distribuídos em 64 Km². Laurance et al. (1999) encontraram variação entre 231 e 492 ton/ha para as áreas administradas pelo Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (PDBFF) em 65 ha distribuídos em 1000 Km². Os três trabalhos levaram em consideração o gradiente de solo areno-argiloso para localização das parcelas, e indicam o efeito da variação da altitude, inclinação e tipo de solo na variação espacial da biomassa ao longo da paisagem das florestas de terra-firme da Amazônia Central.

A amostragem apenas de áreas de platô, como normalmente é realizado na Amazônia Central, pode incrementar os erros associados à estimativa de biomassa para região. Uma amostragem da biomassa realizada apenas em áreas de platô superestimaria a biomassa do baixo em 21,8 a 22,11% e a biomassa da vertente em 2 a 11% (IC de 95%). Higuchi et al.

(1998) demonstraram que a amostragem estratificada reduz o coeficiente de variação principalmente das variáveis área basal, volume e biomassa quando comparado à abordagem conjunta dos ambientes. Em suas análises, a aplicação deste método também diminuiu a probabilidade de erro amostral, tornando as estimativas mais precisas.

4.4.2 Modelos preditivos de biomassa baseados em atributos de textura

Este estudo indicou que modelos preditivos para floresta com grande estoque de biomassa como da Amazônia são possíveis de serem construídos baseando-se em medidas de textura extraídas de imagens de radar. Este resultado aumenta as opções de utilização de produtos do sensoriamento remoto no estudo de florestas tropicais, visto a limitação para criação de modelos preditivos de biomassa baseando-se no sinal de retroespalhamento do radar (σ^0) (Imhoff, 1995) ou utilizando apenas a informação tonal (este estudo).

A hipótese de que a textura seria um bom preditor da biomassa foi corroborada neste estudo. Um dos efeitos causados pelo espalhamento múltiplo na copa florestal, também chamado de espalhamento volumétrico, é o sombreamento que partes da copa podem produzir no terreno ou em outras partes da copa. Em menor ou maior grau, a floresta primária de terra firme é estratificada, apresentando ao menos dois estratos, aumentando a rugosidade da imagem de radar. Este é um dos fatores que pode ter contribuído para aumentar a rugosidade da imagem de radar, sendo possível relacionar a textura à estrutura da vegetação, que é um parâmetro diretamente relacionado à biomassa.

O teste de viabilidade das configurações simuladas para o MAPSAR indicou que, para a estimativa de biomassa com base na informação textural, a polarização VV na banda L é a mais adequada para o estabelecimento dos modelos preditivos, havendo uma menor contribuição da polarização HH. Isto significa que as múltiplas polarizações previstas para o MAPSAR ajudarão, em menor ou maior grau, a incrementar a informação sobre os ambientes florestais, adotando como método de estimativa de biomassa atributos de textura.

Segundo Saatchi (2001), a polarização assim como o comprimento de onda contém informações sobre a geometria e a estrutura da vegetação. Na floresta, a maioria dos espalhadores possui uma ampla diversidade de orientação e arquitetura. No entanto, os troncos das árvores tornam-se espalhadores preferenciais por causa da sua orientação predominantemente vertical. Por isso, o sinal transmitido na vertical (V) preferencialmente tenderia a interagir mais com os troncos do que o sinal na polarização horizontal (H). Por outro lado, na literatura podem ser encontrados relatos que indicam que alvos em três dimensões como o dossel, estão mais relacionados à polarização cruzada (HV) (Van der Sanden, 1997). Devido à despolarização causada por múltiplos alvos, o espalhamento volumétrico tende a ser mais importante em imagens de polarização cruzada (HV) do que em imagens de polarização paralela (VV).

Esta é uma das primeiras iniciativas de criação de modelos preditivos de biomassa baseados em atributos de textura. O modelo desenvolvido neste trabalho considerou atributos de texturas extraídos de parcelas de 20m de largura com extensão variando entre 75 e 350m, dentro de uma paisagem típica das florestas de terra firme da Amazônia Central. No entanto, segundo Lu e Batistella (2005) e Franklin et al. (1996), os atributos de textura mais apropriados para estimativa de biomassa podem variar com a heterogeneidade da paisagem, com as características da imagem utilizada e com o tamanho da janela utilizada para extrair a textura. Lu e Batistella (2005) destacam que janelas muito pequenas podem aumentar o ruído da imagem de textura, enquanto janelas muito grandes podem suavizar demais a imagem de textura, diminuindo a informação textural contida.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A análise florística e fitossociológica das florestas de terra firme da micobacia do Igarapé Asu indicou uma variabilidade fisionômica ao longo da paisagem, que foi atribuída às modificações topográficas e de saturação do solo. O estudo das relações entre solo, disponibilidade de água e estabelecimento da floresta são condições essenciais para o entendimento do padrão e da distribuição das espécies.

Neste contexto, análises adicionais com dados de solo, e não apenas dados das condições topográficas, são importantes para determinar os efeitos relativos destas variáveis ambientais sobre a variação da composição de espécies em escala local e regional. Dessa forma, a amostragem estratificada da vegetação torna-se o melhor método para estudar estes gradientes ambientais e, conseqüentemente, suas associações com diferenças substanciais na ocorrência ou densidade das espécies tropicais.

Também associado a este gradiente ambiental da toposequência, detectou-se uma variação na estrutura vertical e horizontal entre as fisionomias de terra firme indicada pelas estimativas de biomassa. A constatação de que há variabilidade de biomassa dentro da terra firme, gera questionamentos sobre a forma como as estimativas de biomassa para Amazônia são estabelecidas. Uma vez que as estimativas são derivadas preferencialmente de áreas de platô, extrapolações para toda Amazônia podem criar superestimativas da biomassa presente na floresta e, conseqüentemente, do potencial carbono a ser liberado para atmosfera.

Pela dificuldade e limitação em estabelecer estimativas de biomassa mais precisas para Amazônia, em função da sua grande extensão e da sua variabilidade estrutural, os dados de radar demonstraram ser uma fonte importante de informação sobre a região. Primeiro, por ser uma fonte de dados que não sofre interferência da cobertura de nuvens, condição predominante em algumas regiões da Amazônia. Segundo, pela possibilidade de

estabelecimento de modelos preditivos com base na informação textural, contornando o problema de saturação do sinal retroespalhado do radar dentro de florestas com grande biomassa.

Com o desenvolvimento deste modelo preditivo de biomassa, dentro de uma abordagem estratificada da vegetação, há uma expectativa de melhorar as estimativas de biomassa para Amazônia. No entanto, até que este resultado seja obtido, são necessárias análises adicionais, buscando o aprimoramento do modelo para que extrapolações possam ser realizadas. Para isso, recomenda-se a análise destas relações em diversas janelas de textura, assim como para outras paisagens da Amazônia, visto que os atributos de textura que melhor representam a biomassa podem variar com estes dois fatores.

Algumas hipóteses foram levantadas neste trabalho a respeito da relação entre textura e biomassa. Porém, o entendimento dos mecanismos físicos de interação entre o sinal do radar e a floresta que produzem a textura ainda é pouco entendido. Acredita-se que há nas imagens de radar e nestas relações um campo de pesquisa bastante promissor, que futuramente poderá gerar importantes informações sobre os ambientes florestais.

As imagens do MAPSAR, que provavelmente serão disponibilizadas para toda Amazônia após os testes de viabilidade, serão importantes neste processo. A polarimetria é uma das características ausentes nas imagens simuladas utilizadas neste trabalho, mas que futuramente estarão disponíveis na configuração das imagens MAPSAR. A investigação dos ambientes florestais associando a multipolarização aos dados de fase, abre novas perspectivas para o incremento de informações sobre estes ambientes.

Outro produto do Sensoriamento Remoto essencial para realização deste trabalho foi o modelo digital de elevação do SRTM, uma vez que a identificação das toposequências amostradas neste estudo foi baseada nas suas informações topográficas. O SRTM, no entanto, pode subsidiar uma série de outros estudos na região como a quantificação das áreas de platô, vertente e baixio. Isto ajudaria a estimar o erro associado à estimativa de

biomassa quando se amostra apenas áreas de platô, em áreas onde os vales com solos saturados são tão predominantes quanto as áreas altas e bem drenadas.

Este estudo buscou gerar indícios de que a distribuição de algumas espécies e a estrutura da vegetação pode estar condicionada às condições ambientais. Embora este trabalho não tenha tido foco sobre a quantificação dos processos hídricos dentro da floresta ou sobre a quantificação das variáveis ambientais, servirá de subsídio para futuros trabalhos que queiram se aprofundar nestas questões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, M.C.C.W.S. **Análise de regressão**: como entender o relacionamento entre variáveis de um processo. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni – Escola de Engenharia da UFMG, 1996. 311p.
- Amaral, I.L.; Matos, F.D.; Lima, J. Composição florística e parâmetros estruturais de um hectare de floresta densa de terra firme no rio Uatumã, Amazônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 3, p.377-392, 2000
- APG (The angiosperm phylogeny group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.141, p. 399–436, 2003.
- Artaxo, P. As mudanças climáticas globais e a Amazônia. **Ciência Hoje**, v. 35, n. 206, p. 40-42, 2004.
- Asner, G.P.; Townsend, A.R.; Bustamantes, M.M.C.; Nardoto, G.B.; Olander, L.P. Pasture degradation in the central Amazon: linking changes in carbon and nutrient cycling with remote sensing. **Global Change Biology**, v. 10, p. 844–862, 2004.
- Brown, S.; Lugo, A.E. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. **Interciencia**, v.17, n.1, p. 8-18, 1992.
- Carneiro, V. M. C. **Composição florística e análise estrutural de floresta primária de terra firme na bacia do rio Cuieiras, Manaus-AM**. 2004. 67p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 2004.
- Castilho, C.V. **Variação espacial e temporal da biomassa arbórea viva em 64Km² de floresta de terra-firme da Amazônia Central**. 2004. 87p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 2004.
- Chauvel, A. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. **Suplemento Acta Amazônica**, v.12, n.3, p. 47-60, set. 1982
- Chave, J.; Riéra, B. & Dubois, M. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. **Journal of Tropical Ecology**, v.17, p.79-96, 2001
- Chave, J.; Condit, R.; Lao, S.; Caspersen, J.P.; Foster, R.B. & Hubbell, S.P. Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. **Journal of Ecology**, v.91, p. 240-252, 2003.

- Clark, D.B.; Palmer, M.W. & Clark, D.A. Edaphic factors and the landscape-scale distribution of tropical rain forest trees. **Ecology**, v. 80, n. 8, p. 2662-2675, 1999.
- Clark, D.B.; Clack, D.A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. **Forest Ecology Management**, v. 137, n. 1-3, p.185-198, Oct. 2000.
- Costa, J.B.P.; Vieira-Neto, E.; Pinheiro, T.G.; Munin, R.L. Estrutura etária de duas espécies de palmeiras em uma floresta de terra firme na Amazônia Central. Manaus: 2006. DVD. **Livro do curso de campo de Ecologia da Floresta Amazônica**.
- Faith, D.P.; Minchin, P.R.; Belbin, L. Compositional dissimilarity as a robust measure of ecological distance. **Vegetatio**, n.69, p. 57-68, 1987
- Fearnside, P.M.. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v.80, p.21-34, 1996.
- Ferraz, J.; Otha, S.; Sales, P.C. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). In: Higuchi, N.; Campos, M.A.A; Sampaio, P.T.B.; Santos, J. (Eds.). **Pesquisas Florestais para Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia**. Manaus: INPA, 1998, v. 1, p. 111-114.
- Franklin, S.E.; Wulder, M.A.; Lavigne, M.B. Automated derivation of geographic window sizes for remote sensing digital image texture analysis. **Computers and Geosciences**, v.22, p.665-673, 1996.
- Gauch, H.G. **Multivariate analysis in community ecology**. New York: Cambridge, 1989. 298p.
- Gherardi, D.F. Community structure and carbonate production of a temperate rhodolith bank from arvoredo island, southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 52, n. 3/4, p. 207-224, 2004.
- Grace, J. Understanding and managing the global carbon cycle. **Journal of Ecology**, v.92, p.189-202, 2004.
- Haralick, R.M.; Shanmugan, K.; Dinstein, I. Texture features for image classification. **IEEE Transactions Systems, Man and Cybernetics**, v.3, n.6, p.610-621, Nov. 1973.
- Harms, K. E., Condit, R., Hubbell, S. P.; Foster, R. B.. Habitat associations of trees and shrubs in a 50-ha neotropical forest plot. **Journal of Ecology**, v.89, p.947-959, 2001
- Hay, J.D.V. Vegetação da Amazônia. In: Absay, M.L (ed.). **Conhecimento científico para gestão ambiental: Amazônia, Cerrado e Pantanal**. Brasília: IBAMA/DITAM/MCT, 1995, cap.3, p. 467-567.

- Higuchi, N.; Santos, J.; Vieira, G.; Ribeiro, R. J.; Sakurai, S.; Ishizuka, M.; Sakai, T.; Tanaka, N.; Saito, S. Análise Estrutural da Floresta Primária da Bacia do Rio Cuieiras, ZF-2, Manaus-AM. In: Higuchi, N.; Campos, M.A.A; Sampaio, P.T.B.; Santos, J. (Eds.). **Pesquisas Florestais para Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia**. Manaus: INPA, 1998, v. 1, p. 52-81.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. Biomassa da Parte Aérea da Vegetação da Floresta Tropical Úmida de Terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v.28, n. 2, p.153-166, 1998.
- Hopkins, M.J.G. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil. **Rodriguésia**, v. 56, n. 86, p. 9-25, 2005
- Houghton, R.A.; Lawrence, K.T.; Hackler, J.L.; Brown, S. The spacial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology**, v.7, n.7, p. 731-746, Oct. 2001.
- Houghton, R.A. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. **Global Change Biology**, v.11, p. 945-958, 2005.
- Imhoff, M.L. Radar backscatter and biomass saturation: ramifications for global biomass inventory. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n.2, p. 511-518, 1995.
- Itoh, A., Yamakura, T., Ohkubo, T. Kanzaki, M., Palmiotto, P. A., Lafrankie, J. V., Ashton, P. S. e Lee, H. S. Importance of topography and soil texture in the spatial distribution of two sympatric dipterocarp trees in a Bornean rainforest. **Ecological Research**, v.18, p.307-320, 2003.
- Jardim, F.C.S.; Hosokawa, R.T. Estrutura da floresta tropical úmida da estação experimental de silvicultura tropical do INPA. **Acta Amazonica**, v.16-17, n. único, p.411-508, 1986-87.
- Kahn, F; Castro, A. The palm community in a forest of central Amazonian, Brazil. **Biotropica**, v.17, n.3, p.210-216, 1985
- Keller, M.; Palace, M.; Hurtt, G. Biomass estimation in the Tapajós National Forest, Brazil. Examination of sampling and allometric uncertainties. **Forest Ecology and Management**, v.154, p. 371-382, 2001.
- Kinupp, V.F.; Magnusson, W.E. Spatial patterns in the understorey shrub genus *Psychotria* in central Amazonia: effects of distance and topography. **Journal of Tropical Ecology**, v.21, p.363-374, 2005.

- Krebs, C. J. **Ecological methodology**. Addison Wesley Longman, 2nd ed. 1999.
- Laurance, W.F.; Fearnside, P.M.; Laurance, S.G. Delamonica, P.; Lovejoy, T.E.; Rankin-de-Merona, J.M.; Chambers, J.Q.; Gascon, C. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology Management**, v.118, n.1-3, p. 127-138, June 1999.
- Lima Filho, D.A.; Matos, F.D.A.; Amaral, I.L., Revilla, J.; Coêlho, L.S.; Ramos, J.F.; Santos, J.L. Inventário florístico de floresta ombrófila densa de terra firme, na região do rio Urucu, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 31, n. 4; p.565-579, 2001.
- Lu, D.; Batistella, M. Exploring TM image texture and its relationship with biomass estimation in Rondonia, Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, v.35, n.2, p.249-257, 2005.
- Lugo, A. E.; Brown, S. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. **Forest Ecology and Management**, v.54, p.239-255, 1992.
- Luckman, A.; Baker, J.; Honzák, M.; Lucas, R. Tropical forest biomass density estimation using JERS-1 SAR: seasonal variation, confidence limits and application to image mosaics. **Remote sensing environment**, v. 63, n.2, p. 126-139, Feb. 1998.
- Magalhães, L.M.S.; Blum, W.E.H.; Higushi, N.; Santos, J. Relações entre o solo e a floresta no estabelecimento de unidade florestais na Amazônia. **Floresta e Ambiente**, v.5, n.1, p.89-103, jan./out. 1998.
- Malhi, Y.; Grace, J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. **Trends in Ecology and Evolution**, v.15, n.8, p.332-337. 2000.
- Manly, B.F.J. **Multivariate statistical methods: A primer**. 2º edição. London: Chapman & Hall, 1994. 140p.
- McCune, B.; Grace, J.B. **Analysis of ecological communities**. North Carolina: MJM, 2002. 284p.
- Milliken, W. Structure and composition of one hectare of Central Amazonian terra firme forest. **Biotropica**, v. 30, n. 4, p.530-537, 1998.
- Minchin, P.R. An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. **Vegetatio**, n.69, p.89-107, 1987.
- Mura, J.C.; Paradella, W.R.; Dutra, L.V. MAPSAR image simulation based on L-Band polarimetric SAR data of the airborne SAR R99 sensor of the CENSIPAM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2007. p. 4943-4944.

Nascimento, H.E.M. & Laurance, W.F. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforest: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v.168, p.311-321, 2002.

Neter, J.; Kutner, M.H.; Nachtsheim, C.J. Wasserman, W. **Applied linear statistical models**. 4ª edição. USA: WCB, 1996. 1297p.

Oliveira, A.A. Inventários quantitativos de árvores em florestas de terra firme: revisão com enfoque na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 4, p. 543-567, 2000.

Oliveira, J.A.; Dutra, L.V.; Rennó, C.D. Aplicação de métodos de extração e seleção de atributos para classificação de regiões. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2001, Goiânia. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2005. p. 4201-4208.

Oliveira, A.N.; Amaral, I.L. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 34, n.1, p.21-34, 2004.

Pires, J.M.; Prance, G.T. The vegetation types of Brazilian Amazon. In: Prance, G.T.; Lovejoy, T.E. (eds). **Key environments Amazonia**. New York: Oxford, 1985. p. 109-145.

Pitman, N.C.A; Terborgh, J.; Silman, M.R.; Nuñez, V.P.; Neill, D.A.; Cerón, C.E.; Palacios, W.A.; Aulestia, M. Dominance and distribution of tree species in upper Amazonian terra firme forests. **Ecology**, n.82, p.2101-2117, 2001.

Podest, E; Saatchi, S. Application of multiscale texture in classifying Jers-1 radar data over tropical vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, p. 1487-1506, 2002.

Porto, M.L.; Longhi, H.M.; Citadini, V.; Ramos, R.F.; Mariath, J.E.A. Levantamento fitossociológico em áreas de “mata-de-baixio” na Estação experimental de Silvicultura tropical – INPA, Manaus – Amazonas. **Acta Amazônica**, v.6, n.3-4, p.301-318, set. 1976.

Prance, G.T. Floristic inventory of the tropics: where do we stand? **Ann. Mo. Bot. Gard.**, v.64, p. 659-684, 1977.

Prance, G.T.; Rodrigues, W.A.; Silva, F. Inventário florestal de um hectare de mata de terra firme km 30 da estrada Manaus-Itacoatiara. **Acta Amazonica**, v. 6, n.1, p. 9-35, 1976.

Projeto ProRADAR. **Conceitos fundamentais do radar imageados** – nível básico. Canadá, 1997. 91p.

Silva, E.J.V. **Dinâmica de florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia oriental**. 2004. 171p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo. São Carlos. 2004.

RADAM. **Programa de integração nacional**: Levantamento de recursos naturais. Manaus: RADAM, DNPM, Ministério das Minas e Energia, 1978. v.18, 626p.

Rankin-de-Mérona, J.M.; Prance, G.T.; Hutchings, R.W.; Silva, M.F.; Rodrigues, W.A.; Uehling, M.E. Preliminary results of a large-scale tree inventory of upland rain forest in the Central Amazon. **Acta Amazônica**, v.22, n.4, p.439-534, Oct./Dec. 1992.

Ranzani, G. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. **Acta Amazônica**, v. 10, n.1, p. 7-41, 1980.

Rennó, C. D., Freitas, C. C., Frery, A. C. A System for Region Image Classification Based on Textural Measures. **Jornada Latino-Americana de Sensoriamento Remoto por Radar: Técnicas de Processamento de Imagens**. Santos, SP, 1998.

Ribeiro, J.E.L.S.; Nelson, B.W.; Silva, M.F.; Martins, L.S.S. & Hopkins, M. Reserva Florestal Ducke: diversidade e composição da flora vascular. **Acta Amazonica**, v. 24, n.1-2, p. 19-30, 1994.

Ribeiro, J.E.L.S.; Hopkins, M.G.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.D.; Martins, L.H.P.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E. C., Silva, C.F.; Mesquita, M.R.; Procópio, L.. **Flora da Reserva Ducke: Guia de Identificação das Plantas Vasculares de uma Floresta de Terra Firme na Amazônia Central**. INPA, Manaus, 1999.

Saatchi, S.; Agosti, D.; Alger, K.; Delabie J.; Musinsky J. Examining fragmentation and loss of primary forest in the Southern Bahian Atlantic Forest of Brazil with radar imagery. **Conservation Biology**, v.15, n.4, p.867-875, 2001.

Sabatier, D.; Grimaldi, M.; Prévost, M.F.; guillaume, J.; Godron, M.; Dosso, M.; Curmi, P. The influence of soil cover organization on floristic and structural heterogeneity of Guianan rain forest. **Plant ecology**, n.131, p.81-108, 1997.

Shepherd, G.J. **Fitopac 1**: Manual de usuário (UNICAMP). Campinas, 1995. 93p.

Simonett, P.S.; Davis, R.E. Image analysis - active microwave. In: American Society of Photogrammetry (ASP). **Manual of Remote Sensing**: theory, instruments and techniques. Falls Church, 1983. v. 2, p.1125-1179.

Sombroek, W. Amazon landforms and soils in relation to biological diversity. **Acta Amazonica**, n. 30, n. 1, p. 81-100, 2000.

Steininger, M.K. Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: data from Brazil and Bolivia. **International Journal Remote Sensing**, v. 21, n. 6-7, p. 1139-1157, 2000.

- Tello, J.C.R. **Aspectos fitossociológicos das comunidades vegetais de uma toposequência da Reserva Florestal Ducke do INPA, Manaus-AM.** 1995. Tese (Doutorado em Botânica) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 1995
- Tuomisto, H.; Poulsen, A.D.; Moran, R.C. Edaphic distribution of some species of the fern genus *Adiantum* in Western Amazon. **Biotropica**, v. 30, p.392-399, 1998.
- Tuomisto, H.; Ruokolainen, K.; Aguilar, M.; Sarmiento, A. Floristic patterns along a 43-km long transect in an Amazonian rain forest. **Journal of Ecology**, n.91, p. 743-756, 2003.
- Van der Sanden, J.J. **Radar remote sensing to support tropical forest management.** 1997. 327p. Tese (Doutorado). Wageningen Agricultural University, The Netherlands. 1997.
- Vormisto, J. **Palms in the rainforests of Peruvian Amazonia:** uses and distribution. 2000. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Turku, Finlândia. 2000.
- Vormisto, J.;Phillips, O.L.;Ruokolainen, K.;Tuomisto, H.;Vásquez, R.. A comparison of fine-scale distribution patterns of four plant groups in an Amazonian rainforest. **Ecography**, v.23, p. 349-359, 2000
- Waring, R.H.; Way, J.; Hunt, E.R.; Morrisey, L.; ranson, K.J.; Weishampel, J.F.; Oren, R.; Franklin S.E. Imaging radar for ecosystem studies. **Bioscience**, v.45, n.10, p.715-723, Nov. 1995.
- Whittaker, R.H. Evolution and measurement of species diversity. **Taxon**, v.21, p.213-251, 1972.

APÊNDICE A

Tabela A.1 - Lista das espécies com DAP \geq 10cm registradas nas fitofisionomias amostradas da microbacia do Igarapé Asu, Manaus - AM

| Nome popular | Espécie | Família |
|--------------------|-------------------------------------|------------------|
| Abiu | <i>Pouteria</i> sp. | Sapotaceae |
| Abiurana | Sapotaceae sp.1 | Sapotaceae |
| Açaí | <i>Euterpe precatoria</i> | Arecaceae |
| Acariquara branca | <i>Geissospermum</i> sp. | Apocynaceae |
| Acariquara | <i>Minquartia guianensis</i> | Olacaceae |
| Âmago | Desconhecida | - |
| Amapá | <i>Brosimum longifolium</i> | Moraceae |
| Ananí | <i>Symphonia</i> sp. | Clusiaceae |
| Angelim | <i>Hymenolobium</i> sp. | Fabaceae |
| Angelim ferro | Fabaceae sp.1 | Fabaceae |
| Angelim pedra | <i>Dinizia excelsa</i> | Fabaceae |
| Angelim rajado | <i>Zygia racemosa</i> | Fabaceae |
| Apuruí | Myrtaceae sp.1 | Myrtaceae |
| Arabá | <i>Swartzia</i> sp. | Fabaceae |
| Araça | Myrtaceae sp.2 | Myrtaceae |
| Bacaba | <i>Oenocarpus bacaba</i> | Arecaceae |
| Bacuri | <i>Tovomita</i> sp. | Clusiaceae |
| Balata | <i>Chrysophyllum</i> sp. | Sapotaceae |
| Breu | <i>Protium</i> sp. | Burseraceae |
| Breu branco | <i>Protium spruceanum</i> | Burseraceae |
| Bussu | <i>Manicaria saccifera</i> | Arecaceae |
| Cabeça de nego | <i>Borojoa claviflora</i> | Rubiaceae |
| Cacau | <i>Theobroma cacao</i> | Malvaceae |
| Cacauí | <i>Theobroma sylvestre</i> | Malvaceae |
| Cajuí | <i>Anacardium parvifolium</i> | Anacardiaceae |
| Cajurana | <i>Pouteria</i> aff. <i>elegans</i> | Sapotaceae |
| Canela de velho | <i>Rinorea racemosa</i> | Violaceae |
| Caranaí | <i>Mauritiella aculeata</i> | Arecaceae |
| Carapanaúba | <i>Aspidosperma</i> sp. | Apocynaceae |
| Cardeiro | <i>Scleronema micranthum</i> | Malvaceae |
| Caripé | <i>Licania</i> sp. | Chrysobalanaceae |
| Castanha de macaco | <i>Cariniana micrantha</i> | Lecythidaceae |
| Castanha sapucaia | <i>Lecythis</i> sp. | Lecythidaceae |
| Caucho | <i>Pouteria laevigata</i> | Sapotaceae |
| Caucho branco | Sapotaceae sp.2 | Sapotaceae |

continua

Tabela A.1 - Continuação

| | | |
|-------------------|---|------------------|
| Cedrorana | <i>Cedrelinga cataeniformis</i> | Fabaceae |
| Copaíba | <i>Copaifera multijuga</i> | Fabaceae |
| Coração de nego | <i>Swartzia corrugata</i> | Fabaceae |
| Cumaru | <i>Dipteryx odorata</i> | Fabaceae |
| Cumaru branco | Fabaceae sp.2 | Fabaceae |
| Cumaru ferro | <i>Dipteryx magnifica</i> | Fabaceae |
| Cumaru pedra | Fabaceae sp.4 | Fabaceae |
| Cumarurana | <i>Taralea oppositifolia</i> | Fabaceae |
| Cupiúba | <i>Goupia glabra</i> | Celastraceae |
| Envira | <i>Xylopia</i> sp. | Annonaceae |
| Envira fofa | <i>Guatteria olivacea</i> | Annonaceae |
| Envira porquinho | Annonaceae sp.2 | Annonaceae |
| Envira preta | Annonaceae sp.1 | Annonaceae |
| Farinha seca | Desconhecida | - |
| Faveira | <i>Parkia nitida</i> | Fabaceae |
| Figo | <i>Ficus</i> sp. | Moraceae |
| Freijó | <i>Cordia</i> sp. | Boraginaceae |
| Garrote | <i>Brosimum rubescens</i> | Moraceae |
| Gitó | <i>Guarea</i> sp. | Meliaceae |
| Goiaba de anta | <i>Bellucia</i> sp. | Melastomataceae |
| Guariúba | <i>Clarisia racemosa</i> | Moraceae |
| Ipê | <i>Tabebuia</i> sp. | Bignoniaceae |
| Ipiarana | Caryocaraceae sp.1 | Caryocaraceae |
| Itaúba | <i>Mezilaurus itauba</i> | Lauraceae |
| Jacareúba | <i>Calophyllum</i> aff. <i>brasiliensis</i> | Clusiaceae |
| Jatobá | Hymenaea sp.2 | Fabaceae |
| João mole | Nyctaginaceae sp.1 | Nyctaginaceae |
| Jutaí | Hymenaea sp.1 | Fabaceae |
| Louro abacate | <i>Ocotea tabacifolia</i> | Lauraceae |
| Louro amarelo | Lauraceae sp.1 | Lauraceae |
| Louro chumbo | Lauraceae sp.2 | Lauraceae |
| Louro gamela | <i>Sextonia rubra</i> | Lauraceae |
| Louro mamuí | Lauraceae sp.4 | Lauraceae |
| Louro pimenta | Lauraceae sp.3 | Lauraceae |
| Louro preto | <i>Ocotea nigrescens</i> | Lauraceae |
| Macucu | <i>Aldina heterophylla</i> | Fabaceae |
| Macucu branco | Chrysobalanaceae sp.1 | Chrysobalanaceae |
| Macucu fofo | <i>Licania heteromorpha</i> | Chrysobalanaceae |
| Mandioqueira | Vochysiaceae sp.1 | Vochysiaceae |
| Massaranduba | <i>Manilkara huberi</i> | Sapotaceae |
| Matá-matá amarelo | <i>Eschweilera bracteosa</i> | Lecythidaceae |

continua

Tabela A.1 - Conclusão

| | | |
|-----------------|--------------------------------|------------------|
| Matá-matá preto | <i>Eschweilera</i> sp. | Lecythidaceae |
| Matá-matá rósea | <i>Eschweilera grandiflora</i> | Lecythidaceae |
| Morototó | <i>Schefflera morototoni</i> | Araliaceae |
| Mucurão | <i>Gustavia elliptica</i> | Lecythidaceae |
| Muirapiranga | Fabaceae sp.5 | Fabaceae |
| Muiratinga | <i>Maquira calophylla</i> | Moraceae |
| Munguba | <i>Pseudobombax munguba</i> | Malvaceae |
| Pajurá | <i>Couepia</i> sp. | Chrysobalanaceae |
| Patauá | <i>Oenocarpus bataua</i> | Arecaceae |
| Pau jacaré | <i>Laetia</i> sp. | Salicaceae |
| Pepino do mato | Apocynaceae sp.1 | Apocynaceae |
| Piquiá | <i>Caryocar villosum</i> | Caryocaraceae |
| Piquiarana | <i>Caryocar</i> sp. | Caryocaraceae |
| Preciosa | <i>Aniba canelilla</i> | Lauraceae |
| Ripeiro | Lecythidaceae sp.1 | Lecythidaceae |
| Seringueira | <i>Hevea</i> sp. | Euphorbiaceae |
| Sorvão | <i>Couma guianensis</i> | Apocynaceae |
| Sorvinha | <i>Couma utilis</i> | Apocynaceae |
| Sucuúba | <i>Himatanthus sucuuba</i> | Apocynaceae |
| Tachi | Fabaceae sp.3 | Fabaceae |
| Tachi preto | <i>Tachigali myrmecophila</i> | Fabaceae |
| Tanimbuca | <i>Buchenavia</i> sp. | Combretaceae |
| Tauarí | Lecythidaceae sp.2 | Lecythidaceae |
| Timbó | <i>Derris negrensis</i> | Fabaceae |
| Uchi coroa | <i>Duckesia verrucosa</i> | Humiriaceae |
| Uchi liso | <i>Endopleura uchi</i> | Humiriaceae |
| Ucuuba | <i>Virola</i> sp. | Myristicaceae |
| Xixá | <i>Sterculia pruriens</i> | Malvaceae |
| - | <i>Cecropia</i> sp. | Urticaceae |
| - | <i>Erythrina</i> sp. | Fabaceae |
| - | <i>Inga</i> sp. | Fabaceae |
| - | <i>Iryanthera</i> sp. | Myristicaceae |
| - | <i>Palicourea corymbifera</i> | Rubiaceae |
| - | <i>Parkia pendula</i> | Fabaceae |
| - | <i>Pourouma</i> sp. | Urticaceae |
| - | <i>Pseudima</i> sp. | Sapindaceae |
| - | Araliaceae sp.1 | Araliaceae |

Tabela A.2 - Lista das palmeiras acaule e com DAP \leq 10 cm registradas nas fitofisionomias amostradas da microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM

| Nome popular | Espécie | Hábito |
|--------------|--------------------------------|--------|
| Bacaba | <i>Oenocarpus bacaba</i> | Árvore |
| Bacabinha | <i>Oenocarpus minor</i> | Árvore |
| Bussu | <i>Manicaria saccifera</i> | Árvore |
| Caranaí | <i>Mauritiella aculeata</i> | Árvore |
| Inajá | <i>Attalea maripa</i> | Acaule |
| Jará | Arecaceae sp. 1 | Acaule |
| Marajá | <i>Bactris</i> sp. | Acaule |
| Mumbaca | <i>Astrocaryum gynacanthum</i> | Acaule |
| Murumuru | <i>Astrocaryum murumuru</i> | Acaule |
| Patauá | <i>Oenocarpus bataua</i> | Árvore |
| Paxiúba | <i>Socratea exorrhiza</i> | Acaule |
| Paxiubinha | <i>Iriartella setigera</i> | Acaule |
| Tucumãí | <i>Astrocaryum acaule</i> | Acaule |
| Ubim | <i>Geonoma</i> sp. | Acaule |

APÊNDICE B

Tabela B.1 - Dados de biomassa para fitofisionomia platô, em ton por unidade amostral (ua) e por hectare (ha) em todos os transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM

| Transecto | parcela | ua | ha |
|-----------|---------|-------|--------|
| 1 | 1 | 27,02 | 540,32 |
| 1 | 2 | 16,91 | 338,23 |
| 1 | 3 | 20,19 | 403,77 |
| 1 | 4 | 12,21 | 244,30 |
| 1 | 5 | 17,82 | 356,35 |
| 1 | 6 | 12,23 | 244,62 |
| 1 | 7 | 14,09 | 281,77 |
| 1 | 8 | 38,05 | 760,99 |
| 1 | 9 | 11,16 | 223,25 |
| 1 | 10 | 13,05 | 261,08 |
| 1 | 11 | 13,79 | 275,77 |
| 1 | 12 | 24,79 | 495,83 |
| 1 | 13 | 11,53 | 230,64 |
| 1 | 14 | 22,45 | 449,00 |

continua

Tabela B1 - Continuação

| | | | |
|-----|--------------|--------------|---------------|
| 2 | 15 | 19,70 | 393,95 |
| | média | 18,33 | 366,66 |
| 3 | 16 | 15,39 | 307,86 |
| 3 | 17 | 15,23 | 304,70 |
| 3 | 18 | 26,09 | 521,83 |
| 3 | 19 | 13,27 | 265,35 |
| 3 | 20 | 6,99 | 139,87 |
| 3 | 21 | 11,65 | 233,04 |
| 3 | 22 | 6,92 | 138,35 |
| 3 | 23 | 21,92 | 438,35 |
| | média | 14,68 | 293,67 |
| 4.1 | 24 | 27,16 | 543,27 |
| 4.1 | 25 | 14,86 | 297,25 |
| 4.1 | 26 | 11,93 | 238,55 |
| 4.1 | 27 | 14,27 | 285,45 |
| 4.1 | 28 | 22,67 | 453,31 |
| 4.1 | 29 | 8,21 | 164,15 |
| 4.1 | 30 | 23,28 | 465,57 |
| | média | 17,48 | 349,65 |
| 4.2 | 31 | 19,60 | 391,92 |
| 4.2 | 32 | 28,42 | 568,34 |
| 4.2 | 33 | 13,72 | 274,42 |
| 4.2 | 34 | 22,45 | 449,09 |
| 4.2 | 35 | 19,18 | 383,65 |
| | média | 20,67 | 413,48 |
| 5.1 | 36 | 8,44 | 168,78 |
| 5.1 | 37 | 26,88 | 537,69 |

continua

Tabela B1 - Conclusão

| | | | |
|-----|--------------|--------------|---------------|
| 5.1 | 38 | 7,27 | 145,47 |
| 5.1 | 39 | 15,45 | 308,99 |
| 5.1 | 40 | 21,49 | 429,73 |
| 5.1 | 41 | 19,63 | 392,54 |
| 5.1 | 42 | 18,28 | 365,51 |
| 5.1 | 43 | 10,93 | 218,54 |
| 5.1 | 44 | 15,66 | 313,29 |
| 5.1 | 45 | 17,93 | 358,69 |
| 5.1 | 46 | 12,65 | 252,99 |
| | média | 15,87 | 317,48 |
| 5.2 | 47 | 12,79 | 255,77 |
| 5.2 | 48 | 20,90 | 417,98 |
| 5.2 | 49 | 16,31 | 326,10 |
| 5.2 | 50 | 11,14 | 222,78 |
| 5.2 | 51 | 16,61 | 332,12 |
| 5.2 | 52 | 16,28 | 325,55 |
| 5.2 | 53 | 17,54 | 350,82 |
| 5.2 | 54 | 26,85 | 536,99 |
| 5.2 | 55 | 13,54 | 270,77 |
| 5.2 | 56 | 16,94 | 338,71 |
| | média | 16,89 | 337,76 |

Tabela B.2 - Dados de biomassa para fitofisionomia vertente, em ton por unidade amostral (ua) e por hectare (ha) em todos os transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM

| Transecto | parcela | ua | ha |
|-----------|--------------|--------------|---------------|
| 1 | 1 | 14,64 | 292,70 |
| 1 | 2 | 30,23 | 604,66 |
| 1 | 3 | 10,45 | 208,97 |
| | média | 18,44 | 368,78 |
| 2 | 4 | 16,35 | 327,06 |
| 2 | 5 | 22,78 | 455,61 |
| 2 | 6 | 17,35 | 347,02 |
| 2 | 7 | 20,13 | 402,62 |
| 2 | 8 | 13,96 | 279,20 |
| | média | 18,12 | 362,30 |
| 3 | 9 | 12,28 | 245,62 |
| 3 | 10 | 23,77 | 475,47 |
| 3 | 11 | 9,40 | 188,06 |
| 3 | 12 | 9,46 | 189,24 |
| | média | 13,73 | 274,60 |
| 4.1 | 13 | 12,90 | 258,02 |

continua

Tabela B.2 - Continuação

| | | | |
|-----|--------------|--------------|---------------|
| 4.1 | 14 | 14,74 | 294,71 |
| 4.1 | 15 | 19,61 | 392,15 |
| 4.1 | 16 | 15,68 | 313,67 |
| 4.1 | 17 | 17,37 | 347,34 |
| 4.1 | 18 | 12,17 | 243,49 |
| 4.1 | 19 | 17,44 | 348,73 |
| | média | 15,70 | 314,02 |
| 4.2 | 20 | 4,57 | 91,39 |
| 4.2 | 21 | 10,42 | 208,47 |
| 4.2 | 22 | 10,60 | 211,91 |
| 4.2 | 23 | 15,13 | 302,56 |
| 4.2 | 24 | 16,02 | 320,49 |
| 4.2 | 25 | 16,22 | 324,37 |
| 4.2 | 26 | 6,64 | 132,75 |
| 4.2 | 27 | 22,49 | 449,81 |
| 4.2 | 28 | 16,70 | 333,91 |
| 4.2 | 29 | 13,88 | 277,58 |
| 4.2 | 30 | 8,90 | 177,96 |
| 4.2 | 31 | 4,11 | 82,26 |
| 4.2 | 32 | 16,09 | 321,86 |
| 4.2 | 33 | 12,42 | 248,31 |
| 4.2 | 34 | 28,09 | 561,70 |
| | média | 13,48 | 269,69 |
| 5.1 | 35 | 22,22 | 444,37 |
| 5.1 | 36 | 11,50 | 229,99 |
| 5.1 | 37 | 19,00 | 380,04 |
| 5.1 | 38 | 27,60 | 552,03 |

continua

Tabela B2 - Conclusão

| | | | |
|-----|--------------|--------------|---------------|
| 5.1 | 39 | 25,56 | 511,19 |
| 5.1 | 40 | 21,18 | 423,53 |
| | média | 16,23 | 324,67 |
| 5.2 | 41 | 6,40 | 127,92 |
| 5.2 | 42 | 13,57 | 271,35 |
| 5.2 | 43 | 18,16 | 363,30 |
| 5.2 | 44 | 17,15 | 343,06 |
| 5.2 | 45 | 6,83 | 136,58 |
| | média | 13,06 | 261,15 |

Tabela B.3 - Dados de biomassa para fitofisionomia baixo, em ton por unidade amostral (ua) e por hectare (ha) em todos os transectos amostrados na microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM

| Transecto | parcela | ua | ha |
|-----------|--------------|--------------|---------------|
| 1 | 1 | 5,46 | 109,27 |
| 1 | 2 | 13,21 | 264,24 |
| 1 | 3 | 18,24 | 364,73 |
| 1 | 4 | 13,93 | 278,65 |
| 1 | 5 | 9,66 | 193,21 |
| 1 | 6 | 10,77 | 215,49 |
| 1 | 7 | 14,99 | 299,76 |
| | média | 12,32 | 246,48 |
| 2 | 8 | 9,90 | 197,99 |
| 2 | 9 | 18,22 | 364,40 |
| 2 | 10 | 13,08 | 261,67 |
| 2 | 11 | 14,57 | 291,30 |
| | média | 13,94 | 278,84 |
| 3 | 12 | 12,56 | 251,23 |
| 3 | 13 | 14,37 | 287,46 |

Tabela B.3 - Conclusão

| | | | |
|---|--------------|--------------|---------------|
| 3 | 14 | 11,85 | 237,02 |
| 3 | 15 | 16,69 | 333,78 |
| | média | 13,87 | 277,37 |
| 4 | 16 | 7,40 | 147,91 |
| 4 | 17 | 13,13 | 262,53 |
| 4 | 18 | 9,85 | 197,04 |
| 4 | 19 | 9,96 | 199,25 |
| 4 | 20 | 20,68 | 413,64 |
| 4 | 21 | 7,98 | 159,64 |
| 4 | 22 | 17,81 | 356,22 |
| 4 | 23 | 9,57 | 191,43 |
| | média | 12,05 | 240,96 |
| 5 | 24 | 14,17 | 283,45 |
| 5 | 25 | 19,62 | 392,32 |
| 5 | 26 | 12,98 | 259,56 |
| 5 | 27 | 8,22 | 164,31 |
| 5 | 28 | 20,19 | 403,88 |
| 5 | 29 | 16,67 | 333,48 |
| 5 | 30 | 17,83 | 356,60 |
| 5 | 31 | 13,55 | 271,08 |
| | média | 15,40 | 308,08 |

continua

APÊNDICE C

Tabela C.1 - Matriz de correlação entre as medidas de textura extraídas das imagens HH, HV e VV para microbacia do Igarapé Asu, Manaus – AM.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|
| 1 - Biomassa (ton/ha) | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 - HH desvio padrao log- normal (log) | 0,21 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 - HH <i>cluster shade</i> | 0,14 | 0,65 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 - HH <i>cluster prominence</i> (log) | 0,17 | 0,86 | 0,70 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 - HH diferença da variância (log) | 0,25 | 0,76 | 0,47 | 0,88 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 - HV curtose | 0,33 | 0,56 | 0,45 | 0,56 | 0,58 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 - HV homogeneidade (log) | 0,31 | 0,34 | -0,01 | 0,21 | 0,28 | 0,33 | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| 8 - HV diferença da energia (log) | 0,18 | 0,09 | -0,05 | -0,06 | -0,12 | -0,05 | 0,83 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| 9 - VV assimetria | 0,50 | 0,26 | 0,48 | 0,30 | 0,24 | 0,24 | -0,22 | -0,25 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| 10 - VV desvio padrão(exp) | 0,49 | 0,29 | 0,49 | 0,32 | 0,22 | 0,19 | -0,18 | -0,18 | 0,98 | 1,00 | | | | | | | | | |
| 11 - VV curtose | 0,14 | 0,39 | 0,24 | 0,52 | 0,48 | 0,47 | 0,08 | -0,22 | 0,13 | 0,15 | 1,00 | | | | | | | | |
| 12 - VV mediana | -0,30 | -0,34 | -0,25 | 0,07 | 0,11 | -0,12 | 0,06 | -0,01 | -0,35 | -0,37 | 0,05 | 1,00 | | | | | | | |
| 13 - VV variância da log- normal (log) | -0,54 | 0,30 | 0,32 | 0,12 | 0,05 | 0,08 | -0,14 | -0,15 | -0,15 | -0,10 | 0,05 | -0,42 | 1,00 | | | | | | |
| 14 - VV desvio padrão da log- normal (log) | -0,54 | 0,30 | 0,32 | 0,12 | 0,05 | 0,08 | -0,14 | -0,15 | -0,15 | -0,10 | 0,05 | -0,42 | 1,00 | 1,00 | | | | | |
| 15 - VV dissimilaridade (log) | -0,64 | -0,20 | -0,29 | -0,13 | 0,00 | -0,05 | -0,41 | -0,56 | -0,47 | -0,50 | -0,01 | 0,19 | 0,53 | 0,53 | 1,00 | | | | |
| 16 - VV chi- quadrado | -0,16 | 0,48 | 0,39 | 0,55 | 0,59 | 0,16 | -0,35 | -0,65 | 0,28 | 0,26 | 0,22 | -0,04 | 0,40 | 0,40 | 0,42 | 1,00 | | | |
| 17 - VV <i>cluster shade</i> | 0,54 | 0,16 | 0,33 | 0,17 | 0,14 | 0,36 | -0,09 | -0,13 | 0,80 | 0,77 | 0,10 | -0,40 | -0,07 | -0,07 | -0,30 | 0,11 | 1,00 | | |
| 18 - VV variância do vetor soma (exp) | -0,50 | 0,30 | 0,27 | 0,07 | 0,01 | 0,02 | -0,13 | -0,15 | -0,21 | -0,17 | 0,05 | -0,49 | 0,97 | 0,97 | 0,51 | 0,38 | -0,13 | 1,00 | |
| 19 - VV variância do vetor diferença (log) | -0,63 | 0,15 | -0,15 | 0,25 | 0,32 | -0,06 | 0,02 | -0,12 | -0,55 | -0,51 | 0,19 | 0,31 | 0,50 | 0,50 | 0,74 | 0,35 | -0,42 | 0,46 | 1,00 |

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.