



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-5500-TDI/515**

**ESTIMATIVA DE FITOMASSA AÉREA  
EM REGIÃO DE FLORESTA TROPICAL  
COM USO DE DADOS TM-LANDSAT 5 E HRV-SPOT 1**

Newton Jordão Zerbini

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto,  
Orientada pelo Dr. João Roberto dos Santos

INPE  
São José dos Campos  
1992

528.711.7:502.2(811.3)

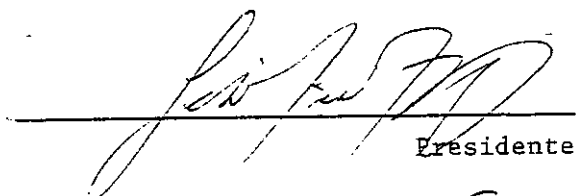
ZERBINI, N.J.

Estimativa de fitomassa aérea em região de floresta tropical com uso de dados TM-Landsat 5 e HRV-SPOT 1. / N.J. Zerbini. -- São José dos Campos: INPE, 1992. 146p. -- (INPE-5500-TDI/515)

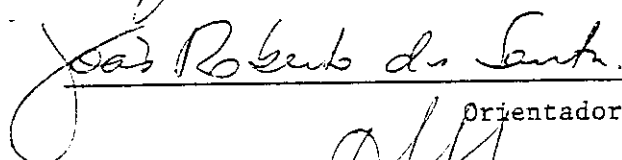
1. Fitomassa aérea. 2. Floresta tropical. 3. Amazônia. 4. Quantificação.  
I. Título

Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento a requisito exigido  
para a obtenção do Título de Mestre  
em Sensoriamento Remoto

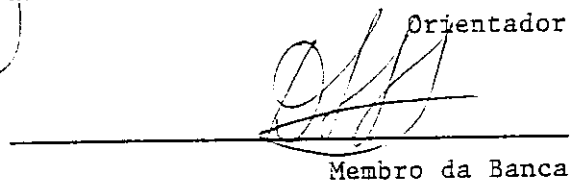
Dr. Getúlio Teixeira Batista

  
Presidente

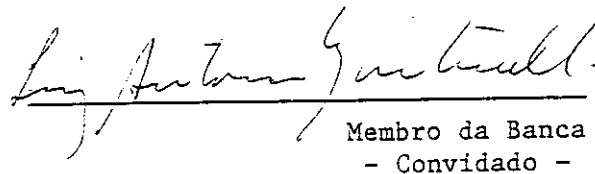
Dr. João Roberto dos Santos

  
Orientador

Dr. Diógenes Salas Alves

  
Membro da Banca

Dr. Luiz Antonio Martinelli

  
Membro da Banca  
- Convidado -

Candidato: Newton Jordão Zerbini

São José dos Campos, 16 de dezembro de 1992





Aos meus pais Marcos e  
Maria, a minha mulher  
Simone e ao nosso filho  
Rafael,

Dedico.



## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. José Antônio Muniz Lopes e à ELETRONORTE, principalmente ao Eng<sup>o</sup> Iran de Oliveira Pinto e ao Geol. Paulo Carneiro pelo apoio recebido.

Ao Prof. Roberto Hosokawa, Dr. Carlos Max, Eng<sup>o</sup> José Reinaldo Maffia, Prof<sup>a</sup>. Jeanine Felfili e Edmundo Taveira, pelas recomendações para realização do curso de mestrado.

Ao amigo Eng<sup>o</sup> Roberto Ramos, da empresa Enge-Rio, pelo auxílio na condução dos trabalhos de campo.

Ao Dr. João Roberto dos Santos, pela orientação e amizade.

À banca examinadora da dissertação preliminar - Dr. Yosio Shimabukuro e Dra. Tânia Sausen.

Aos colegas do curso de sensoriamento remoto e ao amigos do INPE, em especial do SERE, DPI, Biblioteca e LTID.

Aos amigos do Dept<sup>o</sup> de Meio Ambiente da ELETRONORTE.

À CAPES, pelo financiamento recebido.

À Universidade de Brasília - UnB, em especial ao Prof. Paulo Menezes do Instituto de Geociências e ao Prof. Humberto Angelo do Dept<sup>o</sup> de Engenharia Florestal.



## RESUMO

A floresta amazônica tem sido tema de grandes discussões devido à amplitude das intervenções ali realizadas. Com uma área de 3,5 milhões de km<sup>2</sup>, a Amazônia brasileira requer sistemas eficientes de coleta de informações para a gestão racional dos seus recursos florestais. O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um método de quantificação de fitomassa aérea de floresta tropical, a partir de dados espectrais obtidos de imagens TM-LANDSAT 5 e HRV-SPOT 1, em área a ser inundada por hidrelétrica. Para isso, determinou-se a correlação entre as variáveis de fitomassa aérea, dendrométricas, espectrais e de cota, em quatro parcelas consideradas: Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Ondulado (parcelas 1 e 4), Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Plano (parcela 2) e Floresta de Baixio (parcela 3). As parcelas foram divididas em três estratos: superior, intermediário e inferior. Ao contrário dos demais estratos, as variáveis espectrais, combinadas com as variáveis de fitomassa, não permitiram a quantificação da fitomassa aérea do estrato superior da floresta. Com o uso de Análise de Regressão identificaram-se as equações de quantificação de fitomassa. O método proposto apresentou-se viável e com resultados significativos seja com a utilização de imagens TM-LANDSAT ou HRV-SPOT, seja imagens índice ou imagens fração. Dentre doze modelos testados, optou-se pela utilização do modelo de ajuste linear, que demonstrou significância entre as variáveis de fitomassa dos estratos intermediário e inferior e as variáveis espectrais e de cota. É recomendável a realização de estudo de modelagem, com vistas à definição de modelos mais eficientes para quantificação de fitomassa nos três estratos.



ESTIMATION OF ABOVE-GROUND PHYTOMASS IN A TROPICAL  
FOREST USING TM-LANDSAT 5 E HRV-SPOT 1 DATA

**ABSTRACT**

The Amazon forest has been the subject of much debate due to the extent of human intervention occurring there. The Brazilian Amazon, with 3.5 million km<sup>2</sup>, requires efficient systems of data collection for rational management of its forest resources. The present dissertation develops a quantitative method for determining the biomass of tropical forest using satellite imagery from TM-LANDSAT 5 and HRV-SPOT in an area to be inundated for hydroelectricity. The study determined the correlation of biomass above-ground and tree measurements with spectral response and elevation in four samples: Dense Forest on Dry Land - Undulated Relief (samples 1 and 4), Dense Forest on Dry Land - Flat Relief (sample 2), and Floodplain Forest (sample 3). The forest samples were divided into three vertical levels for analysis. In comparison with the other forest levels, the spectral variables combined with the biomass variables did not permit the quantification of the biomass in the highest level of the forest. Regression analysis identified the equations for quantifying biomass. The proposed method is practical and gave significant results using either image index or image fraction for both TM-LANDSAT or HRV-SPOT data. Of the twelve models tested, a linear model was which gave a significant relationship for the biomass in the intermediate and low levels with spectral and elevation variables. It is recommended that future studies determine the most efficient model to quantify the biomass in the three levels of the forest.





## SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE TABELAS.....	xviii
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - Considerações gerais .....	1
1.2 - Floresta amazônica brasileira .....	2
1.3 - Hidrelétricas na Amazônia .....	4
1.3.1 - Perspectivas futuras .....	6
1.4 - Objetivos .....	7
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
2.1 - Sensoriamento remoto e vegetação .....	9
2.2 - Classificação da vegetação .....	11
2.2.1 - Estratificação florestal .....	13
2.3 - Quantificação de fitomassa .....	17
2.3.1 - Índice de Vegetação .....	20
2.3.2 - Análise de Mistura Espectral .....	26
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1 - Área de estudo .....	27
3.2 - Satélites utilizados .....	32
3.2.1 - Sistema LANDSAT .....	32
3.2.2 - Sistema SPOT .....	34
3.3 - Material utilizado .....	36

	Pág.
3.3.1 - Dados TM-LANDSAT 5 .....	36
3.3.2 - Dados HRV-SPOT 1 .....	37
3.3.3 - Cartas topográficas e de vegetação .....	38
3.3.4 - Material complementar e equipamento .....	39
3.4 - Métodos utilizados .....	40
3.4.1 - Seleção de unidades amostrais .....	40
3.4.2 - Coleta de dados de campo .....	46
3.4.3 - Processamento dos dados .....	54
3.4.3.1 - Dados de campo .....	54
3.4.3.2 - Dados orbitais .....	56
3.4.3.2.1 - Registro .....	56
3.4.3.2.2 - Tratamento .....	57
3.4.4 - Geração e análise de Planos de Informação .....	58
3.4.5 - Tratamento estatístico .....	59
3.4.5.1. Correlação .....	59
3.4.5.2. Regressão .....	60
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
4.1 - Valores de fitomassa - método destrutivo .....	61
4.2 - Análise preliminar das parcelas .....	65
4.3 - Processamento digital .....	71
4.3.1 - Registro .....	71
4.3.2 - Tratamento de imagens .....	75
4.3.3 - Planos de Informação .....	76
4.4 - Tratamento estatístico .....	77
4.4.1 - Análise de Correlação .....	77
4.4.2 - Análise de Regressão .....	79
4.5 - Estimativa de fitomassa .....	81

	Pág.
4.5 - Mapeamento de fitomassa .....	88
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE C - FICHAS DE CAMPO .....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE D - VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS NAS PARCELAS .....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE E - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS DADOS DAS PARCELAS .....</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>127</b>



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1.1 Avaliação do potencial hidrelétrico nas bacias dos rios Amazonas e Tocantins/Araguaia .....	4
1.2 Localização das usinas hidrelétricas em operação nas bacias dos rios Amazonas e Tocantins/Araguaia .....	5
1.3 Localização de futuros aproveitamentos hidrelétricos nas bacias dos rios Amazonas e Tocantina/Araguaia .....	7
2.1 Reflectância, absortância e transmitância de uma folha.....	10
2.2 Curva espectral característica de uma folha.....	10
2.3 Curva característica de espécies dos estratos inferior e médio .....	16
2.4 Curva característica de espécies do estrato superior .....	16
2.5 Relação da radiância no vermelho com a fitomassa total.....	21
2.6 Relação da radiância no infravermelho próximo com a fitomassa total .....	21
2.7 Curvas espectrais para solo seco, solo úmido e vegetação verde .....	22
3.1 Localização da UHE Porteira.....	29
3.2 Sistema SPOT .....	35
3.3 Localização da região de estudo com as bandas do TM.....	36
3.4 Posição das bandas do TM e HRV no espectro e comportamento de vegetação, solo e água .....	37
3.5 Localização da região de estudo com as bandas do HRV .....	38
3.6 Fluxograma de atividades .....	40
3.7 Croqui de uma parcela amostral .....	47
3.8 Esquema de amostragem de litter.....	48
3.9 Pesagem do material verde em laboratório .....	50
3.10 Secagem do material em estufa.....	51
3.11 Separação do material folhoso e lenhoso .....	52

	Pág.
4.1 Perfis de parâmetros espectrais da parcela 1.....	66
4.2 Perfis de parâmetros espectrais da parcela 1.....	66
4.3 Perfis de parâmetro de fitomassa e de cota da parcela 1 .....	66
4.4 Perfis de parâmetros de fitomassa da parcela 1 .....	65
4.5 Perfis de parâmetros espectrais da parcela 2.....	67
4.6 Perfis de parâmetros espectrais da parcela 2.....	67
4.7 Perfis de parâmetro de fitomassa e de cota da parcela 2 .....	68
4.8 Perfis de parâmetros de fitomassa da parcela 2 .....	68
4.9 Perfis de parâmetros espectrais da parcela 3.....	69
4.10 Perfis de parâmetros espectrais da parcela 3.....	69
4.11 Perfis de parâmetro de fitomassa e de cota da parcela 3 .....	69
4.12 Perfis de parâmetros de fitomassa da parcela 3 .....	69
4.13 Perfis de parâmetros espectrais da parcela 4.....	70
4.14 Perfis de parâmetros espectrais da parcela 4.....	70
4.15 Perfis de parâmetro de fitomassa e de cota da parcela 4 .....	71
4.16 Perfis de parâmetros de fitomassa da parcela 4 .....	71
4.17 Imagem TM-LANDSAT, WRS 229/61, bandas 3/4/5, de 15/08/87 ...	72
4.18 Imagem HRV-SPOT, KJ 684/352, bandas 1/2/3, de 26/08/88 .....	74
4.19 Modelo numérico do terreno .....	76
B.1 Localização das parcelas amostrais .....	109
C.1 Ficha de campo dos dados de fitomassa de litter .....	111
C.2 Ficha de campo dos dados de arvoretas e palmeiras .....	112
C.3 Ficha de campo dos dados de fitomassa das copas das árvores com DAP > 7cm .....	113
C.4 Ficha de campo dos dados de fitomassa lenhosa dos fustes com DAP > 7cm .....	114

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
3.1 Dados meteorológicos médios da estação da ELETRONORTE, em Cachoeira Porteira, no período de 1982 a 1985.....	28
3.2 Tipologias presentes na formação Floresta Densa de Terra Firme .....	30
3.3 Bandas TM-LANDSAT 5 e suas aplicações potenciais .....	33
3.4 Distribuição percentual do volume/ha por classe de DAP .....	41
3.5 Espécies com volume de madeira superior a 3m <sup>3</sup> scc/ha .....	42
3.6 Distribuição percentual da frequência/ha por classe de DAP.....	43
3.7 Espécies com frequência superior a 10 árvores/ha .....	44
4.1 Peso seco dos componentes da vegetação na parcela 1 .....	62
4.2 Peso seco dos componentes da vegetação na parcela 2 .....	63
4.3 Peso seco dos componentes da vegetação na parcela 3 .....	64
4.4 Peso seco dos componentes da vegetação na parcela 4 .....	65
4.5 Arquivo de pontos de controle (PL) do registro da imagem TM-LANDSAT .....	73
4.6 Arquivo de pontos de controle (PS) do registro da imagem HRV-SPOT .....	75
A.1 Alturas pluviométricas médias (milímetros) nos anos de 1986 a 1988, na estação de Cachoeira Porteira .....	107
D.1 Valores médios dos parâmetros medidos na parcela 1 .....	116
D.2 Valores médios dos parâmetros medidos na parcela 2 .....	117
D.3 Valores médios dos parâmetros medidos na parcela 3 .....	118
D.4 Valores médios dos parâmetros medidos na parcela 4 .....	119
E.1 Matriz de correlação dos dados da parcela 1 .....	122
E.2 Matriz de correlação dos dados da parcela 2 .....	123
E.3 Matriz de correlação dos dados da parcela 3 .....	124
E.4 Matriz de correlação dos dados da parcela 4 .....	125
F.1 Parâmetros considerados no estudo .....	127





## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

A floresta amazônica tem sido tema de grandes discussões devido à amplitude das intervenções ali realizadas. A degradação acelerada do meio natural decorreu, entre outros fatores, das ações para implantação de pólos de produção agropecuária e agromineral, núcleos populacionais de colonização e infra-estrutura de transportes e energia, redefinindo a importância econômica e política da Amazônia no contexto nacional e internacional. Paralelamente, cresceu em todo o mundo a consciência de que os problemas ambientais - reais, previsíveis, desconhecidos ou imaginários - afetariam processos vitais ao homem em escala global.

O destino que terá a grande Hiléia Amazônica, em decorrência do processo acelerado de ocupação da região, é fonte geradora das mais controversas manifestações. Há os que vêem a preservação da floresta como o grande entrave ao desenvolvimento econômico da Amazônia. No outro extremo, colocam-se os preservadores radicais que pretendem mantê-la intocada, como reserva de pureza ambiental (Pandolfo, 1978). A ocupação da Amazônia é, todavia, uma situação irreversível, que deve ser controlada para evitar ou minimizar sua destruição, mediante a exploração racional de seus recursos naturais, buscando equilibrar os aspectos ambientais com a ocupação econômico-demográfica.

O impacto ambiental causado pelas hidrelétricas é um dos elementos potenciais de destruição da floresta. Hoje esses empreendimentos não são numerosos, estando no entanto planejadas novas construções, a depender de futuras decisões para os setores energético e ambiental. Segundo Mozeto et al. (1988), o impacto causado à floresta amazônica pela construção de hidrelétricas ainda não foi estudado de maneira

multidisciplinar, sendo preocupante a perda de grandes parcelas das diferentes comunidades da floresta virgem, além do impacto direto pelo afogamento da vegetação.

A gestão racional dos recursos naturais da Amazônia requer a implantação de um sistema de coleta de informações que permita a realização regular de inventários dos recursos como a água, a flora e a fauna, a superfície do solo e subsolo, bem como o monitoramento de cada um desses meios e de sua evolução, seja ela natural, seja induzida pelas atividades humanas. Conhece-se hoje um certo número de métodos dedicados à coleta de tais informações, cuja finalidade é prever, detectar e avaliar essas evoluções.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto em áreas de floresta tropical é de grande importância. O potencial de utilização de fotografias aéreas em levantamentos florestais foi demonstrado por técnicos da missão da Food and Agriculture Organization (FAO) (SUDAM, 1973). Sua aplicabilidade também foi constatada por Sadowski e Danjoy (1980).

Considerando, ainda, que a resposta espectral das folhas nas regiões do infravermelho próximo e vermelho fornece informações para o estudo da vegetação e que existe correlação entre a fitomassa foliar e a fitomassa lenhosa, acreditamos ser possível a quantificação da fitomassa aérea através da análise da resposta espectral da fitomassa foliar.

## 1.2 - FLORESTA AMAZÔNICA BRASILEIRA

Os primeiros trabalhos científicos relativos à estrutura e composição da floresta amazônica foram publicados, no início deste século, por Huber e Lecoite, citados por Hueck (1972) e Jankauskis (1983). No prosseguimento dos estudos efetuados na região, um marco importante foi determinado pela execução de levantamentos florestais pela mesma missão da FAO, no período de 1956 a 1961 (SUDAM, 1973;

Jankauskis, 1983). Em função de antigas ocupações e de constantes alterações, tornou-se difícil determinar os limites da formação clímax da floresta amazônica brasileira (Hueck, 1972).

Existem diferentes enfoques para definição da área correspondente à floresta amazônica brasileira (Brasil, 1989). A chamada Amazônia Legal abrange uma área equivalente a aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup>, compreendendo a Amazônia Geográfica, os Estados de Tocantins e Mato Grosso e parte do Estado do Maranhão. A Amazônia Geográfica equivale à Região Norte, com área de cerca de 3,5 milhões de km<sup>2</sup>. Por fim, tem-se que a área de floresta tropical é de 2,8 milhões de km<sup>2</sup>, aproximadamente 9,5% da área total de florestas tropicais do mundo (FAO/IBRD/WRI/UNDP, 1987).

Na floresta tropical, a seleção natural das espécies é baseada na intensidade de luz incidente. A distribuição dos indivíduos por classe diamétrica é similar àquela das espécies tolerantes à sombra, isto é, as menores plantas representam um grande número de indivíduos. Além disso, a floresta tropical apresenta um grande número de indivíduos por área, com relacionamento complexo entre eles, bem como com a fauna e o meio físico. A classificação da floresta mais aceita é aquela com base nos aspectos fisionômicos, florísticos e de relevo (Pires e Prance, 1985).

A floresta apresenta também uma distinção entre os indivíduos baseada na altura. A maior parte das comunidades possui uma diferenciação ou estratificação vertical, que consiste na identificação de camadas acima da superfície do solo (Whittaker, 1975).

Segundo Pires e Prance (1985) a estimativa de fitomassa na floresta amazônica pode ser expressa de diferentes formas. Considerando os inconvenientes de pesagens e cálculos de volumes, sugerem a utilização da área basal para estimativa de biomassa como a mais simples. Entretanto, alguns poucos pesquisadores insistem na pesagem e cálculo de volume.

### 1.3 - HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA

No Brasil, a capacidade instalada de energia hidrelétrica em 31.12.86 era de 38.478 Megawatts (MW) distribuídos regionalmente nas seguintes proporções: Sul - 19,0%; Sudeste - 51,1%; Centro-Oeste - 1,3%; Nordeste - 13,2% e Norte - 4,8% (ELETROBRÁS, 1987). Hoje, o aproveitamento é da ordem de 57.226 MW e desse montante somente cerca de 9% provêm da Região Norte, que potencialmente é a mais rica com uma geração estimada de 130.000 MW (Figura 1.1).

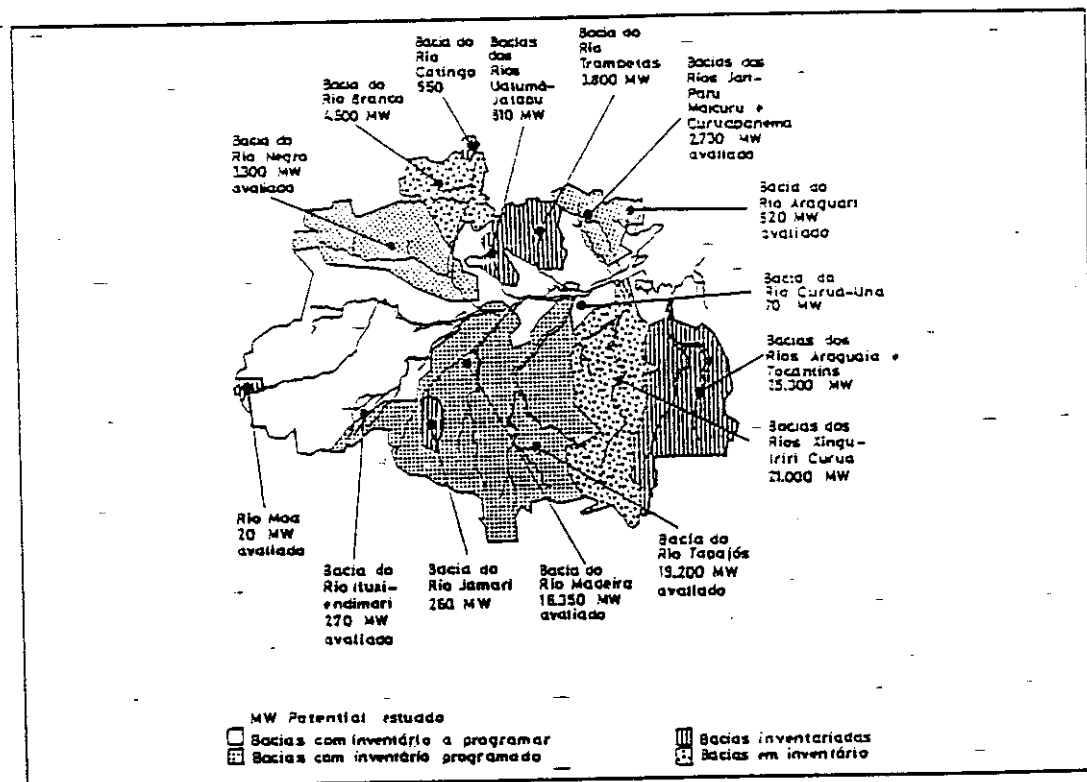


Fig. 1.1 - Avaliação do potencial hidrelétrico nas bacias dos rios Amazonas e Tocantins/Araguaia.

Fonte: Junk e Nunes de Mello (1987), p. 369.

Na Região Norte, os dois mais antigos aproveitamentos são os de Coaracy-Nunes (Estado do Amapá), operando desde 1975, com área inundada de 23,3 km<sup>2</sup> e potência instalada de 40 MW, e de Curuá-Una (Estado do Pará), concluído em

1977, gerando 30 MW com área de inundação de 37 km<sup>2</sup> (Paiva, 1982; ELETRONORTE, 1989).

Em 1984, entrou em operação no sul do Estado do Pará a Usina Hidrelétrica (UHE) Tucuruí, primeiro grande aproveitamento energético da Amazônia brasileira. A área inundada corresponde a 2.430 km<sup>2</sup>, gerando 4.000 MW (1991). Cinco anos mais tarde, entrou em operação no Estado do Amazonas a UHE Balbina, com área inundada de 2.360 km<sup>2</sup>, totalizando uma geração de 250 MW em meados de 1990. Mais recentemente, em julho de 1989, entrou em operação no Estado de Rondônia a UHE Samuel, com área inundada de 560 km<sup>2</sup> e geração, em 1993, de 217 MW (Figura 1.2).

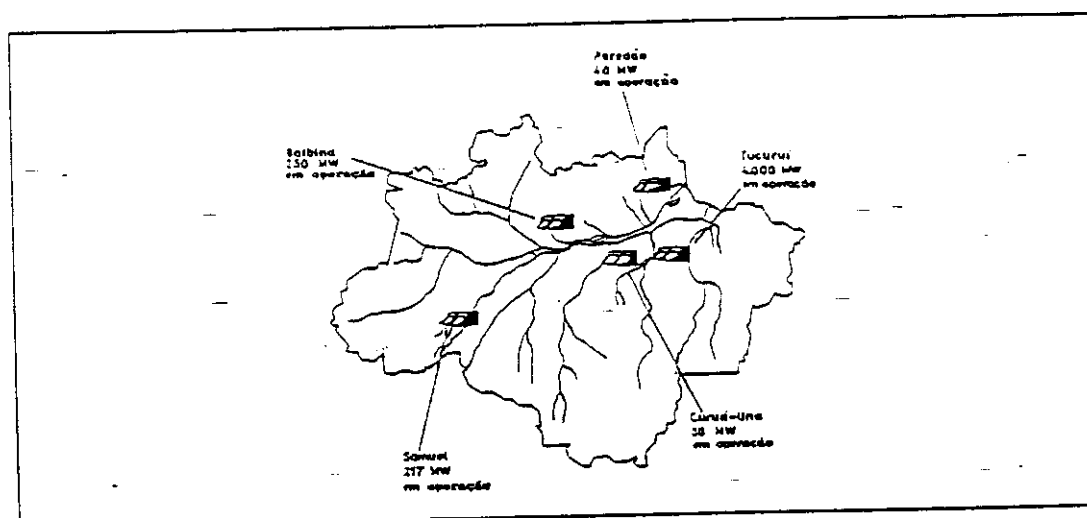


Fig. 1.2 - Localização das usinas hidrelétricas em operação nas bacias dos rios Amazonas e Tocantins/Araguaia.

Fonte: Adaptada de Junk e Nunes de Mello (1987), p. 368.

Represas construídas em outras regiões tropicais do globo apresentaram uma série impactos ambientais negativos. Essas experiências são bastante valiosas para o planejamento de empreendimentos na bacia amazônica. Entretanto, as regiões tropicais apresentam algumas características muito distintas, além do que as informações ecológicas sobre a bacia amazônica são escassas e, quando existem, cobrem somente alguns aspectos durante períodos curtos.

Junk e Nunes de Mello (1987) afirmam que a avaliação final dos impactos ecológicos das represas hidrelétricas amazônicas será possível somente alguns anos depois do término de sua construção, ou até mesmo depois de décadas. Dessa forma, eles projetam a possibilidade de uma série de impactos causados pelas usinas de Tucuruí, Balbina e Samuel como perda de solo, extinção de espécies de plantas e animais, perda de monumentos naturais e históricos e de recursos madeireiros, modificação da geometria hidráulica do rio, modificação da carga sedimentar, mudanças florísticas e faunísticas, deterioração da qualidade da água, problemas sanitários, impacto no balanço global de CO<sub>2</sub> e consideráveis problemas sociais.

### 1.3.1 - PERSPECTIVAS FUTURAS

O setor elétrico brasileiro atua com base em planejamento a longo prazo, em função do crescimento do mercado de energia elétrica e da política setorial vigente.

Na Amazônia brasileira, de acordo com dados da ELETROBRÁS (ELETROBRÁS, 1992), as usinas de Coaracy-Nunes e Tucuruí serão provavelmente expandidas, sem acréscimo da área inundada: Coaracy-Nunes fornecerá mais 30 MW em 1995 e Tucuruí mais 4.000 MW em 1999. No Estado do Pará, está prevista a construção da UHE Belo Monte, com a operação prevista para após 2.002 inundando 1.225 km<sup>2</sup> para gerar 11.000 MW. Encontra-se em estudo de viabilidade a UHE Serra Quebrada, entre os Estados de Tocantins e Maranhão, prevista para operar em 2.001 gerando 1.328 MW, inundando 420 km<sup>2</sup>. No mesmo estágio encontra-se a UHE Ji-Paraná (Estado de Rondônia) que tem previsão de operação em 2002, gerando 512 MW e inundando 955 km<sup>2</sup>. Na fase de projeto básico, encontra-se a UHE Porteira (Estado do Pará) com operação prevista para 2000, gerando 700 MW e inundando 912 km<sup>2</sup>. Também na fase de projeto básico encontra-se a UHE Santa Isabel, entre os Estados de Tocantins e Maranhão, com operação prevista para após 2002, gerando 2.000 MW e inundando 2.944 km<sup>2</sup> (Figura 1.3).

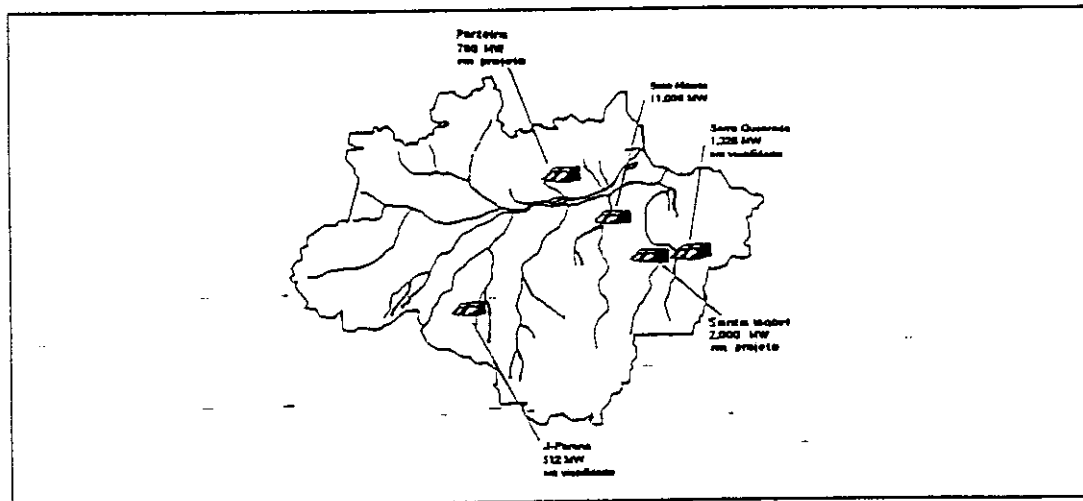


Fig. 1.3 - Localização de futuros aproveitamentos hidrelétricos nas bacias dos rios Amazonas e Tocantins/Araguaia.

Fonte: Adaptada de Junk e Nunes de Mello (1987), p. 368.

Vale salientar que não existe decisão final quanto à construção de nenhum desses novos empreendimentos, aguardando a aprovação dos órgãos competentes como o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), órgãos de meio ambiente e, em alguns casos, o próprio Congresso Nacional.

#### 1.4 - OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivos principais a quantificação de fitomassa por método destrutivo e o desenvolvimento de metodologia para estimar fitomassa aérea em área de floresta tropical, mediante estudo de caso da área de inundação da UHE Parateira, através da Análise de Mistura Espectral e modelos numéricos (Índice de Vegetação) obtidos de imagens TM-LANDSAT 5 e HRV-SPOT 1, correlacionados com dados de campo. Esta técnica de estimativa visa a subsidiar as avaliações de impacto ambiental na construção de usinas hidrelétricas, em especial permitindo a análise de questões como exploração florestal pré-enchimento e submersa, limpeza do reservatório para melhoria da qualidade de água, usos múltiplos e segurança da usina, atendendo à legislação ambiental para licenciamento de hidrelétricas, além de

auxiliar no estudo dos aspectos funcionais da floresta. Tendo em vista que todos os aproveitamentos energéticos construídos ou planejados na Região Norte situam-se em área de floresta tropical ou de transição com pouca ocupação humana e implicam em danos para os ecossistemas existentes, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto é importante para a condução dos estudos ambientais que permitam realizar avaliação, sob diferentes enfoques, de uma determinada área de interesse.

Como objetivos específicos, propõem-se:

- a) classificar a vegetação florestal da área de interesse, alocar parcelas amostrais representativas das diferentes tipologias identificadas e coletar dados dendrométricos, de fitomassa e plani-altimétricos;
- b) obter dados orbitais referentes à área de interesse para realização de registro e aquisição de dados digitais correspondentes às parcelas amostrais;
- c) produzir, a partir dos dados orbitais originais dos satélites LANDSAT 5 e SPOT 1, imagens de Índice de Vegetação e de Mistura Espectral;
- d) determinar as correlações existentes entre as variáveis de fitomassa, dendrométricas, espectrais e altimétricas;
- e) selecionar equações de regressão que melhor estimem o valor de fitomassa aérea dos estratos superior, intermediário e inferior;
- f) apresentar mapeamento da fitomassa aérea onde são considerados os estratos, as curvas de nível e as tipologias, utilizando sistema de informações geográficas.



## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DE LITERATURA

#### 2.1 - SENSORIAMENTO REMOTO E VEGETAÇÃO

Para interpretação e processamento de dados de sensoriamento remoto de coberturas florestais é necessário que se conheça sua interação com a radiação eletromagnética. A unidade básica para compreensão desse processo de interação radiação x cobertura é a folha, cujas propriedades de reflectância, absorvância e transmitância fornecem o entendimento extensivo à toda cobertura florestal (Knipling, 1970).

A folha reflete somente uma parte da energia incidente; a energia restante é absorvida ou transmitida. Devido ao seu forte relacionamento, é importante considerar os três mecanismos para avaliar as bases físicas e fisiológicas da reflectância da folha (Figura 2.1).

A reflectância das folhas é tipicamente baixa na região do visível, onde atua a radiação fotossinteticamente ativa (Photosynthetically Active Radiation - PAR) (0,4 a 0,7 $\mu$ m), com acentuada absorção da radiação pela clorofila na faixa do azul (0,4 a 0,5 $\mu$ m) e do vermelho (0,6 a 0,7 $\mu$ m), e menor na região do verde (0,5 a 0,6 $\mu$ m). Uma reflectância relativamente alta é observada na região do infravermelho próximo (0,7 a 1,3 $\mu$ m), devido à estrutura interna da folha. A reflectância no infravermelho médio (1,3 a 2,6 $\mu$ m) diminui, atenuada pelo conteúdo de água na folha, apresentando um relativo aumento nos pontos de 1,7 $\mu$ m e 2,2 $\mu$ m (Figura 2.2) (Gates, 1970; Grant, 1987; Knipling, 1970).

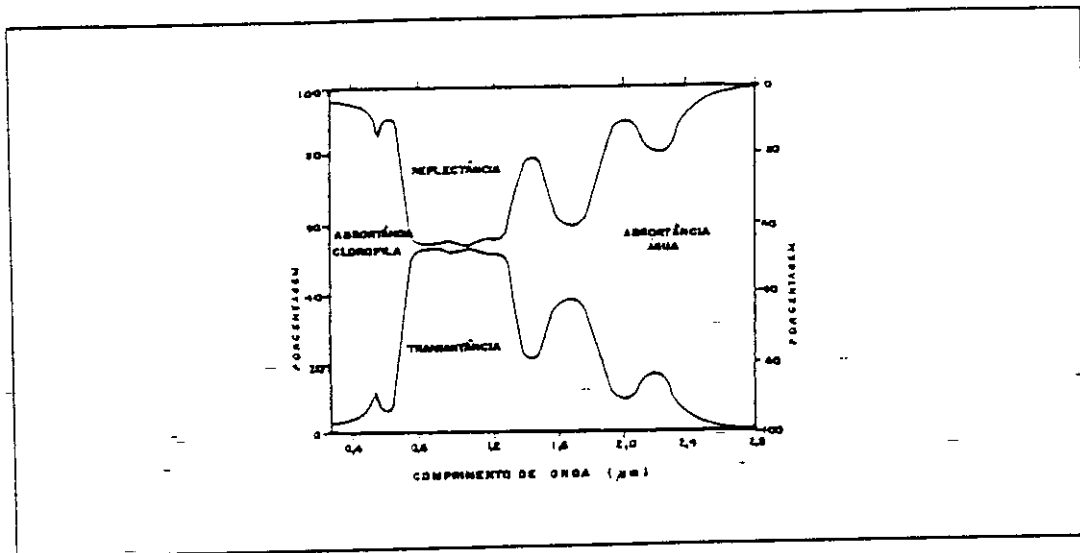


Fig. 2.1 - Reflectância, absorptância e transmitância de uma folha.  
 Fonte: Knipling (1970), p. 156.

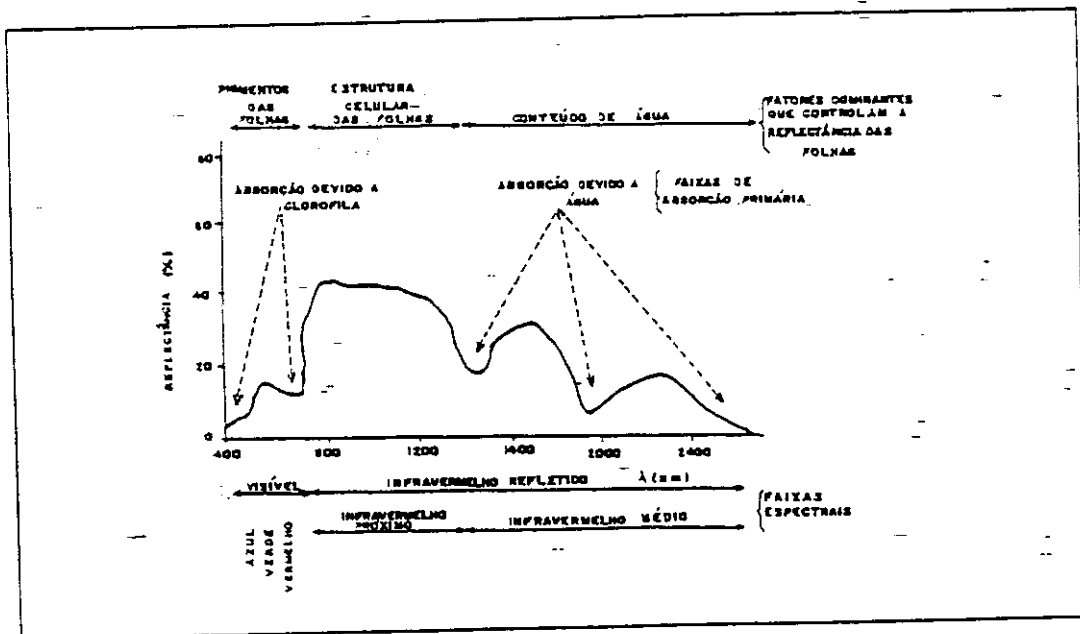


Fig. 2.2 - Curva espectral característica de uma folha.

Fonte: Hoffer e Johannsen (1972), citado por Santos (1988a), p. 32.

Segundo Epiphanyo (1988), para o entendimento do processo de reflectância de uma única planta ou de uma cultura é fundamental compreender todos esses princípios de reflectância de uma folha isolada. Deve-se considerar, todavia, que embora similar, a reflectância de uma cobertura é modificada por fatores como estrutura das plantas (Colwell, 1974a; Colwell, 1974b; Tucker, 1977), área das folhas (Myers, 1970), sombra (Colwell, 1974b), reflectância de fundo (Colwell, 1974b), além de aspectos óptico-geométricos (Colwell, 1974b; Kimes et al., 1986; Li e Strahler, 1985; Suits, 1972a; Suits, 1972b).

A partir dos conhecimentos básicos acerca do mecanismo de interação da radiação eletromagnética com a cobertura florestal, aqui considerados, pode-se passar à discussão de algumas aplicações do sensoriamento remoto no campo florestal.

## 2.2 - CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO

A classificação é o processo pelo qual elementos são identificados e concentrados em grupos ou classes com atributos semelhantes. A consideração de diferentes parâmetros da vegetação, conduzirá a classificações diferenciadas de uma mesma comunidade florestal. Não havendo apenas um processo correto para classificar comunidades, foram desenvolvidos sistemas diversificados de classificação (Whittaker, 1975).

De acordo com o enfoque fisionômico, as comunidades podem ser classificadas pela estrutura de crescimento dominante do estrato principal. Esse mecanismo de classificação é o mais utilizado para descrever comunidades de um continente ou do mundo.

Um método natural e amplamente utilizado de classificação dá ênfase à identificação das espécies dominantes. Esse nem sempre é o método mais apropriado para o estudo de determinadas comunidades, como é o caso das florestas

tropicais úmidas, devido a sua grande heterogeneidade. Uma comunidade também pode ser classificada em função das espécies dominantes em todos os estratos, não somente do estrato principal. Esse enfoque é usual para classificação de comunidades de epífitas e de plantas aquáticas. Whittaker (1975) propõe um tipo de classificação com base no conjunto da composição florística.

Encontra-se, ainda, na literatura processo de classificação baseado nas diferentes respostas espectrais das comunidades vegetais. A classificação espectral, fundamentada em técnicas de sensoriamento remoto, processa-se a partir de análises visuais e digitais de imagens.

No desenvolvimento de um método de classificação da vegetação em área de floresta tropical úmida na Nova Guiné, Pajmans (1966) analisou a relação entre fotografias aéreas e aspectos geomorfológicos e ecológicos da região e botânicos das espécies dominantes. Informou que a escala de trabalho mais favorável é de 1:20.000 a 1:50.000.

Sedyk e Sidorova (1986), através do uso de métodos digitais, realizaram classificações, visando ao manejo florestal, baseadas na correlação de valores de textura fotográfica, obtidas de fotos preto e branco, na escala de 1:50.000, com a idade de agrupamentos de florestas temperadas e boreais.

A constatação de que o aumento da resolução espacial do sistema sensor implica no respectivo aumento de importância dos aspectos estruturais da cobertura florestal foi apresentada por Markham e Townshend (1981). Essa proposta foi confirmada por Horler e Ahern (1986), que salientam a capacidade do TM para separar classes de vegetação, com ênfase nas classes florestais, como sendo melhor do que a do MSS, dadas as medidas estatísticas de separabilidade. Para áreas de florestas temperadas, Peterson et al. (1986) seguiram a mesma linha de estudos, utilizando o simulador TM para estimar a densidade da cobertura e o tamanho das árvores. Nesse estudo, a precisão da classificação foi melhor com a utilização dos canais 3, 4, 5 e 7.

Também trabalhando com sensores de diferentes resoluções na classificação de diferentes áreas florestais, Chaves et al. (1990) observaram a relação entre a resolução espacial e os aspectos estruturais, principalmente de áreas de reflorestamento e de floresta tropical.

Dentro do mesmo processo, outro método de classificação da cobertura florestal é a análise das componentes principais. (Conese et al., 1988; Singh e Harrison, 1985). Aplicada no tratamento digital de imagens multiespectrais, as componentes principais agrupam os dados multiespectrais e os realçam para, no nosso caso, estudos de áreas florestais.

Correlacionando dados SPOT com parâmetros de floresta temperada na Inglaterra, Danson (1987) obteve resultados significativos de monitoramento com o emprego da banda do infravermelho próximo e menor correlação com as bandas do vermelho e do verde. Para floresta tropical, Singh (1987), utilizando dados MSS, relatou resultados semelhantes, porém, constatou dificuldade de perceber a separabilidade de tipos fisionômicos em função da pouca sensibilidade do sensor para fitomassa de folhas verdes.

Especificamente para a classificação da floresta amazônica, Pires e Prance (1985) apresentaram de forma sintética algumas considerações sobre abordagens fisionômicas, florísticas e de relevo. O aspecto estrutural da vegetação foi aparentemente preponderante nestas considerações.

### 2.2.1 - ESTRATIFICAÇÃO FLORESTAL

As características de estratificação, ocupação e padrão determinam a estrutura da floresta. Tendo em vista os objetivos deste trabalho, somente o elemento estratificação será abordado.

Brunig e Klinge (1976) e Pires (1984) indicam que a organização da floresta tropical úmida em estratos é uma noção controversa. No entendimento dos dois primeiros, pode ser identificada uma sobreposição em série da altura dos vários estratos, sendo indistinta a relação diâmetro/altura da formação.

Por outro lado, Pires (1984) afirma que a floresta não é organizada em estratos, uma vez que em busca da luz todo o espaço abaixo do teto florestal é preenchido continuamente numa distribuição vertical. Embora seja categórico na consideração da inexistência de estratos na floresta tropical, Pires (1984) admite a existência de árvores de altura caracteristicamente baixa, intermediária e alta.

A literatura apresenta também a utilização de diferentes técnicas de sensoriamento remoto para a estratificação de formações florestais. Trabalhando em área de floresta tropical úmida, com fotografias aéreas pancromáticas na escala de 1:40.000 e imagens LANDSAT e de radar, Sadowski e Danjoy (1980) constataram que as fotos aéreas permitem uma melhor verificação, identificação e subdivisão dos estratos definidos pelas imagens LANDSAT, fornecendo detalhamento adicional acerca do relevo e das variações da densidade das árvores.

Utilizando valores de luminosidade de dados multiespectrais LANDSAT, um canal de textura espacial e dados numéricos de terreno, Woodcock et al. (1980) conceberam um sistema informatizado de estratificação. O Forest Classification and Inventory System (FOCIS) envolve quatro etapas principais: classificação não supervisionada usando dados LANDSAT e de textura; supervisão das classes comuns e edição; modelagem da tipologia em formato espacial usando dados digitais do terreno; e combinação da modelagem com a classificação não supervisionada (Strahler et al., 1980). O sistema foi testado em área de coníferas, apresentando-se adequado para inventários de recursos florestais. No entanto, a validação final do método dependia, naquela época, de maior coleta de dados quantitativos.

Analisando a aplicabilidade de uma estratificação consistente de uma floresta de pinus nos Estados Unidos, Williams (1976) utilizou dados LANDSAT para avaliar três níveis de densidade de copa. A classificação nessa investigação apresentou uma coincidência de 90% em comparação com fotografias aéreas.

Rohde et al. (1979), avaliaram a aplicabilidade de técnicas de sensoriamento remoto, através de dados LANDSAT e fotografias aéreas na escala de 1:6.000, e técnicas de amostragem para mapeamento e inventário de vegetação. Foi efetuada uma avaliação do uso de um procedimento de amostragem de cluster estratificado para estimar a área de tipos de cobertura vegetal.

São também relevantes os trabalhos que utilizam técnicas de obtenção de dados de campo para levantamento de estrutura florestal. A partir do estudo da estrutura de uma mata de galeria em Brasília-DF, Cabral e Feifili (1986) constataram a ocorrência diferenciada de espécies florestais em três estratos (Figuras 2.3 e 2.4), comprovando a influência da incidência da luz na formação das camadas.

Estudando a estrutura da mata pluvial tropical, sob enfoque ecológico, em área de terra firme próxima a Manaus-AM, Takeuchi (1960) relatou a existência de dois estratos arbóreos. O estrato inferior é dominado por palmeiras, além de apresentar pequenas árvores e arbustos.

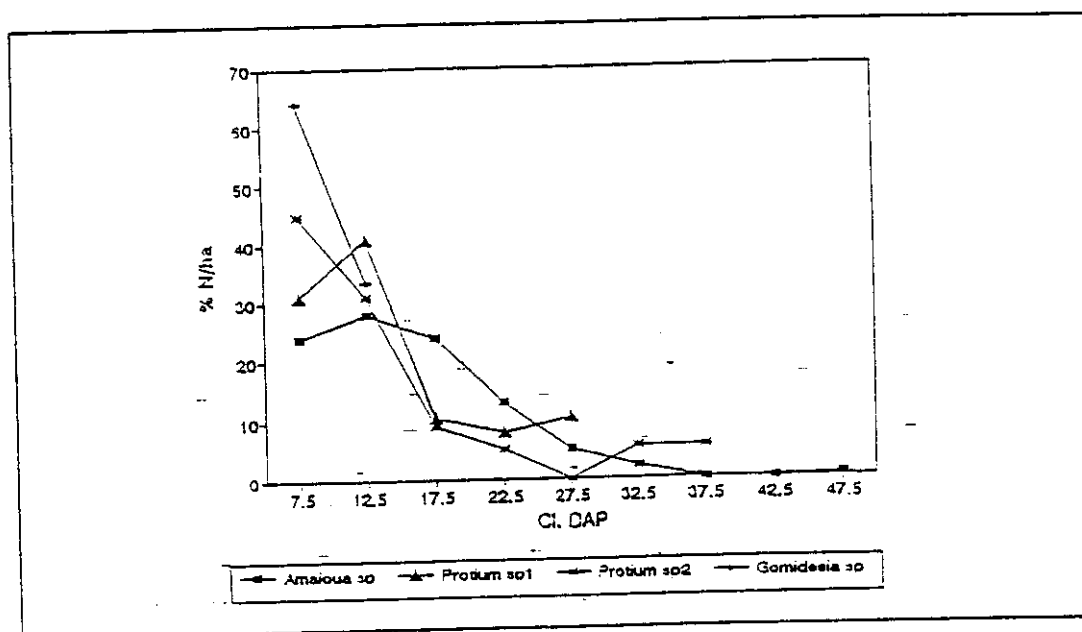


Fig. 2.3 - Curva característica de espécies dos estratos inferior e médio.

Fonte: Cabral e Felfili (1986), p. 10.

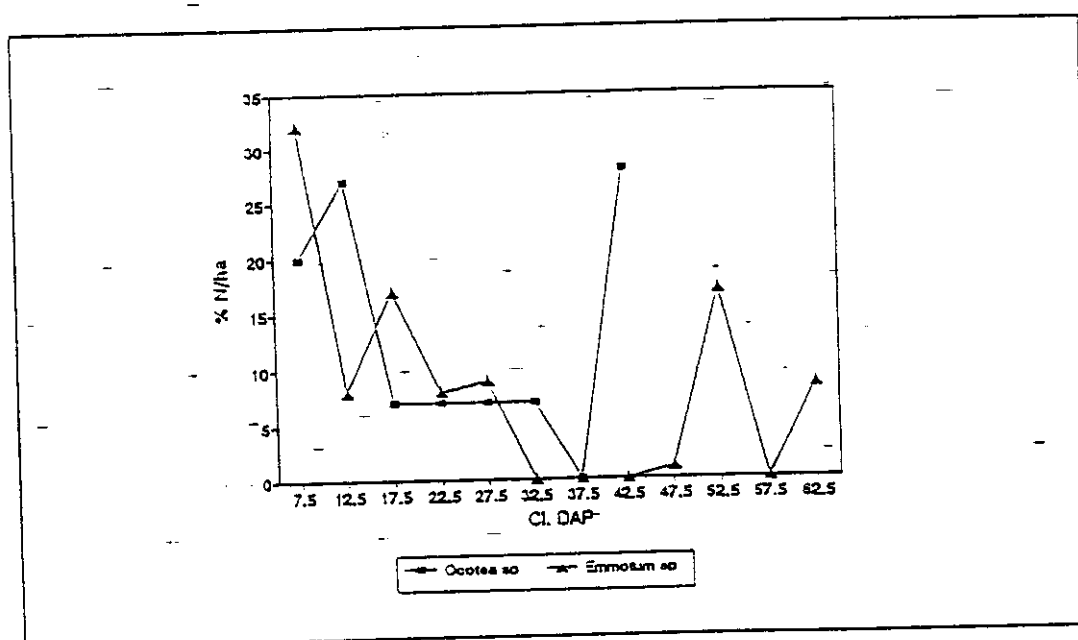


Fig. 2.4 - Curva característica de espécies dos estratos superiores.

Fonte: Cabral e Felfili (1986), p. 12.



Dentro de uma definição nítida de estratificação, Rodrigues (1963) traçou o perfil da vegetação típica da Serra do Navio, Amapá. Observou que o estrato superior (estrato A) era de 25m, não contínuo. Árvores emergentes surgiam acima desse teto, podendo atingir até quase 60m, sem formar um novo estrato. Sem muita definição aparecem os estratos B, ao nível dos 14m, e C, a 10m. Nos estratos abaixo de B, foi verificada a ocorrência de espécies representativas dos estratos superiores. O estrato D compunha-se de grande variedade de espécies arbustivas e de plantas jovens dos estratos superiores.

### 2.3 - QUANTIFICAÇÃO DE FITOMASSA

A determinação da quantidade de matéria orgânica vegetal acima do solo (fitomassa aérea) é de grande importância para o estudo dos aspectos funcionais da floresta, quais sejam a produtividade primária, o ciclo de nutrientes e o fluxo de energia. É também importante para o planejamento da interferência humana na floresta (Hase et al., 1985).

A estimação da produtividade na floresta tropical é tratada por Whittaker e Marks (1975) de forma diferenciada de florestas temperadas, onde pode-se analisar o desenvolvimento de uma árvore através da contagem de anéis ou cicatrizes no tronco. Essa técnica não se aplica a florestas tropicais em razão da não ocorrência de contrastes sazonais que resultem em anéis na madeira.

A quantificação da fitomassa aérea em florestas tropicais pode ser processada através da aplicação de dois métodos: destrutivo e não-destrutivo.

O método destrutivo consiste na alocação de amostras, corte de indivíduos selecionados, pesagem do material verde e seco e extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse.

Analisando comparativamente as técnicas "mean tree" e de regressão, em área de floresta tropical, Hase et al. (1985) subestimaram a fitomassa lenhosa em 5% para a segunda técnica e em 1% para a primeira. Para a fitomassa de ramos, a técnica de regressão levou a uma superestimativa de 2 a 6%, e para a estimativa da fitomassa foliar encontrou-se uma alta exatidão para os dois métodos.

São, ainda hoje escassos os dados relativos à estimativa de fitomassa para a amazônia, não somente quanto aos valores absolutos, mas quanto à metodologia adotada. Entretanto, já em 1962, Klinge realizava estudos sobre vegetação e solos em área próxima a Manaus. A partir de 1963, os estudos passaram a focar a estimativa de fitomassa de litter. Foram ampliadas as pesquisas dessa área, selecionando uma área de estudo de 0,2 ha, na qual foi efetuada quantificação de fitomassa através de método destrutivo (Klinge e Rodrigues, 1971; Klinge et al., 1975). Tal estudo tem a peculiaridade de também levantar o valor de fitomassa de raízes.

Considerando ainda o método destrutivo, Murphy e Lugo (1986) estimaram a fitomassa total de uma floresta subtropical seca (Guanica, Porto Rico), tendo sido encontrado um valor 60% abaixo do esperado, quando correlacionado com a razão (média anual de temperatura/média anual de precipitação) x 100. Tal valor, porém, situa-se numa posição intermediária de um intervalo encontrado para outras florestas subtropicais secas.

Quanto ao método não-destrutivo, Tucker (1979a) analisou as diferentes técnicas aplicáveis à quantificação da fitomassa herbácea aérea. O procedimento de estimativa visual é a mais usual das técnicas não-destrutivas, o qual consiste na observação de diversos pontos amostrais permanentes e a serem cortados. Estes últimos servem para obtenção de equações de regressão que estimem a fitomassa de pontos permanentes. Outra técnica é a chamada "β-Attenuation" que utiliza radioisótopos para determinar a fitomassa herbácea, relacionando a absorção ou atenuação das partículas β com material herbáceo. Constitui também uma técnica a quantificação de água presente na vegetação inferindo a quantidade de fitomassa

mediante a utilização de um Capacitômetro. Tucker (1979a) também relata a técnica do disco de peso, que baseia-se no relacionamento entre o peso da vegetação comprimida pelo disco e a fitomassa dessa mesma vegetação.

Martinelli et al. (1988) salientaram ser a amostragem destrutiva a única forma que oferece precisão na determinação de fitomassa. O estudo por eles realizado em área de 1 ha no Estado de Rondônia empregou, todavia, método não-destrutivo. A partir de valores médios de biovolume e de densidade básica de algumas árvores, foram transformadas as medidas de altura e diâmetro em estimativa de fitomassa. O valor estimado de fitomassa foi de 303 t/ha em peso seco. Deste total 3% foram de folhas.

Considerando valores de área basal e volume de árvores em diferentes áreas teste na região de Tucuruí, Pará, Revilla Cardenas et al. (1982) desenvolviam método não-destrutivo de estimativa de fitomassa com o uso do que denominavam "Escala R.K.G.". Na época estimaram a fitomassa da área em um valor médio seco de 394 t/ha.

Na avaliação de Newbould (1970), os métodos não-destrutivos não podem ser aplicados a florestas sem uma estação de crescimento bem definida, como é o caso das florestas tropicais úmidas, onde não são formados anéis de crescimento.

Uma técnica não-destrutiva de avaliação de fitomassa aplicável a todas as tipologias florestais é a de sensoriamento remoto, que envolve medidas de radiação espectral refletida feitas a partir de sensores situados no solo (Epp et al., 1982; Shain e Myers, 1986) ou em plataformas orbitais (Mukai e Takeuchi, 1979; SeEVERS et al., 1975). Tucker (1979b) apresenta esta técnica como sendo de grande aplicabilidade, recomendando o seu uso nas regiões espectrais do vermelho e infravermelho próximo.

### 2.3.1 - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Conforme comentário de Tucker (1979b), tem-se tornado freqüente o uso de combinações lineares de dados espectrais do vermelho e do infravermelho próximo no monitoramento de fitomassa aérea.

Tucker e Sellers (1986) demonstraram que é adequado o uso das regiões do vermelho (0,6 a 0,7 $\mu$ m) e do infravermelho próximo (0,7 a 1,3 $\mu$ m) para análise do comportamento da fitomassa aérea, em razão de sua proximidade no espectro eletromagnético. Santos (1988a) comenta que essa proximidade compensa as diferenças de intensidade do fluxo solar em cada uma das regiões.

Considerando como faixa do vermelho e infravermelho próximo os intervalos de 0,63 a 0,69 $\mu$ m e 0,75 a 0,80 $\mu$ m, respectivamente, Tucker (1979b) analisou suas propriedades básicas com relação à vegetação verde. Foi identificada na faixa do vermelho uma alta absorção espectral da radiação incidente pela clorofila, quando relacionada com a fitomassa verde, demonstrando uma alta sensibilidade ao verde ou à massa fotossinteticamente ativa da vegetação (Figura 2.5).

Na faixa do infravermelho próximo constatou-se boa relação da radiância com a massa foliar fotossinteticamente ativa (Figura 2.6).

Colwell (1974a) enfatiza que para discriminação da fitomassa verde alguns comprimentos de onda são bem superiores a outros, pois tal discriminação depende da reflectância espectral da superfície do solo/vegetação ou do contraste de radiância (Figura 2.7).

Percebe-se pela Figura 2.7 que a região do verde não é adequada para discriminação da fitomassa verde, em razão do baixo contraste de reflectância da relação solo/vegetação verde.

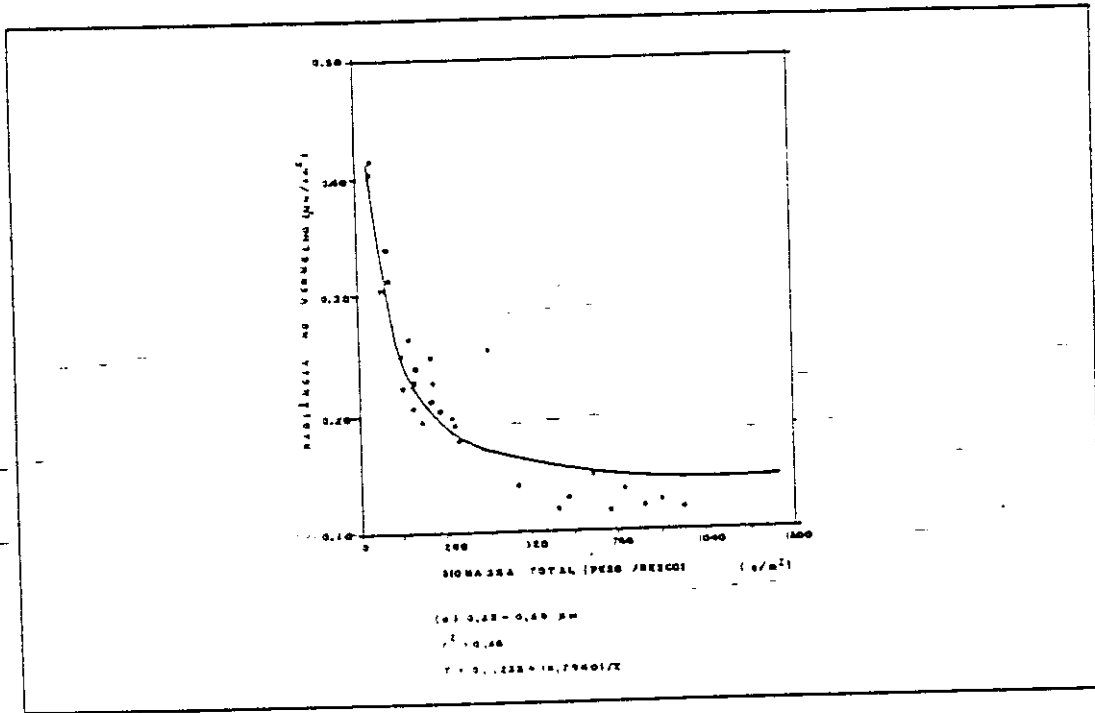


Fig. 2.5 - Relação da radiância no vermelho com a fitomassa total.

Fonte: Tucker (1979b), p. 131.

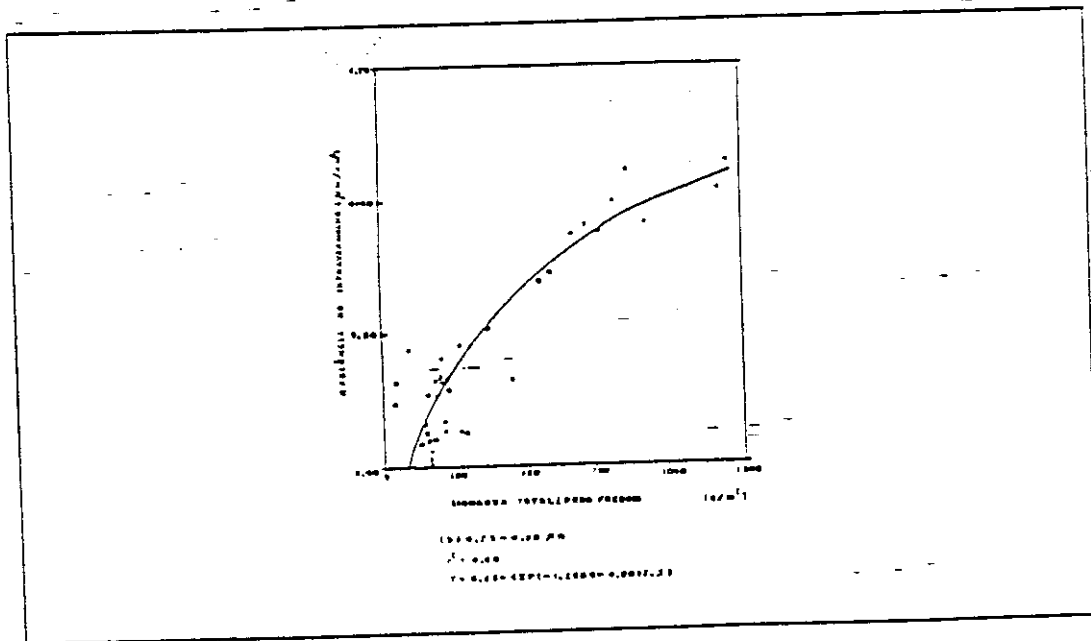


Fig. 2.6 - Relação da radiância no infravermelho próximo com a fitomassa total.

Fonte: Tucker (1979b), p. 131.

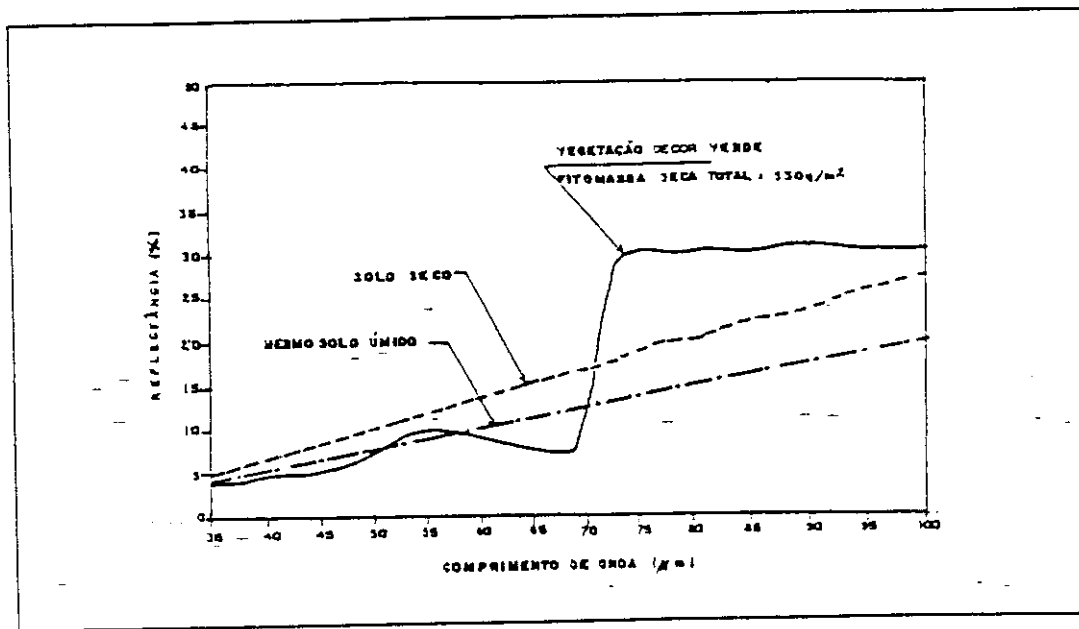


Fig. 2.7 - Curvas espectrais para solo seco, solo úmido e vegetação verde.

Fonte: Tucker (1979b), p. 130.

Considerando ainda o trabalho de Coiwell (1974a), foram apresentados alguns aspectos negativos ao uso das bandas do vermelho e infravermelho e da razão infravermelho/vermelho para quantificação de fitomassa. Os principais são a influência do solo na consideração das bandas isoladas e da sombra quando se trata da razão.

Com base nos entendimentos anteriores, podemos abordar alguns modelos desenvolvidos para a estimativa de fitomassa denominados Índices de Vegetação (IVs). Tais índices consistem em modelos numéricos indicativos da densidade da vegetação por área que, nas regiões de vermelho e infravermelho próximo, utilizam razões e combinações das respostas espectrais dos alvos para melhor estimar a fitomassa aérea.

Jordan (1969), trabalhando em Porto Rico, fez o primeiro relato do uso do método de razão do infravermelho próximo e vermelho para obtenção de valores de fitomassa em floresta tropical úmida. Apresentou esse método para medir

principalmente o índice de área foliar, tendo concluído que apesar de algumas limitações, não maiores que a de outros métodos, o procedimento para sua utilização é relativamente ágil. Constatou ainda que o método aplica-se à mensuração de biomassa sem, contudo, apresentar valores quantitativos.

Para estimar a fitomassa de gramíneas, Pearson e Miller (1972), utilizando dados de radiometria, sugeriram o Índice de Vegetação Razão Simples (R), como resultante da relação entre resposta espectral no infravermelho próximo e resposta espectral no vermelho.

Utilizando o mesmo método, Ellis e Dick (1986) estudaram a fitomassa verde em diferentes formações vegetais no nordeste do Quênia/África, a partir das bandas 7 e 5 do sensor MSS, a fim de testar a metodologia para produzir um mapa com definição dos limites entre os tipos de vegetação daquela região.

Ihse e Rosén (1985), correlacionando dados de Razão Simples com valores de fitomassa verde de gramíneas e determinando equações de regressão nas ilhas de Oland/Suécia, investigaram a dominância de comunidades de plantas. Pode ser feita uma boa estimativa da média de fitomassa verde durante a fase de crescimento.

O uso do método Diferença Normalizada (NDVI), para monitoramento da vegetação, foi apresentado por Rouse et al. (1973), pelo qual o NDVI é resultante da diferença entre infravermelho próximo e o vermelho e da adição do infravermelho próximo e do vermelho.

Os estudos conduzidos por Gallo e Daughtry (1987) com variáveis agronômicas, nos Estados Unidos, mediante correlação dos dados dos sensores MSS e TM simulados, AVHRR e HRV demonstraram uma grande variação nos índices Razão Simples e Diferença Normalizada para os dados obtidos por satélite em relação às observações do solo. Foi constatada maior variabilidade no índice de Razão Simples

entre os quatro sensores durante o estágio médio do crescimento da cultura, quando havia maior quantidade de vegetação verde.

Uma variação do NDVI foi proposta por Deering et al. (1975) por meio da adição do valor 0,5 à equação do NDVI e da extração da raiz quadrada do resultado, definindo a Razão Normalizada e Transformada (TVI). O estudo, realizado no Texas/EUA, utilizou dados de reflectância espectral do MSS, bandas 7 e 5 para o TVI ou bandas 6 e 5 para o TVI6. Harlan et al. (1979) deram continuidade a estas investigações, concluindo que a técnica é aplicável na determinação de fitomassa de campinas do Oeste dos Estados Unidos.

Fazendo uso do TVI, Santos (1988b) realizou cálculo da fitomassa foliar verde do cerrado "stricto sensu". Embora tenha constatado um melhor desempenho do índice TVI4,3, recomenda a utilização de índices de formulação mais simples dada a similaridade entre esses modelos numéricos.

Mediante a aplicação dos índices R e TVI, Santos (1988a), com dados TM, verificou uma melhor correlação da banda TM3 com valores de fitomassa foliar e um ajuste satisfatório do índice R5,3 em modelos linear e exponencial para estimar a fitomassa foliar verde. Para a quantificação da fitomassa foliar seca, o índice TVI4,3 forneceu melhor ajuste nos modelos linear e exponencial.

No caso dos índices R e TVI, utilizando o sensor MSS, pode-se substituir os valores do canal 7 por valores do canal 6 (Deering et al., 1975; Harlan et al., 1979; Sá, 1988; Seevers et al., 1975).

Caloz et al. (1986) elaboraram metodologia propondo a utilização de dados radiométricos não calibrados para obtenção do Normalized Perpendicular Vegetation Indices (NPVI) e, subseqüentemente, do Vegetation Change Index (VCI).



Uma série de outros índices, bem como variações dos já apresentados, são identificados na literatura e referenciados por Bariou et al. (1985).

Epiphanyo (1988), estudando culturas de trigo e feijão no estado de São Paulo, testou diversos índices de razão entre bandas para verificar suas potencialidades na diferenciação de culturas. Embora não utilize tipologias florestais, o trabalho deve ser considerado pois o autor observou que a utilização de bandas simples era mais adequada para diferenciação, além do que não verificou vantagem no uso da reflectância comparativamente aos valores de nível de cinza nas razões entre bandas.

As amplas possibilidades de aplicação de modelos numéricos para quantificação de fitomassa aérea de "savanas" foram salientadas por Santos (1988a). No estudo do mesmo tipo de vegetação, Valeriano e Pereira (1988), fazendo uso de regiões do espectro eletromagnético (0,4 a 1,05  $\mu\text{m}$ ), encontraram indícios contrários à utilização de bandas da faixa do vermelho para quantificação de fitomassa aérea. Recomendaram como mais apropriado o uso de bandas na faixa do azul devido à interferência da reflectância do solo.

Sader et al. (1989) aplicaram o NDVI, a partir de dados TM, para análise da relação de fitomassa de floresta tropical em Porto Rico e classe de idade sucessional. Com base nesta investigação foi possível tecer algumas considerações limitantes ao uso do NDVI em florestas tropicais úmidas. Os principais problemas levantados foram relativos à variação do relevo, presença de sombra, heterogeneidade e idade sucessional da floresta.

As restrições ao uso de índices de vegetação para estimação da fitomassa verde de floresta tropical dão ensejo à utilização de outros métodos, entre eles a Análise de Mistura Espectral.

### 2.3.2 - ANÁLISE DE MISTURA ESPECTRAL

Uma imagem obtida por técnicas de sensoriamento remoto é composta espacialmente por elementos de cena discretos, os "pixels", e são radiometricamente estimados em níveis de cinza. Na superfície da Terra, a energia espectral refletida ou emitida, que formará um pixel, é proveniente de uma área delimitada pelo "Instantaneous Field of View" (IFOV).

Aguiar (1989) demonstra que a radiância detectada por um sensor é a soma ou mistura da radiância de todos os objetos presentes em um pixel.

A classificação automática de uma imagem baseia-se na diferenciação da resposta espectral dos diversos objetos presentes na cena. Como o sinal de um pixel é, na maioria dos casos, uma mistura de respostas, não é possível a realização de uma classificação precisa.

Shimabukuro (1987), para o estudo de cobertura florestal, considera importante o componente sombra na resposta espectral de um pixel mistura, tendo desenvolvido uma metodologia de quantificação deste contribuinte na forma de um canal adicional, visando aperfeiçoar o processo de classificação de áreas florestais. Este método vem sendo testado e ampliado por Aguiar (1989).

Aplicado ao uso da terra na Amazônia brasileira por Adams et al. (1990), esse método converteu uma imagem TM em quatro imagens frações de componentes: sombra, vegetação verde, madeira e solo. Comparado com os resultados obtidos pelo método NDVI, concluiu-se que este e outros índices de vegetação baseados em razão não foram adequados para medir a cobertura vegetal na área estudada, uma vez que eles utilizam a resposta apenas do material clorofilado. Já a Análise de Mistura Espectral pode empregar as seis bandas do TM, permitindo uma maior abrangência na avaliação da vegetação.

## CAPÍTULO 3

### MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - ÁREA DE ESTUDO

A área total a ser inundada para a formação do reservatório da UHE Porteira é estimada em 91.500 ha, correspondente à 1ª etapa do empreendimento: o represamento do rio Trombetas acima da foz do rio Mapuera. Deste total, delimitou-se uma área retangular de trabalho de aproximadamente 20.000 ha, próxima ao local de barramento - cachoeira Viramundo.

Essa área está localizada no Município de Oriximiná, Estado do Pará, limitada pelas seguintes coordenadas geográficas (Figura 3.1):

Latitude : 0° 30' S e 1° 03' S

Longitude : 56° 49' W e 57° 37' W

Dista, em linha reta, 400 km de Santarém; 150 km de Oriximiná e 80 km de Porto Trombetas.

Atualmente, o acesso a Cachoeira Porteira, denominação de toda a área de estudo, é realizado por dois meios: fluvial e aéreo.

O principal curso d'água existente na região é o rio Trombetas, afluente da margem esquerda do rio Amazonas, e seu principal tributário é o rio Cachorro. Os dois rios apresentam um grande número de corredeiras à montante do local da barragem.

A região é caracterizada por clima quente e úmido, com período chuvoso de dezembro a maio e período estival de junho a novembro. Os dados de precipitação, temperatura e umidade relativa, referentes ao período de 1982 a 1985, são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - DADOS METEOROLÓGICOS MÉDIOS DA ESTAÇÃO DA  
ELETRONORTE, EM CACHOEIRA PORTEIRA,  
NO PERÍODO DE 1982 A 1985

Mês	Precipitação mm	Umidade Relativa %	Temperatura	
			Máxima	Mínima
			°C	
Janeiro	236	98	36,3	23,3
Fevereiro	206	96	34,0	22,4
Março	317	98	33,4	23,1
Abril	322	99	32,9	22,1
Maio	295	97	32,4	22,2
Junho	94	97	30,0	24,5
Julho	135	98	33,1	24,7
Agosto	84	99	33,6	22,4
Setembro	109	99	34,8	22,1
Outubro	132	98	34,9	22,4
Novembro	94	98	34,7	22,7
Dezembro	274	97	33,1	22,5
Anual	2298	98	33,6	22,8

Os dados de precipitação no período de 1986 a 1988 são apresentados no Apêndice A.

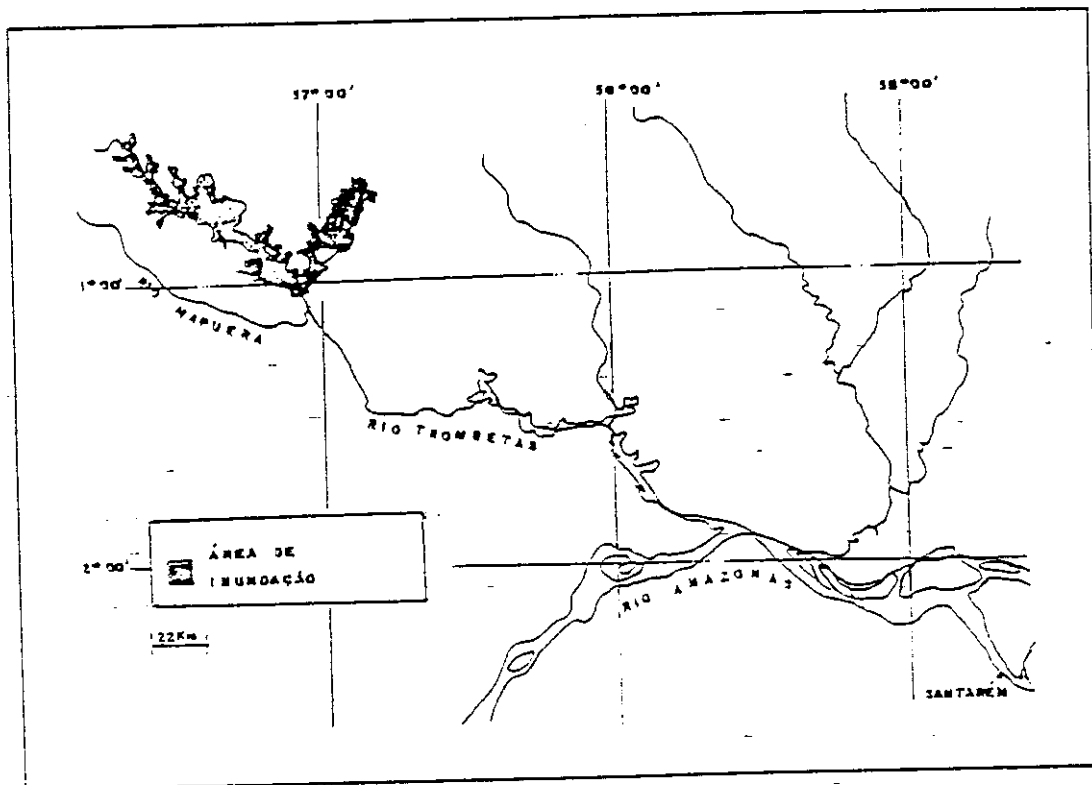


Fig. 3.1 - Localização da UHE Porteira.

O solo predominante da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, distrófico moderado, de textura muito argilosa é originário de rochas da formação Iricoumé do Pré-Cambriano.

A cobertura florestal presente na área é bastante diversificada, estando relacionada com a alta variabilidade do relevo, o tipo de solo e a drenagem. A partir disso, foram consideradas as tipologias florestais que apresentaram o maior grau de participação na área de inundação (96,9% da área). A presença de outras tipologias foi inexpressiva (3,1% da área).

A seguir, é apresentada uma caracterização suscinta (INPA, 1986) das tipologias tratadas neste trabalho:

a) Floresta Densa de Terra Firme

Corresponde a uma única formação florestal que ocupa cerca de 92,5% do total da área de inundação. De acordo com o relevo apresentado, tem-se as tipologias em relevo plano, ondulado e acidentado (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - TIPOLOGIAS PRESENTES NA FORMAÇÃO FLORESTA Densa DE TERRA FIRME

Tipologia	Relevo	% da Área do Reservatório
Floresta Densa de Terra Firme	Plano	52,4
Floresta Densa de Terra Firme	Ondulado	38,5
Floresta Densa de Terra Firme	Acidentado	1,6

Excluiu-se do estudo a Floresta Densa de Relevo Acidentado por ter pouca representatividade na área. Segue-se a descrição dos outros dois tipos:

- Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Plano

A característica mais marcante neste grupamento está representada pela uniformidade do dossel. Pequenas modificações nesta uniformidade podem ocorrer, principalmente pelo surgimento de clareiras ocasionadas pela morte das árvores de maior porte, pela presença de afloramentos de rochas, por áreas com solos mal drenados ou por outros fatores.

De uma forma geral, a fisionomia desta floresta é caracterizada pela presença de árvores com fustes retos. As copas são amplas com forma específica globosa, verificando-se uma reduzida incidência de epífitas, assim como de lianas. A altura média dos indivíduos oscila entre 25 e 30m, evidenciando de maneira esparsa as árvores emergentes.

#### - Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Ondulado

Esta comunidade caracteriza-se pela presença de ondulações pouco acentuadas que lhe conferem uma aparência de ondulações contínuas. O relevo reflete-se claramente no dossel manifestando-se de forma semelhante. Estruturalmente, difere muito da anterior, mas em termos de fisionomia difere pouco, principalmente pela presença de um número maior de pequenas palmeiras no sub-bosque.

O acúmulo de litter (serrapilheira) é maior nas encostas das colinas e menor nos platôs. Entretanto, as encostas apresentam uma condição de drenagem melhor quando comparadas com a comunidade descrita anteriormente.

#### b) Mata de Baixo

Esta tipologia representa 4,4% da área de inundação. É comum em áreas baixas, não alagáveis (margens de rio e/ou ilhas), relevo plano ou pouco ondulado e solo argiloso. Apresenta também, como uma característica marcante, uma camada de litter abundante.

De um modo geral, possui fisionomia complexa, sendo difícil a diferenciação dos estratos ou das camadas formadoras de sua estrutura. O sub-bosque é denso e constituído por pequenas palmeiras e plantas herbáceas. A camada seguinte é constituída por árvores e palmeiras de 10 a 12m de altura. O estrato superior é constituído por árvores que variam de 12 a 30m de altura, tendo características próprias para a tipologia vegetal descrita, isto é, fuste curto e galhagem baixa e ampla.

### 3.2 - SATÉLITES UTILIZADOS

Em função do tipo, da escala dos dados e da forma como estes serão trabalhados, optou-se pela utilização de produtos provenientes dos satélites LANDSAT e SPOT.

#### 3.2.1 - SISTEMA LANDSAT

O programa LANDSAT teve início efetivamente em 1972 com o lançamento do primeiro satélite da série, originalmente chamado Earth Resources Technology Satellite (ERTS), pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), nos Estados Unidos.

Em 01 de março de 1984 a NASA lançou o satélite LANDSAT 5, tendo à bordo os sensores Multispectral Scanner (MSS) e Thematic Mapper (TM).

O TM e o MSS são sensores que possuem sistemas de varredura multiespectrais que funcionam de maneira bastante similar. Ambos funcionam com sistemas de espelhos que promovem o imageamento do terreno na direção perpendicular à trajetória do satélite, enquanto o imageamento na direção da trajetória é produzido pelo movimento do satélite em órbita da Terra.

A tecnologia adquirida com a utilização do MSS, que integrava o ERTS, foi aplicada para melhorar as características do TM. A configuração do TM permitiu avanços em vários atributos do sensor em comparação ao MSS como, por exemplo, a capacidade de adquirir dados em sete bandas espectrais. Quatro dessas bandas estão localizadas em porções do espectro eletromagnético não abrangidas pelo MSS. A localização e a largura das sete bandas foram escolhidas por serem sensíveis a certos fenômenos naturais e por minimizarem a atenuação da energia superficial pela água atmosférica (Epiphanió, 1988) (Tabela 3.3).



Tabela 3.3 - BANDAS TM-LANDSAT 5 E SUAS APLICAÇÕES POTENCIAIS

Banda	Intervalo Espectral	Aplicações Potenciais
1	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$	Mapeamento de superfície de água e análise de materiais em suspensão. Diferenciação solo/vegetação. Sensibilidade à concentração de carotenos e clorofila.
2	0,52 - 0,60 $\mu\text{m}$	Mapeamento de vegetação sadia.
3	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$	Diferenciação de espécies vegetais.
4	0,76 - 0,90 $\mu\text{m}$	Estudos de volume da biomassa e delimitação de corpos d'água.
5	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$	Deteção de estresse hídrico em vegetação.
6	10,40 - 12,50 $\mu\text{m}$	Deteção das propriedades termais dos solos.
7	2,08 - 2,35 $\mu\text{m}$	Identificação de minerais com íons hidroxilas.

Fonte: Epiphany (1988), p. 21.

O aperfeiçoamento da resolução espacial consistiu outro grande avanço para o sensor TM. Seu campo de visada instantâneo (IFOV) passou a ser de 30m x 30m para as seis bandas refletidas (bandas TM1 a TM5 e TM7) e de 120m x 120m para a banda termal (banda TM6). O MSS possuía uma resolução de aproximadamente 80m x 80m em todas as bandas.

O LANDSAT 5 apresenta as seguintes características orbitais: órbita quase-polar, repetitiva, circular, síncrona com o Sol, a uma altitude de 705 km e ângulo de inclinação de  $98,2^\circ$  em relação ao equador terrestre. O satélite cruza o equador aproximadamente às 9:45 a.m. (hora local) durante a parte descendente (norte para sul) de cada órbita de 99 minutos de duração, sendo realizadas 14,5 órbitas por dia. Devido à rotação da terra, a distância entre as faixas de imageamento referentes a duas órbitas consecutivas é de 2.752 km no equador.

A configuração orbital cria um ciclo de repetição de 16 dias. A altitude, dispositivos ópticos e ângulo de varredura de  $15,4^\circ$  do TM permitem ao instrumento uma visada de 185 km no terreno ao longo da faixa de imageamento.

No Brasil, a recepção, gravação e processamento dos dados do LANDSAT 5 estão sob responsabilidade do INPE na estação de recepção em Cuiabá-MT e no laboratório de processamento em Cachoeira Paulista-SP.

### 3.2.2 - SISTEMA SPOT

Outro sistema comercial de sensoriamento remoto é o programa francês Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT), desenvolvido pelo Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). Operacional desde 1986, o SPOT 1 conduz dois sensores denominados Haute Resolution Visible (HRV) aptos a coletar dados numa resolução espacial de 20m em três faixas do espectro, duas na região do visível e uma na região do infravermelho próximo. Dispõe de resolução de 10m em uma única faixa espectral que se estende do visível ao infravermelho próximo (Chevreil et al., 1981).

Sem grandes alterações em relação ao anterior, mas buscando assegurar a continuidade do programa, foi lançado em janeiro de 1990 o satélite SPOT 2.

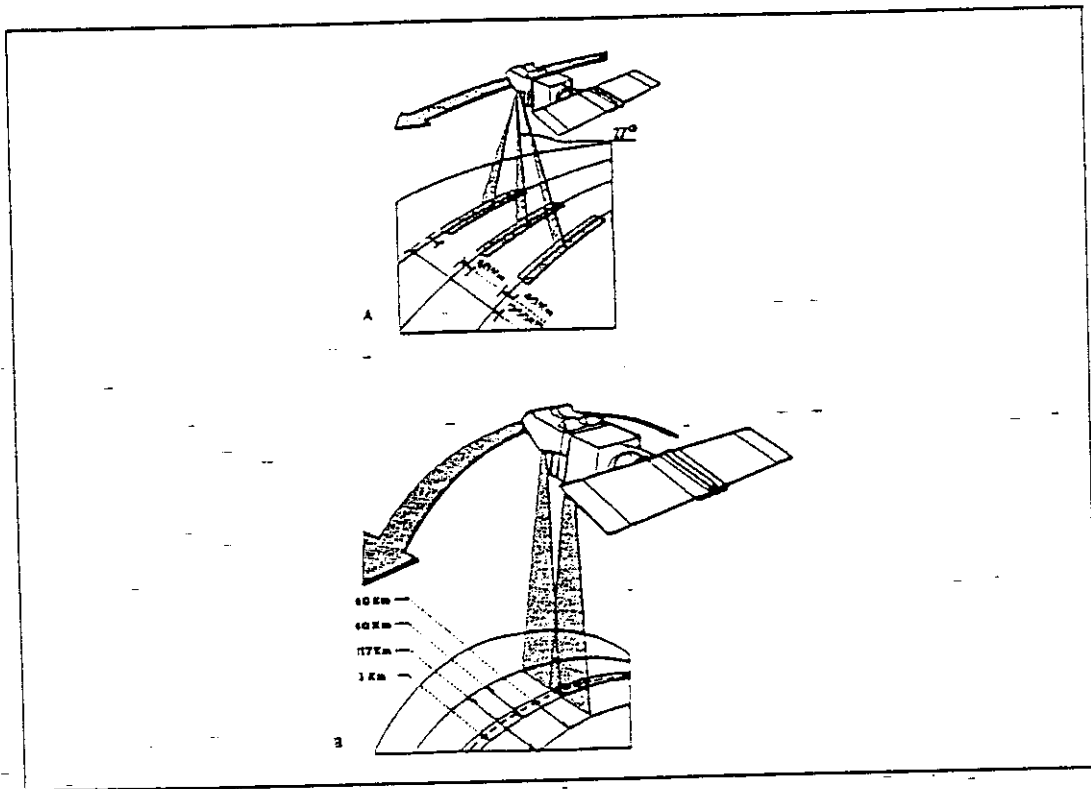


Fig. 3.2 - Sistema SPOT.

-Fonte: Brachet e Maclure (1987), p. 240.

Diferentemente de outros satélites, o SPOT tem a peculiaridade de possibilitar a mudança da direção de observação dos sensores até  $\pm 27^\circ$  da vertical do satélite com relação ao plano de órbita (Figura 3.2a). Isto permite uma boa repetição das observações, em uma faixa de até 950 km de largura, e uma visão estereoscópica. Na visada vertical, a faixa de imageamento é de 117 km (Figura 3.2b).

O SPOT possui órbita circular heliossíncrona, a uma altitude de 832 km do equador, com inclinação de  $98,7^\circ$ . Efetuando  $14 + 5/26$  revoluções por dia, executa a cobertura completa da terra em um ciclo de 26 dias.

Também para este satélite, o INPE é responsável pela recepção, gravação e processamento dos dados. Vale salientar que, em função da existência de uma única antena de recepção em Cuiabá-MT, a prioridade é dada ao satélite LANDSAT.

### 3.3 - MATERIAL UTILIZADO

#### 3.3.1 - DADOS TM-LANDSAT 5

Foram utilizados dados digitais, contidos em fitas compatíveis com computador (CCT), provenientes do sensor TM-LANDSAT 5, nas bandas espectrais TM3 (0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$ ), TM4 (0,76 a 0,90  $\mu\text{m}$ ) e TM5 (1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$ ), na passagem de 15/08/87, de órbita ponto WRS 229/61 (Figura 3.3).

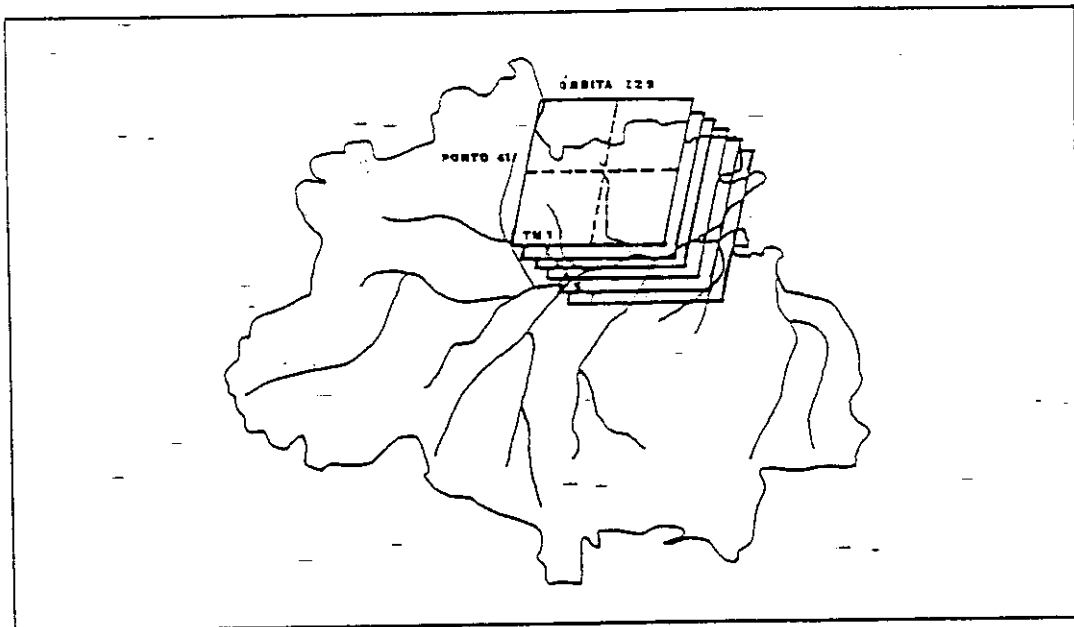


Fig. 3.3 - Localização da região de estudo com as bandas do TM.

A seleção das bandas para obtenção de respostas espectrais a serem correlacionados aos dados de fitomassa aérea verde foi baseada na literatura existente. Uma abordagem detalhada é apresentada por Tucker (1978).

A posição das bandas do TM no espectro e o respectivo comportamento da vegetação, solo e água são apresentados na Figura 3.4.

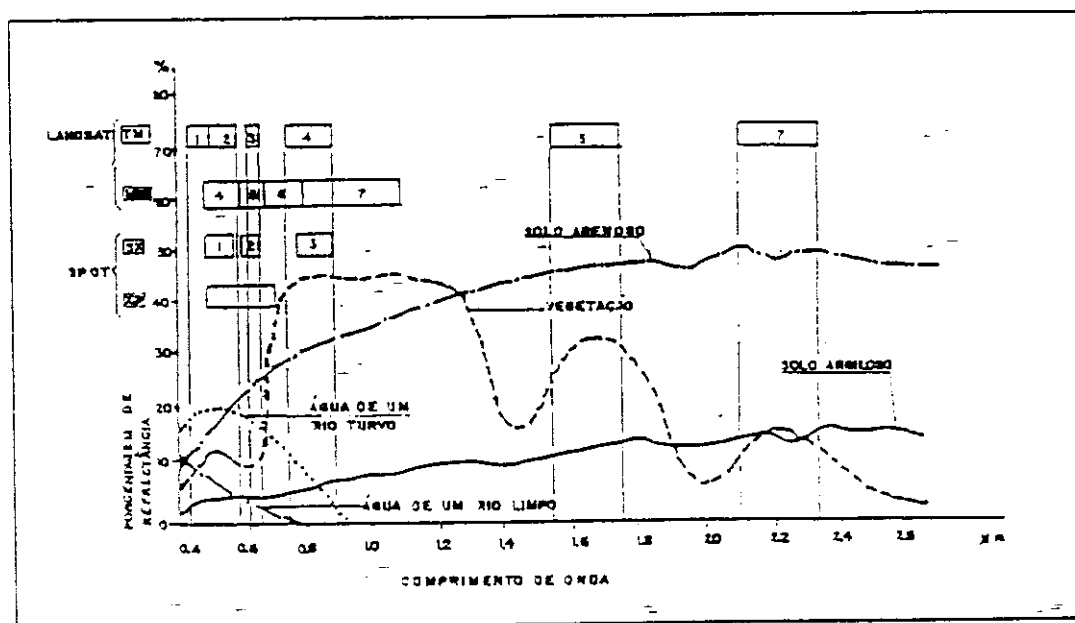


Fig. 3.4 - Posição das bandas do TM e HRV no espectro e comportamento de vegetação, solo e água.

Fonte: Santos (1988a), p. 59.

### 3.3.2 - DADOS HRV-SPOT 1

Também foram utilizados dados digitais contidos em fitas CCT, obtidos pelo sensor HRV-SPOT 1, no modo multiespectral, nas bandas HRV1 (0,50 a 0,59 $\mu\text{m}$ ), HRV2 (0,61 a 0,68 $\mu\text{m}$ ) e HRV3 (0,79 a 0,89 $\mu\text{m}$ ), na passagem de 26/08/88, de órbita ponto-KJ 684/352 (Figura 3.5).

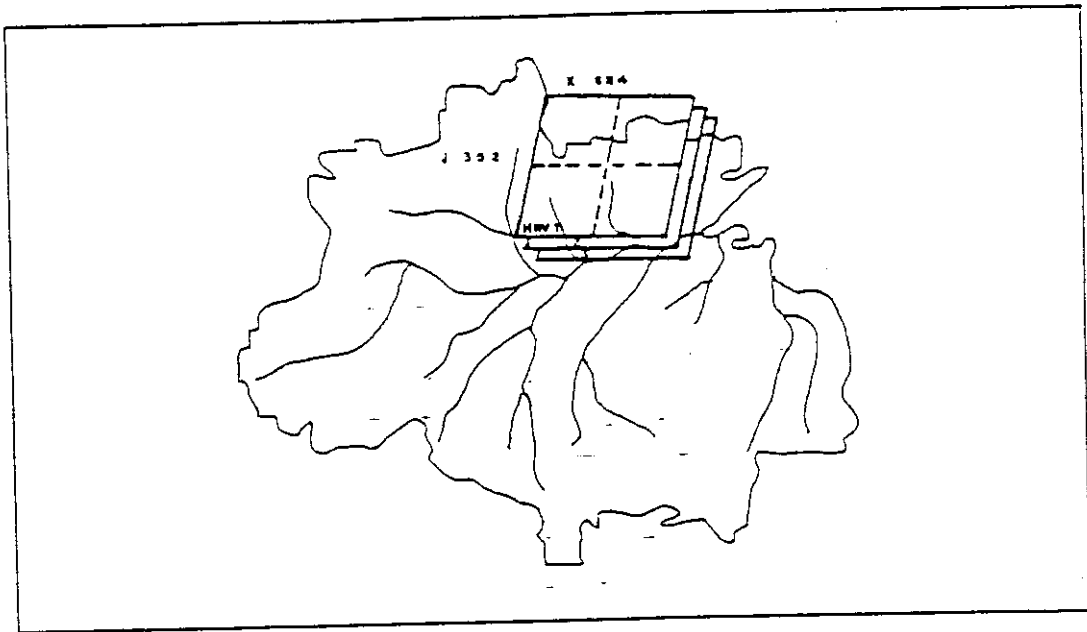


Fig. 3.5 - Localização da região de estudo com as bandas do HRV.

As bandas HRV1, HRV2 e HRV3 são semelhantes às bandas TM2, TM3 e TM4 para respostas espectrais da vegetação (Chevreil, 1981; Tucker, 1978).

O comportamento espectral da vegetação, solo e água com o sensor HRV-SPOT 1 é apresentado na Figura 3.4.

### 3.3.3 - CARTAS TOPOGRÁFICAS E DE VEGETAÇÃO

Fez-se uso de carta topográfica elaborada pela empresa Enge-Rio, na escala de 1:25.000 apresentando as cotas do terreno de 5m em 5m, a rede hidrográfica e a rede viária, e carta de vegetação elaborada pelo Instituto de Pesquisas da Amazônia - INPA, na escala de 1:100.000 com distinção de quatro tipologias florestais: Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Plano, Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Ondulado, Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Acidentado e Floresta de Baixo.

### 3.3.4 - MATERIAL COMPLEMENTAR E EQUIPAMENTO

Adicionalmente, para a condução deste estudo, foram utilizados diversos materiais e equipamentos na fase de campo e escritório.

Na quantificação de fitomassa aérea utilizou-se motosserra, terçado, balança de campo, trena, balança de precisão e estufa.

Como informação auxiliar foram empregadas fotografias aéreas na escala de 1:40.000, de 1981, obtidas pela AERODATA.

Na fase de processamento dos dados orbitais, de campo e elaboração de textos, fez-se uso do Sistema Interativo de Tratamento de Imagens (SITIM), do Sistema Geográfico de Informações (SGI), dos softwares LOTUS e SAEG, dos editores WORD e WP e de um microcomputador PC.

O SITIM é um sistema destinado à extração de informações a partir de dados de sensoriamento remoto, obtidos principalmente por satélite. Esta aquisição de informações pode se dar de forma qualitativa, através da observação de imagens realçadas pelo sistema, ou de forma quantitativa, através da utilização de procedimentos de classificação automática, cujas saídas são imagens temáticas e tabelas de área associadas a cada classe discriminada na imagem (Ribeiro et al., 1982).

Como sistema complementar ao SITIM, tem-se o SGI, um gerenciador de bancos de dados geográficos que permite adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente.

### 3.4 - MÉTODOS UTILIZADOS

#### 3.4.1 - SELEÇÃO DE UNIDADES AMOSTRAIS

A seleção e distribuição das unidades amostrais no campo, primeira atividade da seqüência metodológica adotada (Figura 3.6), procurou abranger as variações fisiográficas apresentadas na área de estudo, levando-se em consideração os inventários florestais já realizados pelo INPA e pela Jaakko Pöyry Engenharia (JPE) (INPA, 1988; JPE, 1985) e conhecimentos in situ.

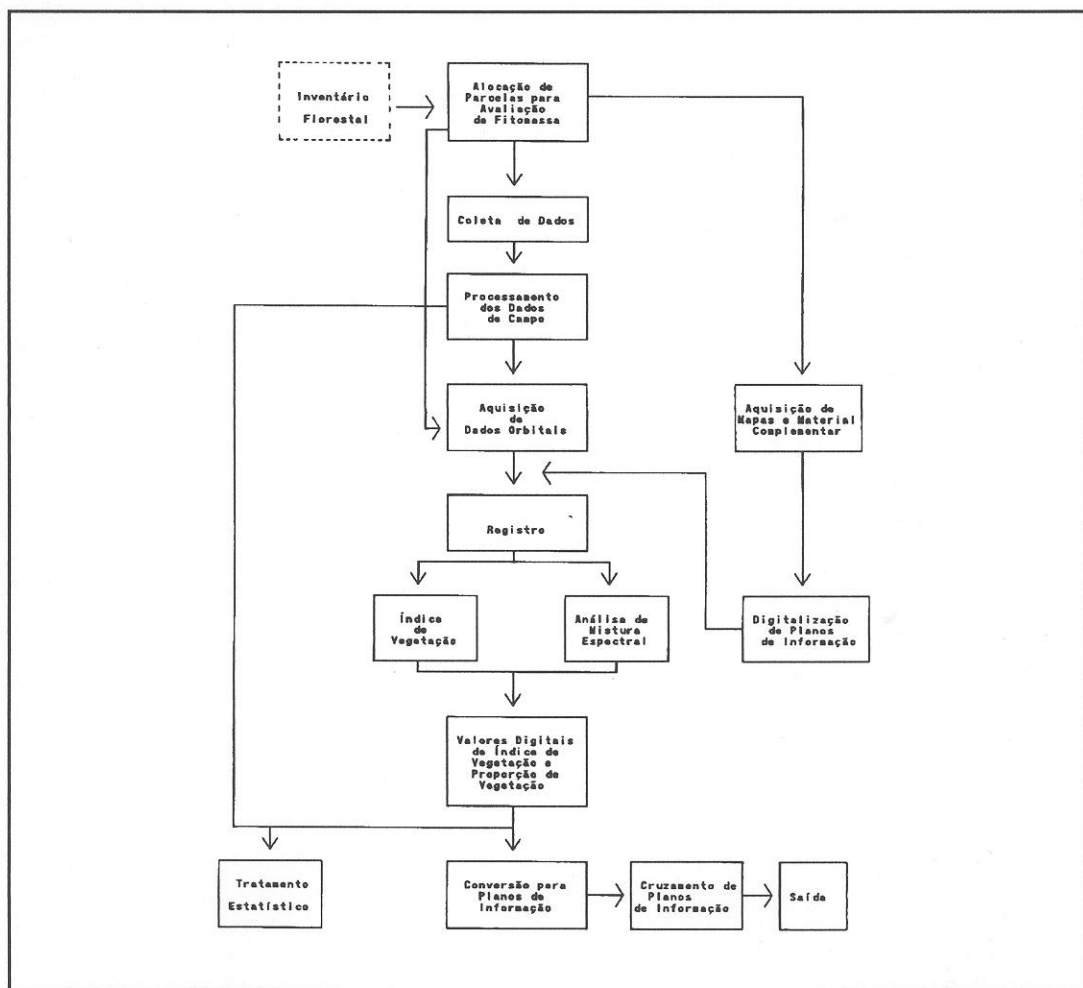


Fig. 3.6 - Fluxograma de atividades.



Utilizou-se principalmente o inventário realizado pela JPE em 1985, com o objetivo de estimar o potencial madeireiro existente na área de inundação da UHE Porteira. Neste trabalho foram encontradas 225 espécies conhecidas regionalmente e identificadas cientificamente. Em 90 pontos amostrais de 1,0 ha, distribuídos aleatoriamente em toda a área inventariada, coletou-se o nome regional de todas as árvores com Diâmetro à Altura do Peito (DAP) (1,30cm do solo) acima de 7cm, o DAP e a altura do fuste. Em função da metodologia teve-se a amostragem das árvores com DAP de 7- 15cm em 10,8 ha, das árvores com DAP acima de 15cm de DAP em 45,0 ha e de árvores com DAP acima de 30cm em 90,0 ha. Pode-se assim fazer algumas considerações sobre o volume (m<sup>3</sup> sólido com casca) e frequência das árvores por hectare (Tabelas 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7).

Tabela 3.4 - DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DO VOLUME/HA POR CLASSE DE DAP

Classe de DAP cm	Volume m <sup>3</sup> scc/ha	Participação %
7 - 15	25,6	10,8
15 - 20	15,1	6,4
20 - 30	47,1	17,8
30 - 40	36,6	15,5
40 - 50	34,7	14,7
50 - 60	25,9	11,0
60 - 70	17,6	7,4
70 - 80	11,9	5,0
80 - 90	6,5	2,7
90 - 100	7,2	3,1
> 100	13,2	5,6
-Total	236,4	100,0

Fonte: JPE (1985), p. 23.

Tabela 3.5 - ESPÉCIES COM VOLUME DE MADEIRA SUPERIOR A 3M<sup>3</sup>  
SCC/HA

Espécie	Volume m <sup>3</sup> scc/ha
Matá matá branco ( <i>Eschweilera coora</i> )	11,7
Matá matá vermelho ( <i>Eschweilera amara</i> )	8,4
Caripé ( <i>Parinari spp</i> , <i>Licania spp</i> )	6,8
Ingá ( <i>Inga spp</i> )	6,6
Rosadinha ( <i>Micropholis spp</i> )	5,8
Abiurana vermelha ( <i>Pouteria spp</i> )	5,6
Cuiarana ( <i>Bouchenavia spp</i> )	5,4
Jutairana ( <i>Cynametra spp</i> )	5,0
Melancieira ( <i>Alexa grandiflora</i> )	4,9
Apá ( <i>Eperua falcata</i> )	4,2
Abiurana ( <i>Pouteria spp</i> , <i>Micropholis spp</i> )	3,9
Breu branco ( <i>Protium spp</i> )	3,8
Breu preto ( <i>Protium spp</i> )	3,8
Jutai pororoca ( <i>Dialium guianensis</i> )	3,7
Matá matá ci ( <i>Eschweilera spp</i> )	3,6
Tauari ( <i>Couratari spp</i> )	3,4
Cupiuba ( <i>Goupia glabra</i> )	3,3

Fonte: JPE (1985), p. 23.

Tabela 3.6 - DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA FREQUÊNCIA/HA POR CLASSE DE DAP

Classe de DAP cm	Frequência arv//ha	Participação %
7 - 15	355,0	60,2
15 - 20	70,0	11,9
20 - 30	90,9	15,4
30 - 40	35,7	6,1
40 - 50	19,5	3,3
50 - 60	9,4	1,6
60 - 70	4,4	0,7
70 - 80	2,2	0,4
80 - 90	0,9	0,2
90 - 100	0,8	0,1
> 100	0,9	0,1
Total	589,7	100,0

Fonte: JPE (1985), p. 24.

Tabela 3.7 - ESPÉCIES COM FREQUÊNCIA SUPERIOR A 10 ÁRVORES/HA

Espécie	Frequência árv/ha
Ingá ( <i>Inga</i> spp)	30,4
Breu branco ( <i>Protium</i> spp)	29,7
Caripé ( <i>Parinari</i> spp, <i>Licania</i> spp)	26,4
Matá matá branco ( <i>Eschweilera coora</i> )	26,0
Pitombarana ( <i>Talisia</i> spp)	21,6
Aquariquarana ( <i>Rinorea guianensis</i> )	17,8
Matá matá vermelho ( <i>Eschweilera amara</i> )	16,0
Rosadinha ( <i>Micropholis</i> spp)	14,8
Jenipaporana ( <i>Gustavia augusta</i> )	13,0
Macucu ( <i>Licania</i> spp)	13,0
Abiurana vermelha ( <i>Pouteria</i> spp)	12,4
Envira preta ( <i>Gutteria</i> spp)	11,5
Abiurana ( <i>Pouteria</i> spp, <i>Micropholis</i> spp)	11,4
Apá ( <i>Eperua falcata</i> )	10,1

Fonte: JPE (1985), p. 25.

Dessa forma, a partir do conhecimento das tipologias que seriam consideradas no estudo, ficou estabelecido que, no caso específico da tipologia Floresta Densa de Terra Firme, esta teria subdivisão de acordo com o relevo apresentado (relevo plano e ondulado). A tipologia Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Acidentado, bem como outras de menor presença na área não foram consideradas, exatamente pelas suas baixas representatividades. A outra tipologia amostrada no estudo foi a Floresta de Baixo. Ao todo foram amostradas quatro parcelas sendo duas de Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Ondulado (parcelas 1 e 4), uma de Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Plano (parcela 2) e uma de Floresta de Baixo (parcela 3).

As instalações das parcelas no campo obedeceram a seguinte seqüência metodológica:

- a) localização preliminar dos possíveis pontos de coleta de dados, com base em inventários florestais realizados pelo INPA e pela JPE, em imagens LANDSAT e em fotografias aéreas;
- b) checagem de campo, para confirmação da verdade terrestre e definição dos locais de amostragem;
- c) instalação das parcelas no campo, procurando seguir o sentido perpendicular ao eixo (leito) do rio, com tamanho de 20m x 500m na tipologia Floresta Densa e 20m x 100m na tipologia Floresta de Baixo;
- d) distanciamento do início da amostragem para a margem do rio variando de 100 a 200m, de acordo com a tipologia florestal avaliada;
- e) abertura de picada e consecutivo piqueteamento de 20 em 20m para locação alternada das subparcelas, uma com 10m de largura do lado direito da picada, a seguinte do lado esquerdo e assim sucessivamente.

A localização das unidades amostrais (parcelas) está apresentada no

Apêndice B.

### 3.4.2 - COLETA DE DADOS DE CAMPO

Para a coleta dos dados de fitomassa aérea na área de inundação da UHE Porteira, foram realizadas três viagens ao campo. Em julho de 1986, engenheiros da JPE testaram preliminarmente a sistemática de coleta de dados e treinaram os engenheiros da consultora Enge-Rio. Nos períodos de novembro/dezembro de 1987 e março/maio de 1988, os engenheiros da Enge-Rio coletaram os dados utilizados neste estudo.

Na primeira campanha, desenvolvida na época de menor índice pluviométrico (período seco), efetuaram-se as amostragens nas tipologias florestais mais representativas dessa região, estando assim discriminadas: Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Ondulado, Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Plano e Floresta de Baixio. Dessa forma, segundo o levantamento do INPA, a abrangência desse estudo alcança cerca de 95,3% de toda a área envolvida no projeto, considerando que, desse total, 92,5% é representado pela Floresta Densa.

Para a segunda campanha, desenvolvida durante o período de chuvas, estava prevista a realização do mesmo número de parcelas amostradas na primeira campanha. Porém, devido a problemas logísticos, o levantamento ficou restrito a uma parcela instalada na tipologia Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Ondulado.

O método de amostragem utilizado foi o de alocação de parcelas no interior da floresta. Essas parcelas apresentaram, dependendo da tipologia analisada, uma dimensão com variação de 20m x 500m (1,0 ha) para a Floresta Densa de Terra Firme a 20m x 100m (0,2 ha) para a Floresta de Baixio.

Dentro de cada parcela adotou-se a formação de subparcelas de 20m x 20m (400 m<sup>2</sup>) amostrando-se, alternadamente, apenas a metade de cada subparcela, conforme pode ser observado na Figura 3.7.

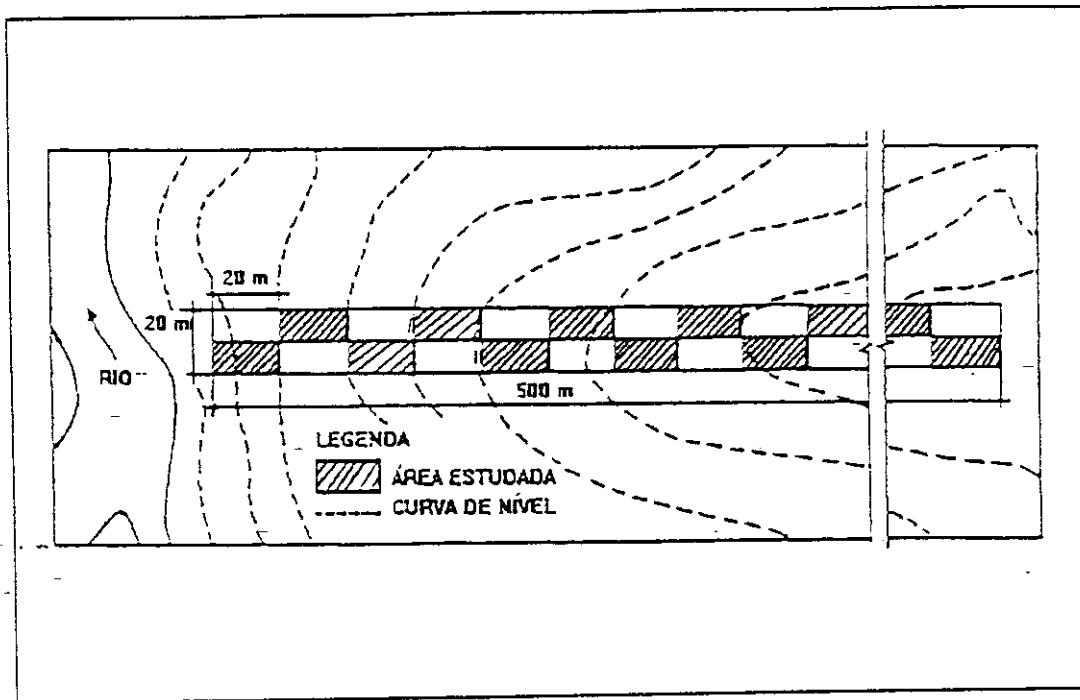


Fig. 3.7 - Croqui de uma parcela amostral.

Em cada tipologia estudada realizou-se uma avaliação da contribuição dos componentes estruturais (litter, fustes, galhos e folhas), em três diferentes estratos da floresta.

As operações de campo consistiram, portanto, na pesagem e posterior coleta de amostras individualizadas de material lenhoso e folhoso que foram enviadas ao laboratório para secagem.

Dessa forma, foram empregadas metodologias diferentes para o levantamento dos estratos inferior (litter), intermediário (arvoretas e palmeiras) e superior (árvores). A distinção dos estratos baseou-se unicamente nos aspectos metodológicos definidos para coleta dos dados. Não se considerou a controvérsia teórica relativa à existência de estratificação da vegetação em floresta tropical.

## a) Litter

A metodologia aplicada no levantamento para determinação da contribuição da fitomassa proveniente do litter constou inicialmente da distinção entre litter leve e litter pesado. Considerou-se como litter leve a camada de material degradativo que se encontrava sobre o solo da floresta, com exceção dos fustes em decomposição. Visando a auxiliar nessa distinção e definir o tamanho exato da parcela, houve necessidade de utilização de uma moldura de madeira com 1m x 1m (1 m<sup>2</sup>). Foram analisados cinco pontos distintos no interior de cada subparcela correspondente, sendo que todas as subparcelas foram amostradas (Figura 3.8).

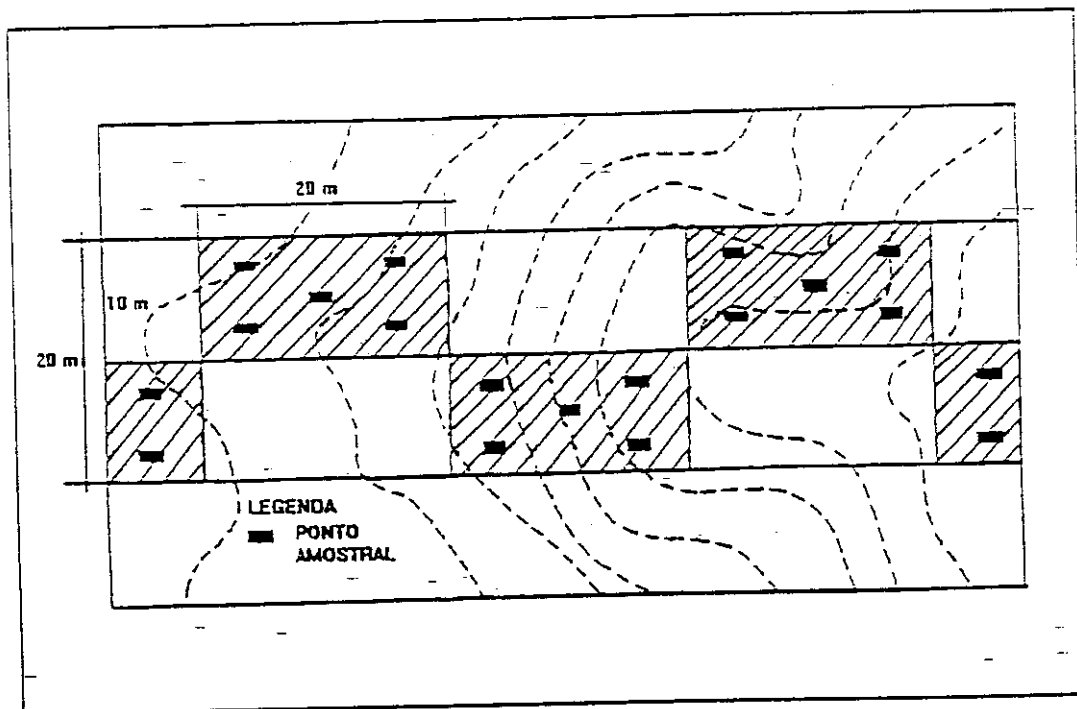


Fig. 3.8 - Esquema de amostragem de litter.



Em cada ponto amostrado, a própria moldura era utilizada como marco para delimitação da área, sendo de seu interior retirado todo o material vegetal vivo, assim como pedras e pequenos animais. A camada restante, o litter, recolhida com o auxílio de um ancinho em todos os pontos de coleta e acondicionada num saco plástico, era levada à balança de pesagem para obtenção do peso verde de campo ou peso úmido, cujo valor era registrado na ficha de campo (Figura C.1). Desse mesmo saco plástico retirava-se uma amostra representativa, que, após picada e colocada numa cápsula de alumínio devidamente vedada e etiquetada, era enviada ao laboratório de Cachoeira Porteira, onde efetuava-se pesagem da amostra para obtenção do peso verde em laboratório (Figura 3.9). O passo seguinte era a secagem em estufa (105 °C) para obtenção do peso seco (Figura 3.10).

A avaliação do litter pesado, denominação dada ao material de maior porte (fuste) em decomposição na floresta, foi realizada exclusivamente no interior das subparcelas que os apresentavam; isto é, no caso de haver um tronco caído no interior da subparcela, e se esse ultrapassasse os limites da área, a medição do comprimento do fuste se restringia ao total apresentado no interior da subparcela, sendo desprezadas as extremidades que porventura estivessem situadas fora da área. Conhecendo-se o comprimento do fuste, calculava-se o ponto mediano e a partir deste retirava-se uma seção de 0,5m, que era posteriormente pesada. Essa seqüência de atividades repetia-se sucessivamente até que todos os fustes que estivessem no interior de subparcelas fossem mensurados. O passo seguinte era o envio desse material para o laboratório em Cachoeira Porteira para obtenção do peso verde e peso seco.

#### b) Arvoretas e Palmeiras

A avaliação da contribuição da fitomassa das arvoretas e palmeiras foi realizada em todas as subparcelas amostradas no campo. Para a avaliação da fitomassa aérea de arvoretas, o parâmetro utilizado foi considerar, para esta classe específica, todos os indivíduos (arbóreos, herbáceos ou arbustivos) que apresentassem DAP menor que 7cm.



Fig. 3.9 - Pesagem de material verde em laboratório.

Para a avaliação do material proveniente das palmeiras, inventariaram-se todos os indivíduos das diversas classes diamétricas ocorrentes dentro de todas as subparcelas.



Fig. 3.10 - Secagem de material em estufa.

Para agilizar os trabalhos no campo, após o término da coleta do litter, dava-se início à derrubada das palmeiras, sendo imediatamente separados e pesados, com o auxílio de lonas plásticas de 2m x 2m os materiais folhoso e lenhoso (Figura 3.11).

Posteriormente, iniciava-se a marcação das arvoretas, as quais eram diferenciadas das árvores por apresentarem-se incluídas na faixa diamétrica inferior a 7cm. No caso das arvoretas, o valor apresentado pelo material lenhoso incluiu o peso dos fustes de todos os seus indivíduos somado ao peso dos galhos das diversas copas.

Os dados de campo referentes às diversas pesagens de peso verde, quer seja para as palmeiras ou para as arvoretas, foram registradas em uma única ficha de campo (Figura C.2).



Fig. 3.11 - Separação de material folhoso e lenhoso.

### c) Árvores

Para a complementação dos levantamentos de campo de fitomassa aérea na região de Cachoeira Porteira, foi realizada uma avaliação da contribuição da biomassa de todas as árvores, cujo DAP fosse maior que 7cm.

Nessa etapa dos trabalhos, contou-se com a participação de um mateiro para identificação no campo dos nomes vulgares das espécies. Após essa identificação, iniciava-se o processo de derrubada, durante o qual tomava-se o cuidado de evitar que a copa das árvores derrubadas destruísse as subparcelas seguintes, fazendo-se o direcionamento da queda das árvores durante o corte.

As pesagens dos materiais folhoso e lenhoso eram realizadas isoladamente para cada indivíduo inventariado. Desses indivíduos eram extraídas amostras dos respectivos materiais que, ao término de cada subparcela, eram misturados (de acordo com sua origem) e homogeneizados para extração de amostras representativas de material folhoso e lenhoso de todos os indivíduos para os trabalhos de laboratório.

Em ficha de campo própria, registravam-se todos os dados dendrométricos obtidos de cada indivíduo derrubado (Figura C.3).

A coleta do material folhoso proveniente da copa era realizada com o auxílio de uma lona plástica, sendo que este processo facilitava o próprio trabalho de desfolhamento e posterior pesagem. Próximo do local de desfolhamento, colocava-se outra lona onde depositavam-se os galhos que representariam o material lenhoso de cada indivíduo. Na ocorrência de galhos cuja dimensão dificultasse o trabalho de pesagem, executava-se um processo semelhante ao realizado para a determinação da fitomassa de fustes descrita a seguir. Os valores obtidos eram registrados em ficha de campo (Figura C.4).



Para a estimativa da contribuição da matéria lenhosa proveniente dos fustes com DAP maiores que 7cm, tomou-se como base os dados dendrométricos recolhidos no campo, aliados à distribuição volumétrica das espécies por hectare apresentado pelo inventário florestal realizado na região (JPE, 1985). Para obtenção do peso seco foi identificada na literatura a densidade básica das espécies na seguinte fórmula:

$$\text{Peso Seco} = \text{Volume do Fuste} \times \text{Densidade Básica} \quad (3.1)$$

A densidade básica é a relação entre a massa seca e o volume verde correspondente (Peso Seco/Volume Verde).

### 3.4.3 - PROCESSAMENTO DOS DADOS

#### 3.4.3.1 - DADOS DE CAMPO

O processamento dos dados obtidos no campo, aliado aos resultados de secagem em laboratório, demonstrou a contribuição de fitomassa aérea do litter, das arvoretas e palmeiras e das árvores em cada subparcela das quatro parcelas amostradas.

Os parâmetros considerados foram os seguintes:

- número da subparcela (X1);
- para o estrato superior - frequência das árvores ( $n^{\circ}$ ) (X2); peso verde das folhas (kg) (X3); peso seco das folhas (kg) (X4); peso verde dos galhos finos (kg) (X5); peso seco dos galhos finos (kg) (X6); peso seco dos galhos grossos (kg) (X7); circunferência do fuste a 1,30cm do solo (cm) (X8); altura comercial do fuste (m) (X9), altura total da árvore (m) (X10); volume do fuste ( $m^3$ ) (X11); peso seco do fuste (kg) (X12); e peso seco total das variáveis de fitomassa do estrato superior (kg) (X13);

- para o estrato intermediário - peso verde das folhas das arvoretas (kg) (X14); peso seco das folhas das arvoretas (kg) (X15); peso verde do lenho das arvoretas (kg) (X16); peso seco do lenho das arvoretas (kg) (X17); peso seco total das variáveis de fitomassa das arvoretas (kg) (X18); peso verde das folhas de palmeiras (kg) (X19); peso seco das folhas de palmeiras (kg) (X20); peso verde do "lenho" das palmeiras (kg) (X21); peso seco do "lenho" das palmeiras (kg) (X22); peso seco total das variáveis de fitomassa das palmeiras (kg) (X23); e peso seco total das variáveis de fitomassa do estrato intermediário (kg) (X24);
- para o estrato inferior - peso verde do litter leve (kg) (X25); peso seco do litter leve (kg) (X26); peso verde do litter pesado (kg) (X27); peso seco do litter pesado (kg) (X28); e peso seco total das variáveis de fitomassa do estrato inferior (kg) (X29); e
- parâmetro de altimetria ou cota (m) (X36).

De forma a organizar os dados adequando-os a um melhor formato para análise, utilizou-se um valor médio de cada parâmetro por subparcela. No caso do litter (estrato inferior) e das arvoretas e palmeiras (estrato intermediário), esse procedimento já foi adotado no campo. Porém, no caso das árvores (estrato superior), fez-se necessária a subdivisão de seu arquivo em 80 pequenos arquivos distribuídos da seguinte forma: 25 arquivos referentes aos dados da parcela 1, 25 referentes aos dados da parcela 2, 5 referentes aos dados da parcela 3 e 25 referentes aos dados da parcela 4. Vale dizer que cada um desses arquivos refere-se a uma subparcela e pode-se assim obter os valores médios dos parâmetros dos indivíduos estudados.

Para efeito de visualização elaboraram-se arquivos distintos para as parcelas consideradas (1, 2, 3 e 4), para as três tipologias estudadas, englobando os valores médios dos parâmetros utilizados para determinar a fitomassa aérea por subparcela (Apêndice D).

### 3.4.3.2 - DADOS ORBITAIS

Os dados orbitais utilizados são provenientes das bandas refletidas do sensor TM-LANDSAT 5 e das bandas multiespectrais refletidas do sensor HRV-SPOT 1.

As imagens utilizadas são formadas por valores digitais ordenados em uma matriz de pontos com N linhas e M colunas, com cada ponto assumindo um valor no intervalo [ 0, K-1 ]. Na imagem, a cada valor  $I(m,n)$  dá-se o nome de nível de cinza.

Através da aplicação nestas imagens de funções disponíveis no SITIM como registro, geração de índices de vegetação e imagens fração, pretendeu-se viabilizar a obtenção dos dados necessários para a quantificação da fitomassa aérea a partir de dados orbitais.

#### 3.4.3.2.1 - REGISTRO

Registro é a operação de sobrepor imagens e/ou cartas de uma mesma cena de modo que os pontos dos mesmos objetos coincidam espacialmente.

Para este trabalho o registro foi importante, pois utilizaram-se imagens de diferentes sensores obtidas em épocas diferentes, além de cartas de topografia e de vegetação. O processo foi apresentado por Li et al. (1990) empregando, entre outras, imagens TM e HRV.

Em uma operação de registro, o primeiro passo é a determinação da transformação geométrica que fará a coincidência das imagens e/ou cartas. Isto é feito através da determinação de pares de pontos denominados pontos de controle, que são obtidos nas imagens e/ou cartas e que correspondem a um mesmo objeto.



Automaticamente após a determinação desses pontos, o programa obtém funções que mapeiam as coordenadas de uma imagem nas coordenadas de outra imagem e/ou carta.

O segundo passo é a construção da imagem registrada pela aplicação da transformação geométrica, definindo as posições dos pontos e o nível de cinza atribuído a eles.

Neste trabalho, a operação de registro é essencial para permitir a comparação das imagens utilizadas com os demais Planos de Informação (PIs) (vide item 3.4.4).

#### 3.4.3.2.2 - TRATAMENTO

Denomina-se tratamento algumas transformações feitas nas imagens com objetivos específicos. Neste trabalho foram utilizadas imagens na forma original de gravação, denominadas imagens originais.

Em razão da maior utilização em estudos de avaliação de fitomassa, foram aplicados os IVs Razão Simples e Diferença Normalizada, que utilizam as bandas do vermelho e infravermelho próximo nas imagens originais para realçar a resposta da vegetação e, conseqüentemente, permitir o estudo do comportamento da fitomassa aérea. Desta forma, foram geradas quatro imagens índice.

Visando a uma melhor análise das variáveis espectrais, procedeu-se a separação dos temas nas imagens frações de componentes espectrais (nuvem, sombra, solo, água e vegetação verde), que também foram obtidas mediante a conversão de imagens originais TM e HRV através de programa recentemente desenvolvido e disponível no Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais (LTID): Imagem de Componente Mistura, denominado por Adams et al. (1990) Análise de Mistura Espectral.

Ainda, no local de cada subparcela foram obtidos os valores digitais de IV e de Proporção de Vegetação (PV) correspondentes a um único pixel utilizando o programa Leitura de Pixel do SITIM. Vale salientar que foram utilizadas médias de valores de pixels para realização da correspondência com o alinhamento das parcelas. No caso dos dados provenientes do sensor HRV-SPOT foi necessária a degradação do pixel para correspondência com o número de subparcelas. Somente foi possível adquirir imagem HRV com data posterior à da coleta de dados de campo, tendo sido necessário o deslocamento do alinhamento das parcelas.

Assim, acrescentaram-se aos parâmetros dendrométricos, de fitomassa e de cota os seguintes parâmetros espectrais: TM R4,3 (X30); TM NDVI4,3 (X31); TM PV3,4,5,R,NDVI (X32); HRV R3,2 (X33); HRV NDVI3,2 (X34); e HRV PV1,2,3,R,NDV (X35). Para facilitar o acompanhamento do estudo com os diversos parâmetros envolvidos usou-se uma folha avulsa, no fim do trabalho, com descrição de todos os parâmetros (Tabela F.1).

#### 3.4.4 - GERAÇÃO E ANÁLISE DE PLANOS DE INFORMAÇÃO

Foi criado um Projeto e neste alguns Planos de Informação - PIs. Inicialmente foram digitalizadas cartas de vegetação na escala de 1:100.000, cartas de topografia na escala de 1:25.000, cartas de parcelas na escala de 1:25.000. Foram importadas do SITIM as imagens originais, imagens frações e índices.

Os planos foram convertidos e ficaram em um mesmo formato e escala para serem cruzados. Não foram feitas análises comparativas entre os PIs formados a partir das imagens obtidas dos satélites LANDSAT 5 e SPOT 1, tendo em vista, primeiramente, que a realização de análise comparativa não consiste em objetivo deste estudo. Em segundo lugar, a que se observar que as regiões espectrais consideradas nos dois satélites são diferentes. Por fim, a resolução espacial do sensor TM difere daquela do sensor HRV.

Os PIs de imagens índice e fração foram cruzados com os PIs de topografia e de vegetação, que foi a verdade de campo confirmada por fotografias aéreas, levando em consideração os valores de fitomassa aérea de cada estrato.

Os PIs podem apresentar saídas em plotter, sendo que as principais são cartas de fitomassa aérea onde são considerados os estratos, as curvas de nível e as tipologias, na escala de 1:25.000.

Processo semelhante foi aplicado por Mozeto et al. (1988) para avaliação de áreas de inundação com dados HRV e por Cook et al. (1989) para estimar produtividade florestal com dados TM.

### 3.4.5 - TRATAMENTO ESTATÍSTICO

#### 3.4.5.1 - CORRELAÇÃO

Buscou-se determinar a relação existente entre diversas variáveis de fitomassa, dendrométricas, espectrais e de cota, demonstrando a existência e o tipo de correlação.

O grau de correlação entre duas variáveis foi determinado pelo coeficiente de correlação  $R$ , que é um número adimensional, variando de -1 a +1.

Nas parcelas 1, 2, 3 e 4 elaborou-se, por subparcela, uma matriz de correlação dos parâmetros utilizados para determinar a fitomassa aérea, utilizando-se o pacote estatístico SAEG.

Para verificar sua validade, o  $R$  obtido foi confrontado com os valores de  $R$  tabelado, com limite de significância de 5% de probabilidade (Snedecor e Cochran, 1967).

Running et al. (1986) relataram a existência de correlação entre valores de Razão Simples e índice de área foliar e, posteriormente, Sader et al. (1989) comentaram haver uma alta relação linear entre os valores de fitomassa foliar e fitomassa lenhosa, comprovando que dados espectrais consistem em bons estimadores da fitomassa total.

#### 3.4.5.2 - REGRESSÃO

Com base nos parâmetros correlacionados, foram identificadas equações de regressão que permitissem estimar a fitomassa aérea em função das variáveis espectrais e posteriormente variável de cota. A determinação de equações de regressão para indicação da produtividade florestal foi feita por Cook et al. (1989) em áreas de florestas temperadas nos Estados Unidos.

Foram testados doze modelos de ajuste do pacote estatístico SAEG: linear, quadrático, cúbico, raiz quadrada, potencial, exponencial, hiperbólico 1, hiperbólico 2, logarítmico e, logarítmico 10, log. recíproco e cúbico-raiz. Utilizaram-se as variáveis espectrais e de cota como variáveis independentes e as variáveis de fitomassa como variáveis dependentes.

As análises das equações de regressão foram feitas com base no Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), no Erro Padrão Residual ( $S_{y,x}$ ) e no Teste F no nível de significância de 5% de probabilidade. Os coeficientes da regressão foram testados pelo teste "t" de Student, com o mesmo nível de significância. O Intervalo de Confiança (IC) foi determinado pelo valor médio da variável independente ( $x$ )  $\pm S_{y,x}$  no nível de significância de 5%.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1 - VALORES DE FITOMASSA - MÉTODO DESTRUTIVO

Procedeu-se a instalação de quatro parcelas amostrais para obtenção de valores de fitomassa. Através do corte, coleta e pesagem do material vegetal presente em área total de 1,6 ha, foram auferidos resultados bastante variados de peso seco para as diferentes tipologias florestais estudadas.

A tipologia Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Ondulado apresentou valores de 342 t/ha para a parcela 1 (Tabela 4.1) e 480 t/ha para a parcela 4 (Tabela 4.4). A tipologia Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Plano alcançou valor de 219 t/ha (Tabela 4.2) e a Floresta de Baixo valor de 198 t/ha (Tabela 4.3).

Tabela 4.1 - PESO SECO DOS COMPONENTES DA VEGETAÇÃO  
NA PARCELA 1

Componentes da Vegetação	Peso Seco t/ha
Litter Leve	7,8991
Litter Pesado	0,0670
Mat. Folhoso de Arvoreta	1,9771
Mat. Lenhoso de Arvoreta	9,7444
Mat. Folhoso de Palmeira	1,5605
Mat. Lenhoso de Palmeira	1,1931
Mat. Folhoso de Copa	8,0489
Galho Fino de Copa	41,6625
Galho Grosso de Copa	55,8872
Fuste	213,9621
<b>TOTAL</b>	<b>342,0020</b>

Tabela 4.2 - PESO SECO DOS COMPONENTES DA VEGETAÇÃO  
NA PARCELA 2

Componentes da Vegetação	Peso Seco t/ha
Litter Leve	6,5148
Litter Pesado	0,0000
Mat. Folhoso de Arvoreta	2,3180
Mat. Lenhoso de Arvoreta	10,4476
Mat. Folhoso de Palmeira	0,9826
Mat. Lenhoso de Palmeira	0,9505
Mat. Folhoso de Copa	6,9769
Galho Fino de Copa	29,0662
Galho Grosso de Copa	18,9332
Fustē	143,2807
<b>TOTAL</b>	<b>219,4706</b>

**Tabela 4.3 - PESO SECO DOS COMPONENTES DA VEGETAÇÃO  
NA PARCELA 3**

Componentes da Vegetação	Peso Seco t/ha
Litter Leve	4,6702
Litter Pesado	0,0000
Mat. Folhoso de Arvoreta	1,9658
Mat. Lenhoso de Arvoreta	8,3449
Mat. Folhoso de Palmeira	1,1197
Mat. Lenhoso de Palmeira	1,3157
Mat. Folhoso de Copa	5,0940
Galho Fino de Copa	23,1574
Galho Grosso de Copa	11,0496
Fuste	141,6829
<b>TOTAL</b>	<b>198,4001</b>



**Tabela 4.4 - PESO SECO DOS COMPONENTES DA VEGETAÇÃO  
NA PARCELA 4**

Componentes da Vegetação	Peso Seco t/ha
Litter Leve	8,1087
Litter Pesado	0,1075
Mat. Folhoso de Arvoreta	2,2712
Mat. Lenhoso de Arvoreta	9,8472
Mat. Folhoso de Palmeira	1,0779
Mat. Lenhoso de Palmeira	0,6647
Mat. Folhoso de Copa	10,0049
Galho Fino de Copa	46,5482
Galho Grosso de Copa	76,0229
Fuste	325,5596
<b>TOTAL</b>	<b>480,2127</b>

#### 4.2 - ANÁLISE PRELIMINAR DAS PARCELAS

Com base nos parâmetros presentes nas tabelas do Apêndice D, foram elaborados alguns gráficos com vistas a demonstrar o perfil estrutural das subparcelas, nas quatro parcelas, em relação a algumas variáveis e em determinados intervalos.

Tendo em vista que a premissa básica deste trabalho é a correlação de parâmetros espectrais com parâmetros de fitomassa, dendrométricos e de cota, estabeleceram-se perfis dos parâmetros espectrais (X30 a X35) e perfis de parâmetros de fitomassa (X3, X13, X24 e X29) e de cota (X36).

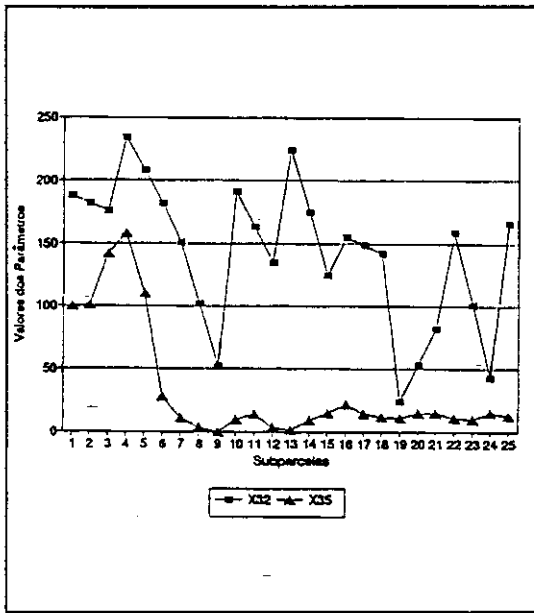


Fig. 4.1 - Perfis de parâmetros espectrais da parcela 1.

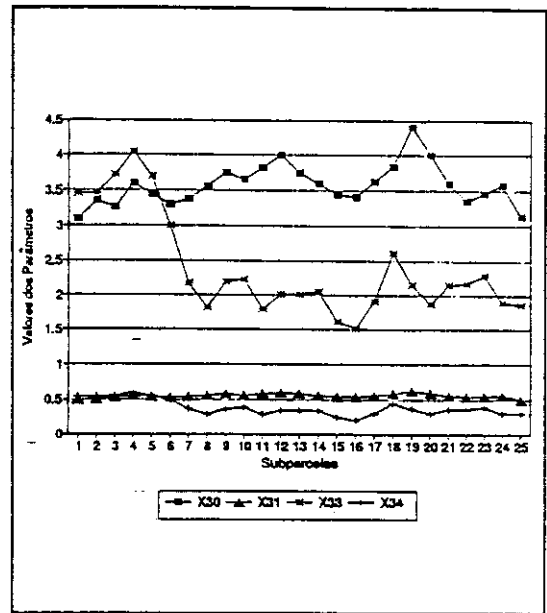


Fig. 4.2 - Perfis de parâmetros espectrais da parcela 1.

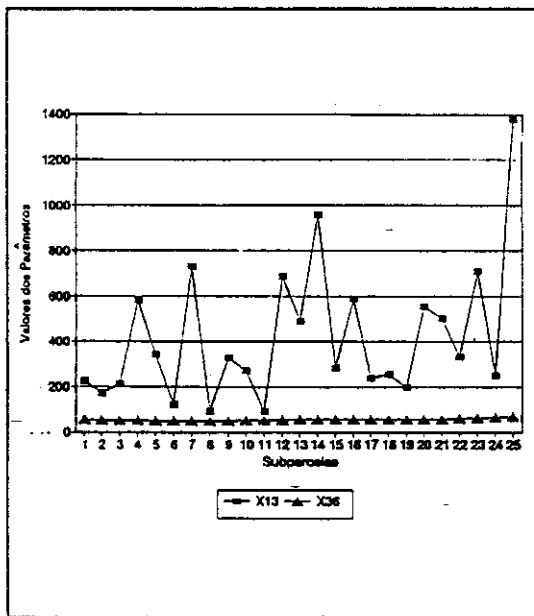


Fig. 4.3 - Perfis de parâmetro de fitomassa e de cota da parcela 1.

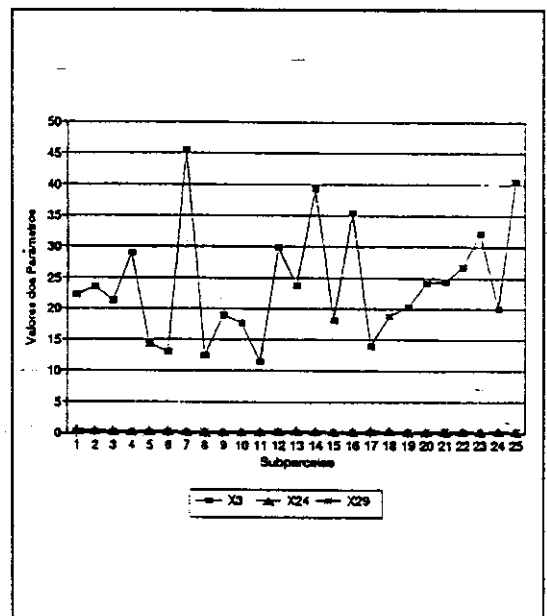


Fig. 4.4 - Perfis de parâmetros de fitomassa da parcela 1.

Analisando-se as Figuras 4.1 a 4.4 referentes aos perfis da parcela 1, observa-se similaridade dos dados de X30, X32, X33 e X34 com X3 e X13. Os dados de X24 apresentam o mesmo padrão de X29, X31 e X36, e aparentemente X35 tem comportamento distinto. A escolha dos quatro parâmetros de fitomassa foi devida à predominância da resposta espectral de X3 e à representatividade dos totais de fitomassa seca dos estratos superior (X13), intermediário (X24) e inferior (X29).

Isso demonstra que existe equivalência entre parâmetros espectrais e parâmetros de fitomassa dos estratos considerados.

Os perfis dos parâmetros da parcela 2 apresentam semelhança entre os perfis de X33 e X35. Também os parâmetros X31, X34, X24, X29 e X36 apresentam comportamento semelhante. O perfil de X3 se equivale ao de X13 e os perfis de X30 e X32 deferem-se entre si e dos demais (Figuras 4.5 a 4.8). Esta parcela foi alocada em área de Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Plano.

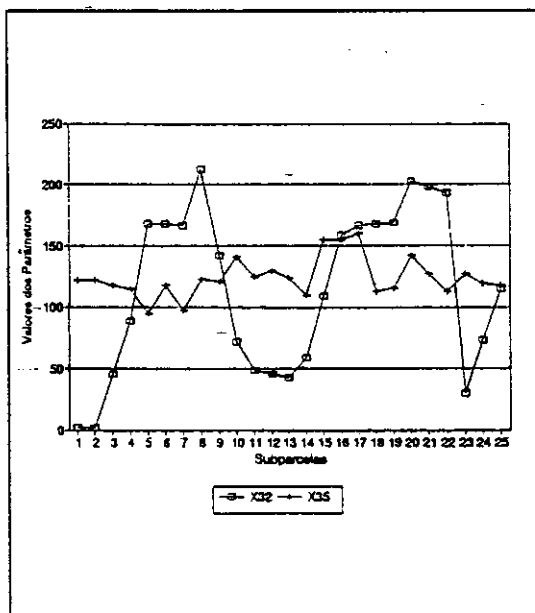


Fig. 4.5 - Perfis de parâmetros espectrais da parcela 2.

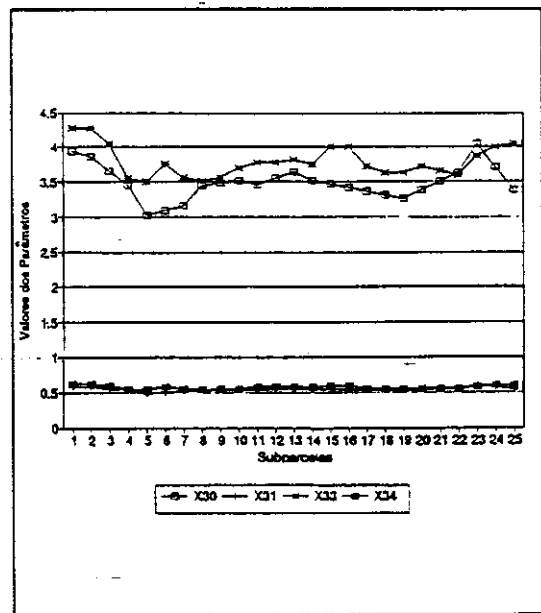


Fig. 4.6 - Perfis de parâmetros espectrais da parcela 2.

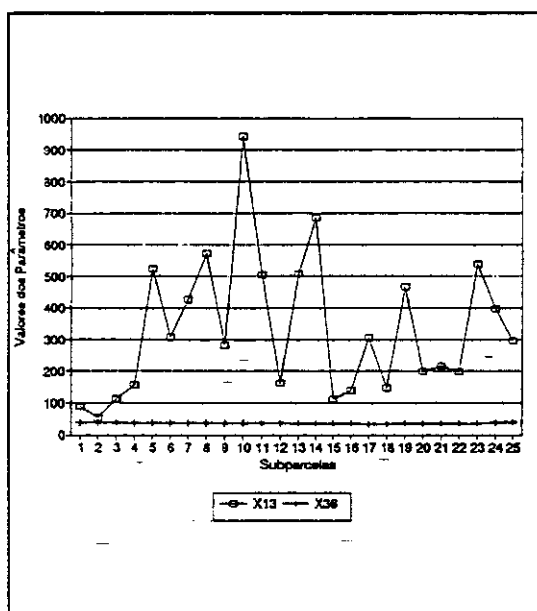


Fig. 4.7 - Perfis de parâmetro de fitomassa e de cota da parcela 2.

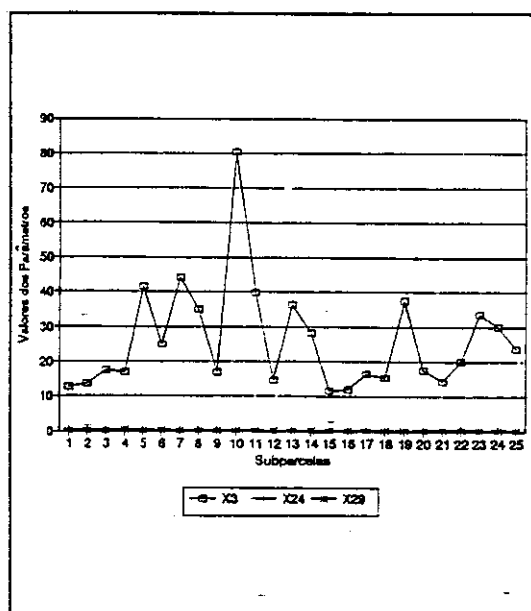


Fig. 4.8 - Perfis de parâmetros de fitomassa da parcela 2.

Foi possível constatar que existe similaridade somente entre os perfis de parâmetros espectrais e parâmetros de fitomassa dos estratos intermediário e inferior.

Na parcela 3 (Figuras 4.9 a 4.12), em área de Floresta de Baixo, nota-se conformidade dos parâmetros de fitomassa do estrato superior com o parâmetro espectral X35. Outros parâmetros espectrais, como já visto nas parcelas 1 e 2, relacionam-se somente com parâmetros de fitomassa dos estratos intermediário e inferior e com o parâmetro de cota.

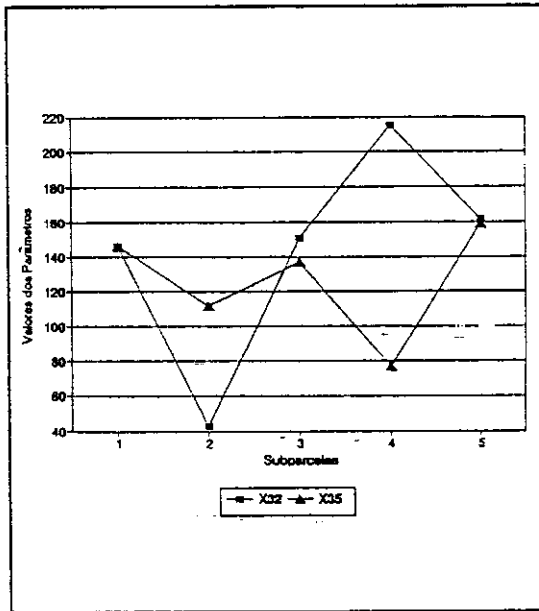


Fig. 4.9 - Perfis de parâmetros espectrais da parcela 3.

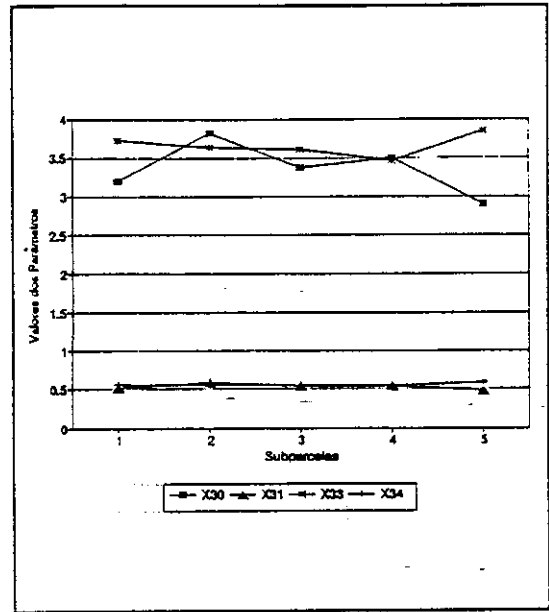


Fig. 4.10 - Perfis de parâmetros espectrais da parcela 3.

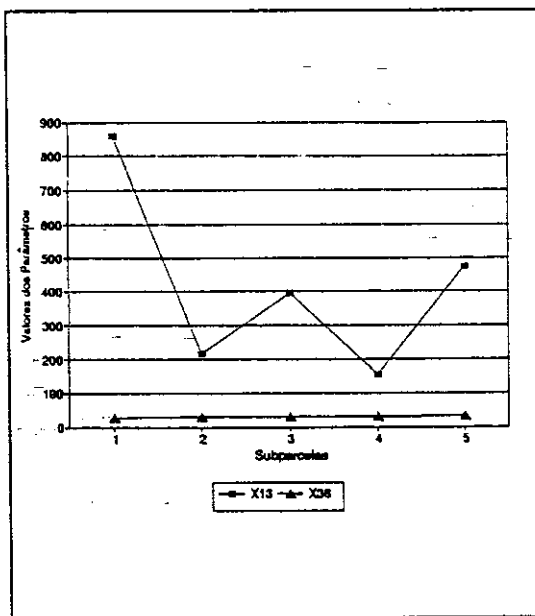


Fig. 4.11 - Perfis de parâmetro de fitomassa e de cota da parcela 3.

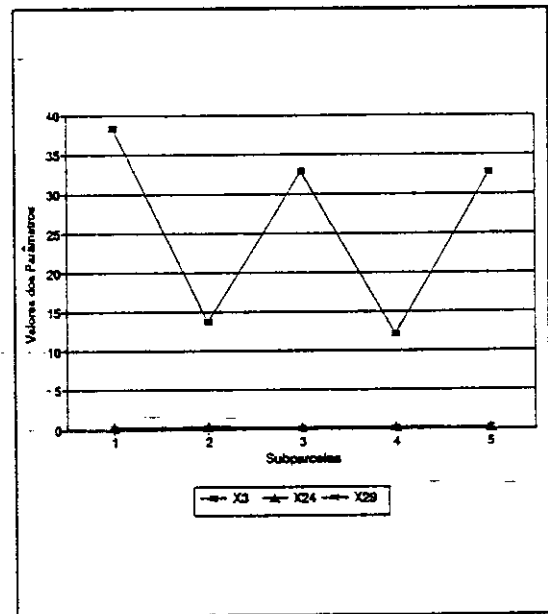


Fig. 4.12 - Perfis de parâmetros de fitomassa da parcela 3.

Os resultados apresentados na parcela 4 (Figuras 4.13 a 4.16) pouco se assemelham aos resultados apresentados nas parcelas anteriores. Aqui vale lembrar que a tipologia florestal é a mesma para as parcelas 1 e 4: Floresta Densa de Terra Firme - Relevo Ondulado.

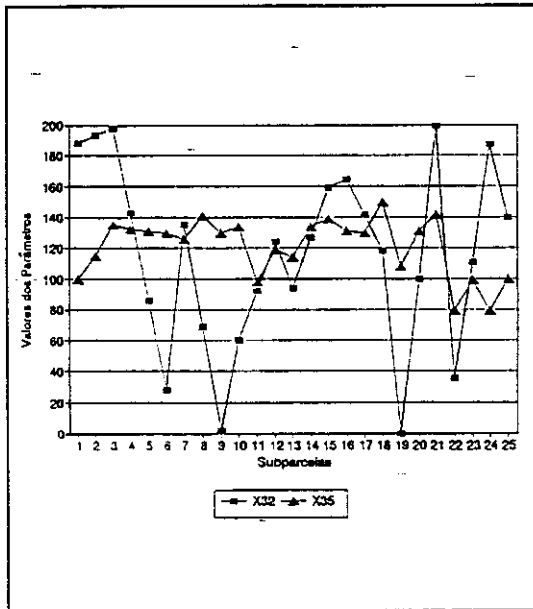


Fig. 4.13 - Perfis de parâmetros espectrais da parcela 4.

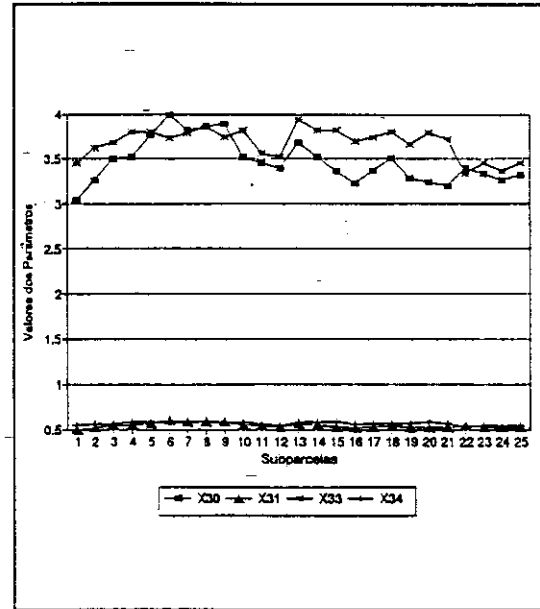


Fig. 4.14 - Perfis de parâmetros espectrais da parcela 4.

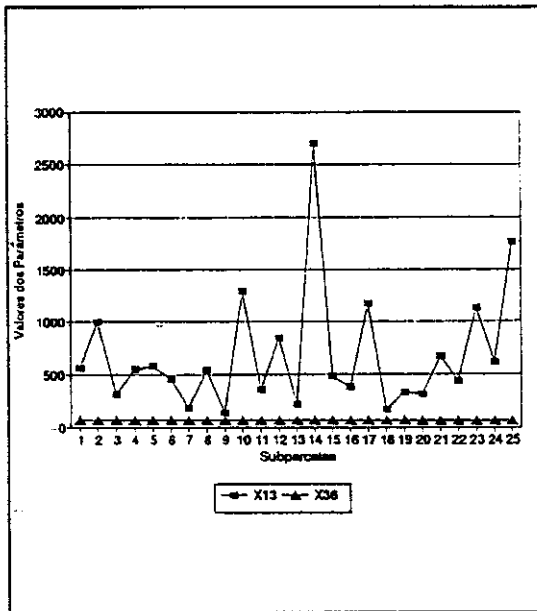


Fig. 4.15 - Perfis de parâmetro de fitomassa e de cota da parcela 4.

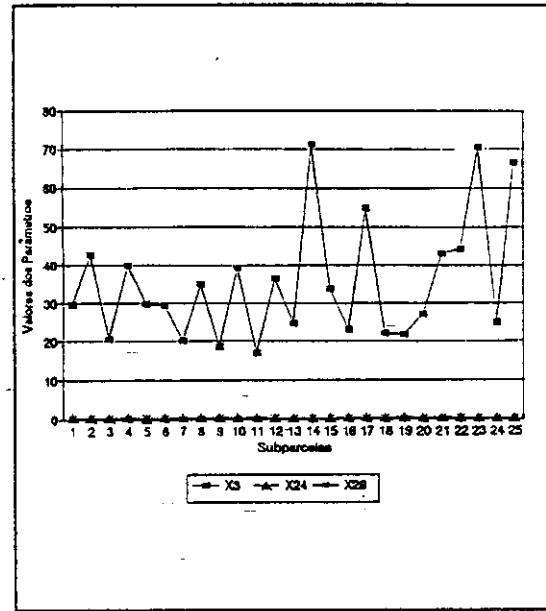


Fig. 4.16 - Perfis de parâmetros de fitomassa da parcela 4.

### 4.3 - PROCESSAMENTO DIGITAL

#### 4.3.1 - REGISTRO

No SITIM procedeu-se, inicialmente, à gravação da imagem TM-LANDSAT nas bandas 3, 4 e 5, visualizando a região de trabalho. Realizou-se registro entre imagem não-georeferenciada e mapa da região de estudo (Figura 4.17). Foram utilizados seis pontos de controle para o registro, dos quais foram utilizados quatro em um polinômio de 1º grau para ajuste (Tabela 4.5).

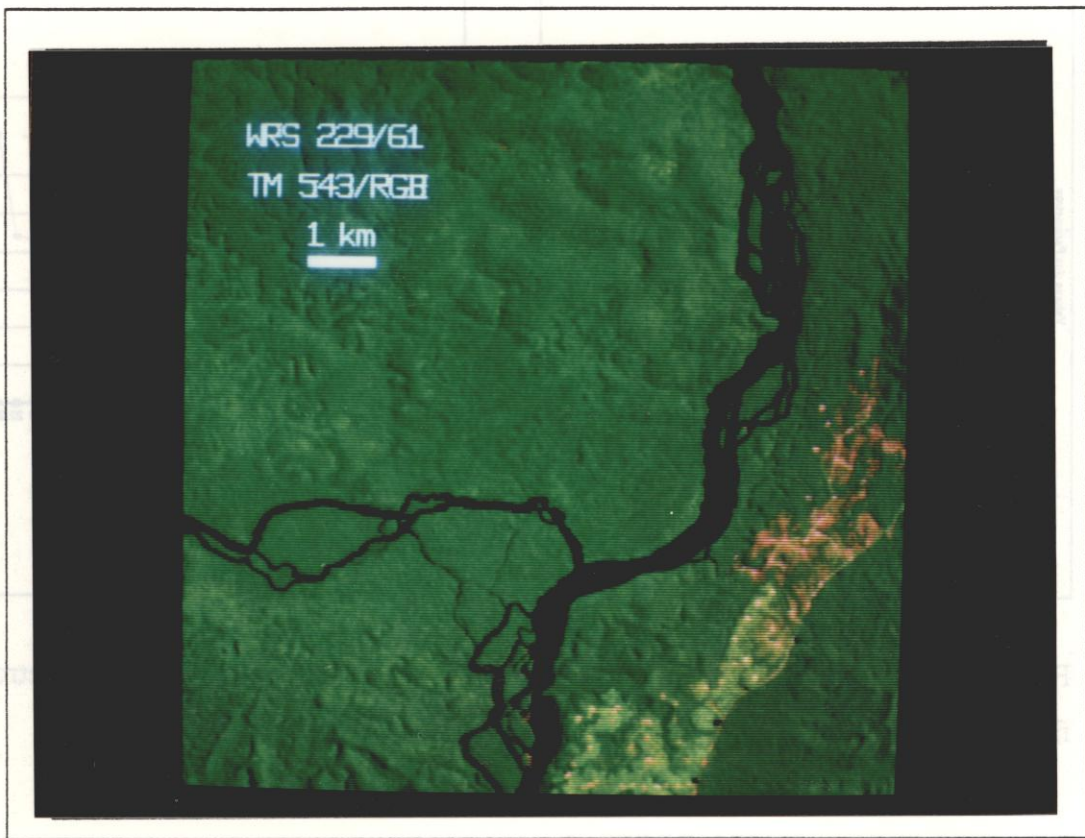


Fig. 4.17 - Imagem TM-LANDSAT, WRS 229/61, bandas 3/4/5, de 15/08/87.



**Tabela 4.5 - ARQUIVO DE PONTOS DE CONTROLE (PL) DO REGISTRO  
DA IMAGEM TM-LANDSAT**

Ponto de Controle	Utilização	Resíduo Eixo X	Resíduo Eixo Y
PL1	Sim	0,4	0,4
PL2	Não	0,5	0,1
PL3	Sim	0,1	0,1
PL4	Não	0,2	0,6
PL5	Sim	0,1	0,1
PL6	Sim	0,4	0,4

O erro interno para os pontos utilizados no mapeamento foi de 0,289% de um pixel na horizontal, 0,283% na vertical e 0,405% no total. Para os pontos não utilizados no mapeamento o erro horizontal foi de 0,386%, o erro vertical foi de 0,425% e o erro total foi de 0,574%. Estes resultados são considerados satisfatórios, uma vez que foi encontrado erro menor do que um pixel, embora fossem considerados poucos pontos de controle.



Fig. 4.18 - Imagem HRV-SPOT, KJ 684/352, bandas 1/2/3, de 26/08/88.

Fez-se também a gravação da imagem HRV-SPOT, bandas 1, 2 e 3 e realizou-se registro entre imagem e mapa (Figura 4.18). O processo foi semelhante ao efetuado com imagem LANDSAT, utilizando-se entretanto outros pontos de controle (Tabela 4.6).

O erro interno para os pontos utilizados foi de 0,523% na horizontal, 0,476% na vertical e 0,707% no total. Para os pontos não utilizados, o erro horizontal foi de 0,931%, o erro vertical foi de 0,724% e o erro total foi de 1,180%. Esperava-se no registro da imagem SPOT valores de erro inferiores aos obtidos no registro da imagem TM, em razão da sua melhor resolução espacial. Esse resultado não foi alcançado, possivelmente em razão de se estar utilizando imagem com melhor resolução e um mapa de qualidade inferior, situação em que as imperfeições são acentuadas.

**Tabela 4.6 - ARQUIVO DE PONTOS DE CONTROLE (PS) DO REGISTRO DA IMAGEM HRV-SPOT**

Ponto de Controle	Utilização	Resíduo Eixo X	Resíduo Eixo Y
PS1	Sim	0,7	0,6
PS2	Não	1,0	0,9
PS4	Sim	0,1	0,1
PS5	Sim	0,0	0,0
PS6	Não	0,9	0,5
PS6	Não	0,9	0,5

Observando-se as Figuras 4.17 e 4.18 nota-se a grande dificuldade de se fazer os registros, em razão da ocorrência de poucos pontos de controle nas imagens. Neste trabalho utilizaram-se pontas de ilhas, confluência da rede de drenagem e foz de igarapés como pontos de controle. Este procedimento não é o ideal, tendo em vista que essas referências são mutáveis, por exemplo cota e traçado de rios.

#### 4.3.2 - TRATAMENTO DE IMAGENS

No SITIM, a partir de diferentes processamentos digitais na imagem original TM-LANDSAT, geraram-se imagens índice, Razão Simples e NDVI, e imagem fração. Os mesmos processamentos foram adotados sobre a imagem HRV-SPOT.

Nas imagens índice e imagens fração foram obtidos os valores digitais correspondentes às parcelas. Esses valores foram inseridos nas Tabelas do Apêndice D. Somente dispôs-se de uma imagem HRV-SPOT, com data posterior à da

coleta de dados de campo. Desta forma o alinhamento das parcelas foi deslocado em aproximadamente dois pixels para utilização de pixels resultantes de áreas cobertas por floresta inalterada.

#### 4.3.3 - PLANOS DE INFORMAÇÃO

No SGI foram criados os PIs de vegetação, de topografia e de parcelas. A partir do PI de topografia foi gerado o modelo numérico do terreno (Figura 4.19).



Fig. 4.19 - Modelo numérico do terreno.

Após o cruzamento do PI de topografia e do PI de parcelas, obtiveram-se os valores de cota em cada subparcela que posteriormente foram acrescentados às Tabelas do Apêndice D.

## 4.4 - TRATAMENTO ESTATÍSTICO

### 4.4.1 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

A primeira etapa de tratamento estatístico dos dados foi o desenvolvimento da análise de correlação de todos os dados coletados nas quatro diferentes parcelas estudadas.

De um modo geral, foi possível constatar que as matrizes de correlação apresentaram resultados significativos entre os parâmetros espectrais e os parâmetros do estrato intermediário, do estrato inferior e o parâmetro de cota e não apresentaram correlação com os parâmetros do estrato superior.

A Tabela E.1 apresenta os coeficientes de correlação entre trinta e cinco variáveis (parâmetros) - X2 a X36 da parcela 1.

Reforçando os resultados auferidos na análise preliminar dos dados, obtiveram-se valores significativos entre os parâmetros dos estratos intermediário e inferior, os parâmetros espectrais e o parâmetro de cota. Os parâmetros do estrato superior apresentam resultados significativos quando correlacionados entre si e com o parâmetro de cota. Somente um parâmetro do estrato superior, X2, apresenta valores significativos com parâmetros dos estratos intermediário e inferior, parâmetros espectrais e parâmetro de cota.

A matriz de correlação dos parâmetros da parcela 2 difere da anterior principalmente quando se observa os parâmetros do estrato superior (Tabela E.2).

Na parcela 2, o parâmetro X2 não apresenta correlação com os outros parâmetros do estrato superior. Os parâmetros X4, X5, X7, X9, X10 e X13 apresentam resultados significativos com alguns parâmetros do estrato intermediário.

Enquanto o parâmetro X10 tem correlação com os parâmetros do estrato inferior, observou-se que a única variável do estrato superior que tem correlação significativa com o parâmetro cota é X2.

Ainda, analisando o estrato superior, têm-se os parâmetros X7, X9 e X10 com valores significativos quando relacionados com parâmetros espectrais.

Nas Tabelas E.2 e E.3, foram excluídas as variáveis X27 e X28 por apresentarem valores zero e, conseqüentemente, a variável X26 por apresentar valores idênticos aos da variável X29.

As correlações das variáveis da parcela 3 são apresentadas na Tabela E.3. Também nessa parcela as alterações mais significativas são observadas quando se analisa as correlações dos parâmetros do estrato superior.

A variável X2 só apresenta correlação com as variáveis do estrato intermediário e as variáveis espectrais, ao passo que as variáveis X3, X4, X11, X12 e X13 apresentam correlação com algumas variáveis do estrato intermediário.

Nessa parcela passa-se a notar que a variável X36 não se correlaciona com parâmetros do estrato superior, ao contrário do que ocorreu nas parcelas anteriores, e que ocorrem algumas correlações significativas entre variáveis do estrato superior e variáveis espectrais.

Com respeito a esta última observação, vale salientar a correlação existente entre as variáveis que representam as folhas do estrato superior (X3 e X4) e algumas variáveis espectrais. Isto é representativo, pois, este era um resultado esperado, já que a literatura especializada demonstra que a predominância no sinal refletido para o satélite é de radiação refletida pelas folhas do estrato superior.

A Tabela E.4 apresenta a matriz de correlação obtida com os dados das variáveis da parcela 4.

Nesta matriz nota-se a correlação do parâmetro X10 com dois parâmetros espectrais e, pela primeira vez, observa-se a não correlação dos parâmetros do estrato intermediário, X16, X17, X18 e X24, com parâmetros espectrais. Esse resultado não coincidiu com o apresentado na análise preliminar.

#### 4.4.2 - ANÁLISE DE REGRESSÃO

Com base nos resultados anteriores, selecionaram-se alguns parâmetros para fazer a análise de regressão com o objetivo de estimar a fitomassa aérea.

As variáveis espectrais foram consideradas como variáveis independentes e levaram-se em consideração os parâmetros presentes nos grupos que continham variáveis espectrais ou que apresentavam alguma relação com elas.

Foram utilizadas como variáveis dependentes na parcela 1 as variáveis X14 a X29 e X36. Para seleção das regressões significativas analisou-se o  $R^2$ , o F e o t.

Embora fossem considerados os baixos valores obtidos de  $R^2$  devido, entre outros fatores, à alta dispersão dos dados, encontraram-se valores elevados para F e t, em razão da grande quantidade de dados trabalhados. Os valores de Syx apresentaram-se baixos, indicando uma acentuada precisão. Esse fato, todavia, é enganoso uma vez que é causado pela alto Grau de Liberdade (G.L.) dos resíduos.



Como resultados mais significativos foram encontradas as regressões de X14 e X15 em função de X34; X16, X17, X18, X21, X22 e X24 em função de X32; X19, X20 e X23 em função de X35; X25, X26 e X29 em função de X31; X27 e X28 em função de X30; e X36 em função de X33.

Na análise de regressão da parcela 2, as variáveis dependentes foram X2, X14 a X29 e X36. Diferentemente da parcela 1, tem-se presente a variável do estrato superior X2 como variável dependente.

No resultado da regressão obtiveram-se valores significativos para X2 e X26 em função de X33; X14 e X15 em função de X30; X16, X17, X18 e X24 em função de X31; X27 em função de X32; X36 em função de X35; e X19 a X23 em função de X34.

Dentre as quatro parcelas estudadas, somente na 3 verificou-se relação das variáveis espectrais com todas as demais. Na análise de regressão pode-se comprovar essas relações, com exceção das variáveis do estrato superior X7, X8, X9, X11, X12 e X13. Não houve relevante significância dos resultados quando se considerou o parâmetro X34 como variável independente na regressão.

Na parcela 4 persistiu a situação em que os parâmetros do estrato superior não apresentaram relação com os parâmetros espectrais, com exceção do parâmetro X2. Dos parâmetros analisados, X16, X18 e X24 não apresentaram relação significativa com os parâmetros espectrais. Como na parcela 3, não foram representativas as regressões realizadas em função de X30 e X31.



#### 4.5 - ESTIMATIVA DE FITOMASSA

A estimativa de fitomassa, com uso de dados espectrais, é feita através de equações obtidas na análise de regressão. A equação empregada para o ajuste é definida em função do modelo escolhido. Nesse estudo foi utilizado o modelo:

$$y = a + b.x, \quad (4.1)$$

onde:

y = variável dependente;

a = constante;

b = coeficiente da variável independente;

x = variável independente.

A escolha desse modelo decorreu de este apresentar, ao contrário dos onze demais, resultados para todas as análises de regressão realizadas. Foram testados doze modelos para ajuste e quase todos os resultados obtidos foram significativos. Entretanto, na maioria das regressões, os valores mais significativos de  $R^2$  foram dos ajustes com modelos quadrático, cúbico, raiz quadrada e cúbico-raiz.

Inicialmente, tinha-se como objetivo do trabalho a determinação de equações de regressão para estimativa do valor da fitomassa aérea nos três estratos. Todavia, nas parcelas 1, 2 e 4 não se identificou relação das variáveis do estrato superior com as variáveis espectrais. Na parcela 3 houve relação de algumas variáveis com as variáveis espectrais. Isso levou à constatação de que o cálculo de fitomassa aérea nas parcelas 1, 2, 3 e 4 não apresentaria contribuição do estrato superior. Nessas condições, entendeu-se por não calcular a fitomassa foliar do estrato superior nas parcelas 1, 2 e 4.

Procedeu-se, então, a cálculos de estimativa média de fitomassa, utilizando valores médios das variáveis.

Na parcela 1 estimou-se a fitomassa aérea verde do estrato intermediário com as equações:

$$X14 = 0,0153609 + 0,204821 \times \text{HRVNDVI} \quad (4.2)$$

$$R^2 = 0,2922 \quad F = 165,12 \quad \text{IC} = 0,094 \pm 0,034$$

$$X16 = 0,156498 + 0,00125857 \times \text{TMPV} \quad (4.3)$$

$$R^2 = 0,2556 \quad F = 137,35 \quad \text{IC} = 0,337 \pm 0,118$$

$$X19 = 0,0823561 - 0,000388856 \times \text{HRVPV} \quad (4.4)$$

$$R^2 = 0,2402 \quad F = 126,42 \quad \text{IC} = 0,069 \pm 0,033$$

$$X21 = 0,145429 - 0,000525767 \times \text{TMPV} \quad (4.5)$$

$$R^2 = 0,2434 \quad F = 128,69 \quad \text{IC} = 0,070 \pm 0,051$$

Por meio dessas equações chegou-se a um total de 0,57 toneladas para área amostral de 10m x 20m (0,02 ha), equivalente a 28,5 t/ha. Os dados de campo apresentaram valor de 28 t/ha.

A fitomassa aérea seca total do estrato intermediário foi estimada pela equação:

$$X24 = 0,208642 + 0,000577257 \times \text{TMPV} \quad (4.6)$$

$$R^2 = 0,2007 \quad F = 100,44 \quad \text{IC} = 0,292 \pm 0,063$$

O resultado corresponde a 14,6 t/ha.

A fitomassa aérea verde do estrato inferior foi estimada com as equações:

$$X25 = -0,102381 + 0,616754 \times \text{TMNDVI} \quad (4.7)$$

$$R^2 = 0,0779 \quad F = 33,78 \quad \text{IC} = 0,239 \pm 0,062$$

$$X27 = -0,0185276 + 0,00582560 \times \text{TMR} \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0,1612 \quad F = 76,89 \quad \text{IC} = 0,002 \pm 0,004$$

Essas duas equações apresentaram resultado correspondente a 12,1 t/ha. Os dados de campo são de 12 t/ha. A fitomassa aérea seca foi estimada pela equação:

$$X29 = -0,0911609 + 0,447858 \times \text{TMNDVI} \quad (4.9)$$

$$R^2 = 0,1612 \quad F = 76,89 \quad \text{IC} = 0,157 \pm 0,004$$

Apresentou total equivalente a 7,8 t/ha.

O total de fitomassa aérea seca, estimada em função de variáveis espectrais, foi de 22,4 t/ha. Considerando os dados de campo, 320 t/ha do estrato superior, 14 t/ha do estrato intermediário e 8 t/ha do estrato inferior, estimou-se a fitomassa aérea seca em 342 t/ha.

Para a parcela 2 foram utilizadas as equações:

$$X14 = -0,113112 + 0,0670584 \times \text{TMR} \quad (4.10)$$

$$R^2 = 0,0483 \quad F = 14,82 \quad \text{IC} = 0,121 \pm 0,070$$

$$X16 = -1,02652 + 2,58283 \times \text{TMNDVI} \quad (4.11)$$

$$R^2 = 0,1106 \quad F = 36,32 \quad \text{IC} = 0,381 \pm 0,172$$

$$X19 = 0,321009 - 0,485493 \times \text{HRVNDVI} \quad (4.12)$$

$$R^2 = 0,1070 \quad F = 34,98 \quad \text{IC} = 0,043 \pm 0,031$$

$$X21 = 0,841027 - 1,36647 \times \text{HRVNDVI} \quad (4.13)$$

$$R^2 = 0,2143 \quad F = 79,62 \quad \text{IC} = 0,058 \pm 0,058$$

O somatório dessas equações foi equivalente a 30,1 t/ha de fitomassa aérea verde do estrato intermediário, ao passo que os dados de campo são de 29,6 t/ha. A fitomassa aérea seca foi calculada pela equação:

$$X24 = -0,605435 + 1,65995 \times \text{TMNDVI} \quad (4.14)$$

$$R^2 = 0,1106 \quad F = 36,32 \quad \text{IC} = 0,299 \pm 0,110$$

Totalizou 0,30 t/0,02 ha, equivalente a 15 t/ha.

No estrato inferior fez-se uso das equações:

$$X25 = 0,163554 + 0,000597615 \times \text{TMPV} \quad (4.15)$$

$$R^2 = 0,1837 \quad F = 65,70 \quad \text{IC} = 0,235 \pm 0,082$$

O total dessa equação foi equivalente a 11,7 t/ha de fitomassa aérea verde. Não foi estimado o valor de X27, tendo em vista que a média de seus dados aproxima-se de zero. Os dados de campo apresentaram valores de 11 t/ha. A fitomassa seca foi calculada com a equação:

$$X29 = 0,239230 - 0,0284057 \times \text{HRVR} \quad (4.16)$$

$$R^2 = 0,0515 \quad F = 15,87 \quad \text{IC} = 0,132 \pm 0,026$$

O resultado apresentado foi equivalente a 6,6 t/ha.

O total de fitomassa aérea seca estimada em função de variáveis espectrais foi de 21,6 t/ha. Os dados de campo apresentaram valor de 219 t/ha, assim distribuídos: 198 t/ha no estrato superior, 14,5 t/ha no estrato intermediário e 6,5 t/ha no estrato inferior.

Ao contrário das outras parcelas, na parcela 3 foi possível definir uma equação para estimar a fitomassa foliar verde do estrato superior:

$$X3 = 119,166 - 27,6911 \times \text{TMR} \quad (4.17)$$

$$R^2 = 0,0920 \quad F = 5,17 \quad \text{IC} = 22,948 \pm 25,900$$

O total encontrado corresponde a 1147,4 t/ha. Os dados de campo apresentam valor de 12 t/ha. Verifica-se essa disparidade em virtude da reduzida relação entre as variáveis testadas, apesar de ter sido possível constatar a respectiva correlação. Deduziu-se, neste caso, que o modelo de ajuste linear não é apropriado, sendo recomendável a identificação de outro modelo.

A fitomassa aérea verde do estrato intermediário foi estimada pelas equações:

$$X14 = 0,596623 - 0,134113 \times \text{HRVR} \quad (4.18)$$

$$R^2 = 0,2099 \quad F = 13,55 \quad \text{IC} = 0,111 \pm 0,029$$

$$X16 = -0,641420 + 1,79361 \times \text{TMNDVI} \quad (4.19)$$

$$R^2 = 0,7658 \quad F = 166,78 \quad \text{IC} = 0,335 \pm 0,031$$

$$X19 = -0,457807 + 0,137086 \times \text{HRVR} \quad (4.20)$$

$$R^2 = 0,2129 \quad F = 13,79 \quad \text{IC} = 0,039 \pm 0,029$$

$$X21 = 0,386214 - 0,00210330 \times \text{TMPV} \quad (4.21)$$

$$R^2 = 0,8759 \quad F = 360,11 \quad \text{IC} = 0,112 \pm 0,052$$

O total encontrado corresponde a 29,8 t/ha, enquanto os dados de campo apresentam resultado de 27 t/ha. Através da equação 4.22, estimou-se a fitomassa total seca em 13,9 t/ha.

$$X24 = -0,561657 + 0,241570 \times \text{TMR} \quad (4.22)$$

$$R^2 = 0,8396 \quad F = 266,88 \quad \text{IC} = 0,278 \pm 0,031$$

No estrato inferior a fitomassa aérea verde foi calculada com a equação:

$$X25 = -0,915277 + 0,324107 \times \text{HRVR} \quad (4.23)$$

$$R^2 = 0,9136 \quad F = 539,46 \quad \text{IC} = 0,259 \pm 0,011$$

O resultado encontrado corresponde a 12,9 t/ha, enquanto no campo os valores foram de 13,2 t/ha. A fitomassa seca não foi estimada.

No campo estimou-se em 181 t/ha a fitomassa aérea seca do estrato superior, em 12,5 t/ha a do estrato intermediário e em 4,5 t/ha a do estrato inferior, totalizando 198 t/ha.

Na parcela 4 somente apresentaram significância para estimativa da fitomassa aérea verde do estrato intermediário as equações:

$$X14 = 0,279185 - 0,00133713 \times \text{HRVPV} \quad (4.24)$$

$$R^2 = 0,1998 \quad F = 87,68 \quad \text{IC} = 0,115 \pm 0,050$$

$$X19 = 0,0309900 + 0,000145801 \times \text{HRVPV} \quad (4.25)$$

$$R^2 = 0,0135 \quad F = 4,81 \quad \text{IC} = 0,049 \pm 0,023$$

$$X21 = -0,111115 + 0,0410842 \times \text{HRVR} \quad (4.26)$$

$$R^2 = 0,0321 \quad F = 11,64 \quad \text{IC} = 0,040 \pm 0,036$$

Os valores obtidos para X14, X19 e X21 correspondem a 5,8 t/ha, 2,4 t/ha e 2 t/ha, respectivamente. No campo os valores foram de 6 t/ha para X14, 2,5 t/ha para X19 e 2 t/ha para X21. Não houve significância para o cálculo da fitomassa aérea seca do estrato intermediário.

O cálculo de fitomassa aérea verde no estrato inferior foi feito com as equações:

$$X25 = 0,915405 - 0,128024 \times \text{HRVR} \quad (4.27)$$

$$R^2 = 0,0420 \quad F = 15,39 \quad \text{IC} = 0,444 \pm 0,097$$

$$X27 = -0,0862116 + 0,160966 \times \text{HRVNDVI} \quad (4.28)$$

$$R^2 = 0,0646 \quad F = 24,25 \quad \text{IC} = 0,005 \pm 0,010$$

O somatório dos resultados das equações corresponde a 22,4 t/ha, enquanto que o valor de campo é da ordem de 21,5 t/ha.

O valor de fitomassa seca total calculado com dados de campo foi de 480 t/ha, assim divididos: 458 t/ha de fitomassa do estrato superior, 14 t/ha do estrato intermediário e 8 t/ha do estrato inferior.

#### 4.6 - MAPEAMENTO DE FITOMASSA

Este estudo pretendeu, inicialmente, apresentar mapeamento da fitomassa aérea onde seriam considerados os estratos, as curvas de nível e as tipologias. Essa meta não foi integralmente executada em virtude de que as variáveis espectrais e os modelos de ajuste considerados não permitiram a quantificação da fitomassa aérea do estrato superior.

Os resultados obtidos no item 4.5 demonstraram a quantificação de uma pequena quantidade de fitomassa, considerando os três estratos de determinada área. Como a fitomassa do estrato superior equivalia a um montante de 90% a 95% da fitomassa aérea, entendeu-se como pouco significativo estabelecer mapeamento de somente 5% a 10% da fitomassa aérea da área de estudo.

Não obstante essas considerações, procedeu-se à definição de modelos de ajuste que melhor quantificassem a fitomassa aérea dos estratos intermediário e inferior em função de variáveis espectral e de cota. A título exemplificativo, são apresentadas a seguir as equações de regressão utilizadas para quantificar a fitomassa total seca do estrato intermediário, nas parcelas 1, 2 e 3:

$$X_{24} = -0,0314968 + 0,000692081 \times \text{TMPV} + 0,00413307 \times \text{cota} \quad (4.29)$$

$$R^2 = 0,2710 \quad F = 74,18 \quad \text{IC} = 0,292 \pm 0,060$$

$$X_{24} = -0,173856 + 1,67914 \times \text{TMNDVI} - 0,0123996 \times \text{cota} \quad (4.30)$$

$$R^2 = 0,1467 \quad F = 25,02 \quad \text{IC} = 0,299 \pm 0,108$$

$$X_{24} = -0,0727069 + 0,214951 \times \text{TMR} - 0,0183042 \times \text{cota} \quad (4.31)$$

$$R^2 = 0,8663 \quad F = 162,07 \quad \text{IC} = 0,132 \pm 0,029$$



Para as parcelas 1 e 2 obtiveram-se resultados equivalentes aos dados obtidos em campo. Quanto à parcela 3, a correlação entre as variáveis foi significativa, porém o modelo de ajuste linear mostrou-se inadequado. A parcela 4 não apresentou resultados significativos, considerando o modelo testado.



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A estimativa de fitomassa aérea em região de floresta tropical mediante a aplicação de método destrutivo, apesar de extremamente trabalhosa, apresentou-se factível, dando origem a resultados satisfatórios.

A estimativa com o emprego de dados orbitais, associados a dados de campo, conforme a aplicação da metodologia proposta por este estudo, apresentou-se promissora.

Comprovou-se satisfatória a sistemática adotada de alocação de parcelas amostrais e coleta de dados de campo, tendo sido, entretanto, constatada a necessidade de sua compatibilização com técnica de sensoriamento remoto. As parcelas devem ser orientadas no alinhamento da órbita do satélite a ser utilizado e as subparcelas devem ter tamanho equivalente ao respectivo IFOV.

Em função de certos obstáculos quanto à definição das parcelas e obtenção dos dados orbitais TM-LANDSAT e HRV-SPOT, enfrentou-se o problema de se trabalhar com dados de diferentes estações do ano, com condições atmosféricas diversas.

A ausência de feições de fácil identificação nas imagens, que tendem a não sofrer alterações com a passagem do tempo, dificultou a atividade de registro e conseqüentemente tornou mais trabalhosa a integração de imagens e dados em sistema de informação geográfico. Para solucionar esse aspecto, recomenda-se a utilização de Sistema de Posicionamento Global (GPS) na identificação de pontos de controle para realização do registro, bem como no reconhecimento de parcelas.

A geração de imagens de Mistura Espectral e de Índices de Vegetação mostrou ser operacionalmente simples. Sob o aspecto digital, essas imagens forneceram boa distinção na variação das feições na cobertura vegetal.

Foram significantes as correlações existentes entre as variáveis determinantes da fitomassa aérea, as variáveis dendrométricas, as variáveis espectrais e a variável cota. As variáveis de fitomassa do estrato superior não seguiram essa tendência, constituindo alternativa para correlação com as demais a transformação matemática dessas variáveis.

Com relação ao tratamento estatístico dos dados, foram observadas algumas distorções no Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), no teste "t", no Teste F e no Erro Padrão Residual (Syx) das equações analisadas. Isto deveu-se, principalmente, à grande quantidade de dados coletados por parcela e à variação de classes existentes dentro de cada variável.

O modelo de ajuste linear utilizado demonstrou significância entre as variáveis de fitomassa dos estratos intermediário e inferior e as variáveis espectrais e de cota. É recomendável a realização de estudo de modelagem, com vistas à definição de modelos mais eficientes para quantificação de fitomassa nos três estratos. Outras alternativas de avaliar a fitomassa do estrato superior seriam a identificação de correlação entre suas variáveis dendrométricas e de fitomassa com as mesmas variáveis dos estratos intermediário e inferior ou a geração de variáveis espectrais para serem correlacionadas.

Os modelos de ajuste foram significativos seja com a utilização de imagens TM-LANDSAT ou HRV-SPOT, seja imagens índice ou imagens fração. Entretanto, as parcelas 1 e 4, alocadas na mesma tipologia florestal, apresentaram modelos de ajustes distintos.

Em razão do emprego de Índices de Vegetação, esperava-se correlacionar os dados espectrais somente com variáveis do estrato superior e encontrar problemas de ocorrência de sombreamentos provocados pela variação no dossel e relevo. Ocorreu, efetivamente, correlação com variáveis dos estratos intermediário e inferior, onde o efeito de sombra é acentuado, e não foi verificada diferença com a variação no relevo.

Constatou-se aparente impossibilidade do emprego de variáveis espectrais para estimativa de fitomassa do estrato superior em região de cobertura florestal com grande quantidade de fitomassa. Embora o valor de fitomassa foliar do estrato superior seja em geral baixo em relação à fitomassa total, há contribuição de todos os demais componentes da vegetação, tanto do estrato superior, como dos demais, elevando consideravelmente a influência da fitomassa sobre a resposta espectral.

A "visualização" dos estratos intermediário e inferior pode ser causada pela penetração da radiação, em função de ocorrência de aberturas naturais no dossel. Dessa forma, percebe-se a necessidade de identificação científica das espécies presentes na área e de seu estudo fenológico.

Não foi feito o mapeamento da fitomassa aérea, considerando-se os estratos, as curvas de nível e as tipologias em razão das dificuldades de quantificação do maior contribuinte de fitomassa, o estrato superior. Tal fator não invalida a potencialidade de se realizar mapeamento por esse método, uma vez sanados os obstáculos descritos anteriormente.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, J.B.; Smith, M.O.; Almeida Filho, R.; Gillespie, A.R.; Roberts, D.A. A new LANDSAT view of land use in Amazonia. IN: International Symposium on Primary Data Acquisition, Manaus, 24-29 June 1990. **Proceedings**. Manaus, ISPRS, 1990, v.2, p. 177-185.
- Aguiar, A.P.D. de **Utilização de atributos adicionais derivados de separação de classes na classificação multiespectral de sensoriamento remoto**. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, jun. 1991. (INPE-5306-TDI/456).
- Asrar, G.; Kanemasu, E.T.; Jackson, R.D.; Pinter Jr., P.J. Estimation of total above-ground phytomass production using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, 17(3): 211-220, 1985.
- Bariou, R.; Lecamus, D.; Le Henaff, F. **Indices de végétacion**. Haute Bretagne, Centre Régional de Télédétection, Université de Rennes 2, Juin, 1985. 150p. (ISSN 075-1120).
- Brasil. Congresso Nacional. Senado Federal **CPI da Amazônia: relatório preliminar**. Relator Jarbas Passarinho. Brasília, 1989. 67p.
- Brachet, G.; Maclure, J. L'utilisation des satellites, Télédétection. IN: Encyclopaedia Universalis. **Le grand atlas de l'espace**. Paris. Encyclopaedia Universalis, 1987. p. 236-243.
- Brunig, E.F.; Klinge, H. Comparison of the phytomass structure of equatorial "rain forest" in Central Amazonas, Brazil, and in Sarawak, Borneo. **Gardens' Bulletin of Singapore**, 29: 81-101, 1986.

- Cabral, R. de M.; Felfili, J.M. **Distribuição diamétrica e estratificação vertical na mata do Capetinga-DF**. Brasília, 1986. 16p. mimeografado.
- Caloz, R.; Abednego, B.; Meylan, P.; Collet, C. Description of a methodology for biomass change mapping with the use of LANDSAT TM data. IN: IGARSS'86 Symposium, Zurich, 8-11 Sept. 1986. **Proceedings**. Zurich, ESA, 1986, p. 1471-1476.
- Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS) **Plano decenal de expansão 1993-2002**. Rio de Janeiro, 1992. 81p.
- **Plano nacional de energia elétrica 1987/2010 - plano 2010; relatório executivo**. Rio de Janeiro, 1987. 87p.
- Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE) **Plano de expansão - 1989**. Brasília, 1989. 4 v.
- Chaves, M. de A.; Kazmierczak, M.L.; Amaral, S.; Zerbini, N.J. Potencialidade da imagem MECB para classificação de áreas florestais. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 24-29 jun., 1990. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1990, v.1, p. 34-39.
- Chevrel, M.; Courtoi, S.M.; Weill, G. The SPOT satellite remote sensing mission. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 47(8): 1163-1171, 1981.
- Colwell, J.E. Grass canopy bidirecional spectral reflectance. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 9., Ann Arbor, 15-19 Apr. 1974. **Proceedings**. Ann Arbor, ERIM, 1974a, v.2, p. 1061-1085.
- Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, 3(3): 175-183, 1974b.



- Conese, C.; Maracchi, G.; Miglietta, F.; Maselli, F.; Sacco, V.M. Forest classification by principal component analysis of TM data. **International Journal of Remote Sensing**, 2(10-11): 1597-1612, 1988.
- Cook, E.A.; Iverson, I.R.; Graham, R.L. Estimating forest productivity with Thematic Mapper and biogeographical data. **Remote Sensing of Environment**, 28, Apr.-June: 131-141, 1989.
- Danson, F.M. Preliminary evaluation of the relationships between SPOT-1-HRV data and forest stand parameters. **International Journal of Remote Sensing**, 8(10): 1571-1575, 1987.
- Deering, D.W.; Rouse, J.W.; Hass, R.H.; Schell, J.A. Measurement forage production of grazing units from LANDSAT MSS data. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 10., Ann Arbor, 6-10 Oct. 1975. **Proceedings**. Ann Arbor, ERIM, 1975. v.2, p. 1169-1178.
- Ellis, J.E.; Dick, O.B. A LANDSAT vegetation biomass map of the Turkana District, Northern Kenya. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 20., Nairobi, Kenya, 4-10 Dec. 1986. **Proceedings**. Ann Arbor, ERIM, 1986, v.1, p. 535-539.
- Epiphanyo, J.C.N. **Dados TM LANDSAT-5 no estudo das culturas de trigo e feijão**. (Tese de Doutorado em Agronomia) - USP/ESALQ, Piracicaba, ago. 1988.
- Epp, H.; Peden, D.; Herlocker, D. The use of large scale aerial photography to determine wood biomass in the arid and semi-arid areas of Kenya. IN: Symposium International de la Commission VII de la Societe Internationale de Photogrammetrie et Teledetection, Toulouse, 13-17 Sept. 1982. **Actes**. Toulouse, ISPRS, 1982. v.1, p. 415-422.

FAO/IBRD/WRI/UNDP **The tropical forestry, action plan.** Rome, 1987. 32p.

Gallo, K.P.; Daughtry, C.S.T. Differences in vegetation indices for simulated LANDSAT-5 MSS and TM, NOAA-9, and SPOT-1 sensor systems. **Remote Sensing of Environment**, 23(3): 439-452, 1987.

Gates, D. Physical and physiological properties of plants. IN: National Research Council **Remote sensing with special reference to agriculture and forestry.** Washington, DC, National Academy of Science, 1970. p. 224-252.

Grant, L. Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. **Remote Sensing of Environment**, 22(4): 309-322, 1987.

Harlan, J.C.; Deering, D.W.; Haas, R.H.; Boyd, W.E. Determination of range biomass using LANDSAT. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 13., Ann Arbor, 23-27 Apr. 1979. **Proceedings.** Ann Arbor, ERIM, 1979, p. 659-673.

Hase, H.; Foelster, H.; Lindheim, M. On the accuracy of the estimating aboveground tree biomass in an evergreen forest near Manaus, Brazil. A simulation study. **Biotropica**, 17(3): 191-195, 1985.

Horler, D.H.N.; Ahern, F.J. Forestry information content of Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, 7(3): 405-428, 1986.

Hueck, K. **As florestas da América do Sul: ecologia, composição e importância econômica.** São Paulo, Polígono; Brasília, Ed. Universidade de Brasília, 1972. 466p.

- Ihse, M.; Rosén, E. Spectral measurements for estimation of biomass on limestone grassland. IN: International Colloquium on Spectral Signatures in Remote Sensing, 3., Les Arcs, France, 16-20 Dec. 1985. **Proceedings. ESA**, 1985, p. 455-458.
- Ii, F.A.M.; D'Alge, J.C.L.; Souza, R.C.M. de; Correia, V.R. de M.; Ii, S.S. Integração de imagens orbitais a uma base de dados cartográficos. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 24-29 jun. 1990. **Anais. São José dos Campos, INPE**, 1990, v1, p. 250-254.
- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) **Estudos e levantamento do impacto ambiental da UHE de Cachoeira Porteira: estudos de vegetação.** Manaus. 1986. 258p.
- Jaakko Pöyry Engenharia (JPE) **Cachoeira Porteira: inventário florestal da bacia de inundação da UHE.** São Paulo. 1985. 90p.
- Jankauskis, J. **Recuperação de florestas tropicais mecanicamente exploradas.** 2.ed. Belém, SUDAM, 1983. 57p.
- Jordan, C.F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, 50(4): 663-669, 1969.
- Junk, W. J.; Nunes de Mello, J.A.S. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Tubinger Geographische Studien**, 95: 367-385, 1987.
- Kimes, D.S.; Newcomb, W.W.; Nelson, R.F.; Schutt, J.B. Directional reflectance distribution of a hardwood and pine forest canopy. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, GE-24(2): 281-293, 1986.

- Klinge, H.; Rodrigues, W.A.; Brünig, E.; Fittkau, E.J. Biomass and structure in a Central Amazonian rain forest. IN: Medina, E.; Golley, F. (ed.). **Systems Tropical Ecological**. New York, Springer, 1975. cap. 9, p. 115-122.
- Klinge, H.; Rodrigues, W.A. Matéria orgânica e nutrientes na mata de terra firme perto de Manaus. **Acta Amazônica**, 1(1): 69-72, 1971.
- Knipling, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 1(2): 155-159, 1970.
- Li, X.; Strahler, A.H. Geometric-Optical modeling of a conifer forest canopy. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, GE-23(5): 705-721, 1985.
- Martinelli, L.A.; Victoria, R.L.; Moreira, N.Z.; Arruda Jr., G.; Brown, I.F.; Ferreira, C.A.C.; Coelho, L.F.; Lima, R.P.; Thomas, W.W. **Implantação de parcelas para monitoramento de dinâmica florestal na área de proteção ambiental, UHE Samuel, Rondônia; relatório preliminar**. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1988. 1v.
- Markham, B.L.; Townshend, J.R.G. Land cover classification accuracy as a function of sensor spatial resolution. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 15., Ann Arbor, 11-15 May, 1981. **Proceedings**. Ann Arbor, ERIM, 1981, v.3, p. 1075-1090.
- Mozeto, A.A.; Stone, T.A.; Brown, I.F.; Skole, D. **Avaliação do impacto ambiental através do uso de sistema geográfico de informação e de sensoriamento remoto na área de proteção ambiental da UHE Samuel, Rondônia, Brasil**. s.n.t. [1988].

- Mukai, Y.; Takeuchi, S. Estimation of primary production of vegetation in agricultural and forested areas using LANDSAT data. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 13., Ann Arbor, 1979. **Proceedings**. Ann Arbor, ERIM, 1979, v.3, p. 1177-1188.
- Murphy, P.G.; Lugo, A.E. Structure and biomass of a subtropical dry forest in Puerto Rico. **Biotropica**, 18(2): 89-96, 1986.
- Myers, V.I. Soil, water and plant relations. IN: National Research Council. **Remote sensing with special reference to agriculture and forestry**. Washington, D.C. National Academy of Science, 1970. p. 253-297.
- Newbould, P.J. **Methods for estimating the primary production of forests**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1970. 62p. (IBP Handbook, 2).
- Paijmans, K. Typing of tropical vegetation by aerial photograph and field sampling in North Papua. **Photogrammetria**, 21(1): 1-25, 1966.
- Paiva, M.P. **Grandes represas do Brasil**. Brasília, EDITERRA, 1982. 304p.
- Pandolfo, C. **A floresta amazônica brasileira: enfoque econômico-ecológico**. Belém, SUDAM, 1978. 118p.
- Pearson, P.L.; Miller, L.D. Remote sensing of standing crop biomass for estimating of the productivity on the shortgrass prairie. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 8., Ann Arbor, 2-6 Oct. 1972. **Proceedings**. Ann Arbor, ERIM, 1972, p. 1355-1379.

- Peterson, D.L.; Westman, W.E.; Stephenson, N.J.; Ambrosia, V.G.; Brass, J.A.; Spanner, M.A. Analysis of forest structure using Thematic Mapper Simulator data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-24(1): 113-121, 1986.
- Pires, J.M.; Prance, G.T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. IN: Prance, G.T.; Lovejoy, T.E. *Key environments Amazonia*. Oxford, Pergamon, 1985. cap. 7, p. 109-145.
- Pires, J.M. The Amazonian forest. IN: Sioli, H. *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, 1984. p. 581-602. (Monographiae Biologicae, 56).
- Revilla Cardenas, J.D.; Kahn, F.L.; Guillaumet, J.L. *Estimativa da fitomassa do reservatório da UHE Tucuruí; sub-projeto 4*. Manaus, INPA, 1982. 13p.
- Ribeiro, E.A.; Ii, F.A.M.; Moreira, J.C.; Dutra, L.V. *Manual de usuários dos sistemas de tratamento de imagens digitais*. INPE, São José dos Campos, 1982. 158p.
- Rodrigues, W.A. Estudo de 2,6 hectares de mata de terra firme da Serra do Navio, Território do Amapá. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Botânica*, (19): 1-32, set. 1963.
- Rohde, W.G.; Miller, W.A.; Bonner, K.G.; Hertz, E.; Engel, M.F. A stratified cluster sampling procedure applied to a wildland vegetation inventory using remote sensing. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 13., Ann Arbor, 23-27 Apr. 1979. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1979, p. 167-179.

- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. IN: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., 1973. **Proceedings**. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.
- Running, S.W.; Peterson, D.L.; Spanner, M.A.; Teuber, K.B. Remote sensing of coniferous forest leaf area. **Ecology**, 67(1): 273-276, 1986.
- Sader, S.A.; Waide, R.B.; Lawrence, W.T.; Joyce, A.T. Tropical forest biomass and successional age class relationships to a vegetation index derived from LANDSAT TM data. **Remote Sensing of Environment**, 28(2): 143-156, 1989.
- Sadowski, F.G.; Danjoy, W.A. Some observations on the utility of remote sensors for humid tropical forests. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 14., San Jose, 23-30 Apr. 1980. **Proceedings**. Ann Arbor, ERIM, 1980, p. 1799-1802.
- Sá, I.B. Sensoriamento remoto quantitativo da vegetação: IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 11-15 out. 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988, v.3, p. 675-683.
- Santos, J.R. dos **Biomassa aérea da vegetação do cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite LANDSAT.** (Tese de Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, maio 1988a.
- TVI: um modelo numérico para estimativa global da fitomassa dos cerrados brasileiros. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 11-15 out. 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988b, v.3, p. 684-689.

Sedykh, V.N.; Sidorova, V.S. Texture of forest communities on aerial photographs. **Mapping Sciences and Remote Sensing**, 23(2): 140-145, 1986.

Seevers, P.M.; Drew, J.V.; Carlson, M.P. Estimating vegetative biomass from LANDSAT-1 imagery for range management. IN: Earth Resources Survey Symposium, Houston, 9-12 June 1975. **Proceedings**. NASA, 1975, v.1-A, p. 1-8. (NASA TM X-58168).

Shāin, W.A.; Myers, R.K. The importance of remote sensing in estimating biomass in the Richard B. Russel Lake. IN: ASPRS-ACSM Fall Convention, Anchorage, Alaska, 28 Sep.-3 Oct. 1986. **Proceedings**. p. 182-188. (ASPRS Technical Papers).

Shimabukuro, Y.E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas**. (Doctor of Philosophy Dissertation) - Colorado State University, Fort Collins, CO, 1987.

Singh, A. Spectral separability of tropical forest cover class. **International Journal of Remote Sensing**, 8(7): 971-979, 1987.

Singh, A.; Harrison, A. Standardized principal components. **International Journal of Remote Sensing**, 6(6): 883-896, 1985.

Snedecor, G.W.; Cochran, W.G. **Statistical methods**. Ames, The Iowa State University Press, 1967. 593p.

Strahler, A.H.; Woodcock, C.E.; Logan, T.L. Forest stratification for timber inventory using registered digital LANDSAT and terrain model data in Northern California. IN: Canadian Symposium on Remote Sensing, 6., Halifax, 21-23 May 1980. **Proceedings**. NASA, 1980, p. 413-419.



Suits, G.H. The calculation of the directional reflectance of a vegetative canopy.

**Remote Sensing of Environment**, 2(1): 117-125, 1972a.

— The causes of azimuthal variations in directional reflectance of vegetative canopies. **Remote Sensing of Environment**, 2(3): 175-182, 1972b.

Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) **Levantamentos florestais realizados pela Missão FAO na Amazônia**. (1956-1961). Trad.-por O.H. Knowles. Belém, 1973, v.1.

Takeuchi, M.A. A estrutura da vegetação na Amazônia. I: a mata pluvial tropical. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Botânica**, (6): 1-36, jul. 1960.

— Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. - **Applied Optics**, 16(5): 1151-1157, 1977.

Tucker, C.J. A comparison of satellite sensor bands for vegetation monitoring.

**Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 44(11): 1369-1380, 1978.

— A critical comparison of remote sensing and other methods for nondestructive estimation of standing crop biomass. Maryland, NASA, 1979a. 10p. (NASA TM-80607).

— Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 8(2): 127-150, 1979b.

Tucker, C.J.; Sellers, P.J. Satellite remote sensing of primary production.

**International Journal of Remote Sensing**, 7(11): 1395-1416, 1986.

Valeriano, D. de M.; Pereira, M.D.B. Relação entre a biomassa aérea do estrato rasteiro do cerrado e sua reflectância espectral. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 11-15 out. 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988, v.3, p. 643-649.

Whittaker, R.H. **Communities and Ecosystems**. New York. Macmillan, 1975. 385p.

Whittaker, R.H.; Marks, P.L. Methods of assessing terrestrial productivity. IN: Lieth, H.; Whittaker, R.H. **Primary productivity of the Biosphere**, 1975. p. 55-118.

Williams, D.L. A canopy-related stratification of a southern pine forest using LANDSAT digital data. IN: American Society of Photogrammetry, Seattle, Washington, Sep. 28-Oct. 1986. **Proceedings**. s.n.t. p. 231-239.

Woodcock, C.E.; Strahler, A.H.; Logan, T.L. Stratification of forest vegetation for timber inventory using LANDSAT and collateral data. IN: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 14., San Jose, Costa Rica, 23-30 Apr. 1980. **Proceedings**. Ann Arbor, ERIM, 1980, v.3, p. 1769-1789.

## APÊNDICE A

Tabela A.1 - ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS MÉDIAS (MILÍMETROS) NOS ANOS DE 1986 A 1988, NA ESTAÇÃO DE CACHOEIRA PORTEIRA

Mês	Precipitação		
	mm		
	1986	1987	1988
Janeiro	317,40	276,10	202,60
Fevereiro	197,30	234,70	330,10
Março	265,10	363,70	204,00
Abril	433,00	373,90	241,50
Maiο	342,60	204,00	634,50
Junho	212,90	170,30	484,90
Julho	212,90	80,40	96,30
Agosto	55,20	227,10	85,80
Setembro	171,80	129,10	259,20
Outubro	134,70	25,50	68,20
Novembro	228,40	40,30	151,10
Dezembro	213,40	197,30	263,20
Total Anual	2782,70	2322,40	3021,40
Dias Chuva	244	217	231



## APÊNDICE B

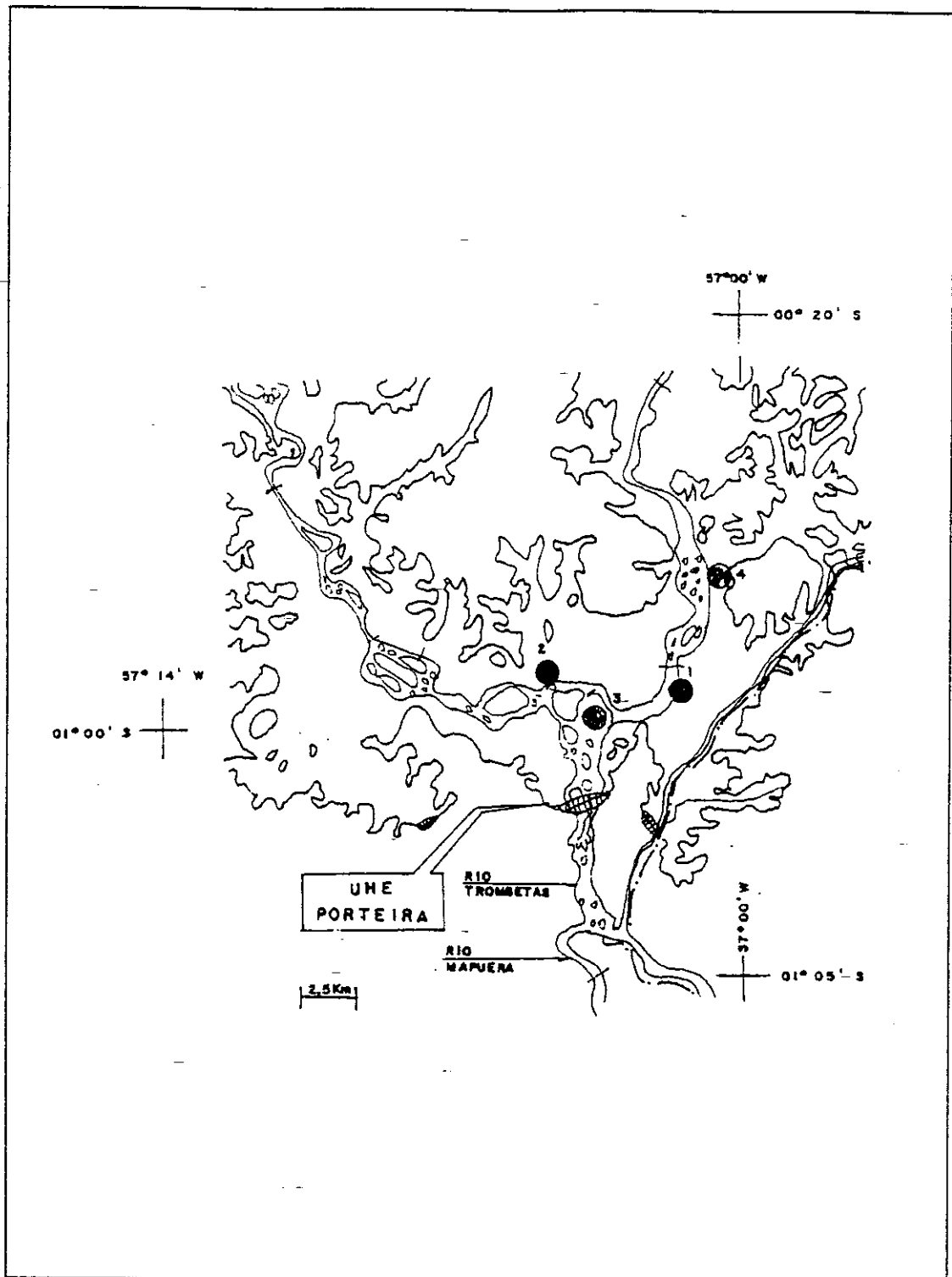


Fig. B.1 - Localização das parcelas amostrais.



## APÊNDICE C - FICHAS DE CAMPO

UHE-CACHOEIRA PORTEIRA	TIPOLOGIA FLORESTAL	FOLHA Nº
PROJETO BÁSICO	PARCELA Nº	PERÍODO- // - //
PROGRAMA COMPLEMENTAR DA ESTIMATIVA DA FITOMASSA	DISTÂNCIA DO PONTO DE REFERÊNCIA ( )	SENTIDO
SUB-PARCELA: _____ DATA: _____	PRECIP: _____	TEMP: _____
PESO TOTAL (5m <sup>2</sup> ): _____	PESO MÉDIO (1m <sup>2</sup> ): _____	
OBS: _____		
SUB-PARCELA: _____ DATA: _____	PRECIP: _____	TEMP: _____
PESO TOTAL (5m <sup>2</sup> ): _____	PESO MÉDIO (1m <sup>2</sup> ): _____	
OBS: _____		
SUB-PARCELA: _____ DATA: _____	PRECIP: _____	TEMP: _____
PESO TOTAL (5m <sup>2</sup> ): _____	PESO MÉDIO (1m <sup>2</sup> ): _____	
OBS: _____		
SUB-PARCELA: _____ DATA: _____	PRECIP: _____	TEMP: _____
PESO TOTAL (5m <sup>2</sup> ): _____	PESO MÉDIO (1m <sup>2</sup> ): _____	
OBS: _____		
SUB-PARCELA: _____ DATA: _____	PRECIP: _____	TEMP: _____
PESO TOTAL (5m <sup>2</sup> ): _____	PESO MÉDIO (1m <sup>2</sup> ): _____	
OBS: _____		
SUB-PARCELA: _____ DATA: _____	PRECIP: _____	TEMP: _____
PESO TOTAL (5m <sup>2</sup> ): _____	PESO MÉDIO (1m <sup>2</sup> ): _____	
OBS: _____		
SUB-PARCELA: _____ DATA: _____	PRECIP: _____	TEMP: _____
PESO TOTAL (5m <sup>2</sup> ): _____	PESO MÉDIO (1m <sup>2</sup> ): _____	
OBS: _____		
SUB-PARCELA: _____ DATA: _____	PRECIP: _____	TEMP: _____
PESO TOTAL (5m <sup>2</sup> ): _____	PESO MÉDIO (1m <sup>2</sup> ): _____	
OBS: _____		

Fig. C.1 - Ficha de campo dos dados de fitomassa de litter.





UHE - CACHOEIRA PORTEIRA PROJETO BÁSICO PROGRAMA COMPLEMENTAR DE ESTIMATIVA DA FITOMASSA					TIPOLOGIA FLORESTAL		FOLHA Nº
					PARCELA Nº		1 ha (20m x 500m)
					Sub parcela	Data	Tempo
					OBS.		
ÁRVORE Nº	NOME VULGAR	CAP (cm)	Hc (m)	Ht (m)	MATERIAL FOLHOSO		MATERIAL LENHOSO
OBS			Nº GG				
			CODIGO DA ESPECIE				
					TOTAL		TOTAL
OBS			Nº GG				
			CODIGO DA ESPECIE				
					TOTAL		TOTAL
OBS			Nº GG				
			CODIGO DA ESPECIE				
					TOTAL		TOTAL
OBS			Nº GG				
			CODIGO DA ESPECIE				
					TOTAL		TOTAL

Fig. C.3 - Ficha de campo dos dados de fitomassa das copas das árvores com DAP > 7cm.



APÊNDICE D

VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS NAS PARCELAS

Tabela D.1 - VALORES MEDIOS DOS PARAMETROS MEDIDOS NA PARCELA 1

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36
1	16	22,2125	9,9512	112,9625	66,1374	0,0000	49,1875	9,4000	17,0000	0,2959	149,8944	225,98209	0,2174	0,0874	0,6636	0,3936	0,4710	0,0690	0,0032	0,0035	0,0010	0,0042	0,4752	0,1804	0,1191	0,0004	0,0018	0,1209	3,10	0,50	188	3,46	0,54	100	95
2	14	23,6000	8,1184	75,9714	44,4433	0,0000	44,3571	7,6643	14,1643	0,1722	120,2308	172,79248	0,1823	0,0720	0,6046	0,3271	0,3991	0,0120	0,0047	0,0103	0,0037	0,0094	0,4075	0,2244	0,1625	0,0000	0,0000	0,1625	3,35	0,51	182	3,46	0,54	101	53
3	24	21,3167	7,9298	64,1333	34,0548	43,1850	46,8333	9,0833	16,7000	0,2059	126,8015	212,07116	0,1338	0,0574	0,3675	0,2150	0,2724	0,0184	0,0087	0,0072	0,0024	0,0110	0,2835	0,2324	0,1606	0,0000	0,0000	0,1606	3,26	0,52	176	3,72	0,56	142	50
4	16	28,9875	14,8126	97,1813	55,1018	84,2384	56,5626	9,3188	15,6375	0,4722	426,6322	884,80492	0,0653	0,0403	0,3198	0,1912	0,2315	0,0640	0,0276	0,0291	0,0139	0,0145	0,2731	0,2244	0,1771	0,0000	0,0000	0,1771	3,60	0,56	234	4,04	0,60	158	50
5	11	14,3727	6,0797	33,0273	35,2933	110,5612	48,6364	9,1273	15,9364	0,2517	188,9691	340,90532	0,0629	0,0303	0,4886	0,1337	0,3439	0,0317	0,0144	0,0115	0,0038	0,0182	0,3621	0,2020	0,1644	0,0000	0,0000	0,1644	3,44	0,54	208	3,70	0,56	111	49
6	23	13,0130	6,4284	54,8261	19,9020	0,0000	41,4783	8,9522	16,3043	0,1400	96,7503	122,08047	0,1087	0,0537	0,2915	0,1731	0,2268	0,0961	0,0415	0,0637	0,0233	0,0648	0,2916	0,1440	0,1079	0,0000	0,0000	0,1079	3,30	0,52	182	3,00	0,50	28	49
7	12	45,4983	22,4110	220,9667	127,0598	82,0966	72,9633	9,8917	17,7657	0,7228	502,1701	733,73346	0,1063	0,0468	0,2926	0,1617	0,2084	0,0951	0,0239	0,0525	0,0160	0,0398	0,2483	0,2240	0,1496	0,0000	0,0000	0,1496	3,38	0,54	161	2,18	0,36	11	49
8	12	12,4417	5,9596	20,2983	12,4791	3,9384	37,5000	6,5333	12,5000	0,1096	70,3459	92,72283	0,1129	0,0541	0,1070	0,0536	0,1077	0,0809	0,0362	0,0195	0,0075	0,0467	0,1544	0,5684	0,2960	0,0084	0,0044	0,2604	3,57	0,56	102	1,82	0,28	3	48
9	16	19,0438	7,7508	63,1625	34,4235	46,6929	53,1875	10,4313	16,6563	0,3392	241,4531	330,32037	0,0530	0,0275	0,1648	0,1063	0,1338	0,0748	0,0346	0,0185	0,0054	0,0901	0,2228	0,1964	0,1420	0,0000	0,0000	0,1420	3,76	0,58	52	2,20	0,36	0	49
10	18	17,7333	6,9616	60,2722	31,7032	53,9323	53,6111	11,0500	17,7656	0,3202	177,3241	269,91101	0,0680	0,0276	0,2659	0,1638	0,1914	0,0685	0,0186	0,0740	0,0270	0,0456	0,2371	0,2524	0,1742	0,0000	0,0000	0,1742	3,66	0,56	191	2,24	0,38	10	60
11	24	11,4000	4,1922	27,9542	14,3405	0,0000	38,7500	7,2042	12,0333	0,1058	72,4982	91,03386	0,0757	0,0276	0,2659	0,1420	0,1696	0,1194	0,0543	0,0118	0,0357	0,0901	0,2596	0,1884	0,1370	0,0016	0,0008	0,1370	3,63	0,58	163	1,80	0,28	14	52
12	15	29,8667	14,4256	135,8267	72,1771	154,9156	88,6667	11,0533	18,2533	0,6370	446,5511	688,18921	0,0988	0,0368	0,3831	0,2000	0,2367	0,0850	0,0318	0,0421	0,0134	0,0452	0,2820	0,3204	0,2415	0,0000	0,0000	0,2415	4,00	0,60	135	2,02	0,34	3	54
13	15	23,7667	10,2910	156,6067	86,9167	154,9156	51,7333	9,2867	16,8333	0,2834	221,1015	491,42159	0,1157	0,0467	0,3818	0,3310	0,3767	0,0338	0,0130	0,0173	0,0037	0,0187	0,3955	0,3204	0,1935	0,0012	0,0006	0,1935	3,76	0,58	224	2,02	0,34	1	55
14	15	38,2200	17,0607	208,6200	114,5324	175,3848	70,4000	11,7133	18,5600	0,9993	651,7676	958,74590	0,0665	0,0282	0,4450	0,2639	0,2921	0,0210	0,0085	0,0145	0,0038	0,0123	0,3044	0,2524	0,1080	0,0000	0,0000	0,1080	3,60	0,58	175	2,06	0,34	9	55
15	12	18,0667	7,8229	80,5933	48,1083	22,2594	48,5000	10,0333	17,0083	0,2629	204,1790	282,36545	0,0728	0,0321	0,2850	0,1855	0,2176	0,0410	0,0216	0,0287	0,0094	0,0310	0,2487	0,1444	0,1128	0,0014	0,0007	0,1128	3,44	0,54	125	1,62	0,24	15	55
16	14	35,4857	16,1815	158,2500	85,2655	86,9394	70,7143	10,7357	20,3286	0,5982	391,5032	589,89264	0,0732	0,0328	0,2767	0,1698	0,2017	0,0514	0,0232	0,0545	0,0184	0,0417	0,2433	0,1764	0,1245	0,0023	0,0012	0,1245	3,42	0,54	155	1,62	0,20	22	55
17	22	13,9818	7,1867	55,0318	29,3970	13,6824	45,5939	10,7000	17,1091	0,2312	188,2495	238,90664	0,0889	0,0366	0,6537	0,3168	0,3634	0,0785	0,0403	0,0433	0,0144	0,0548	0,4082	0,2044	0,1386	0,0000	0,0000	0,1386	3,65	0,56	149	1,82	0,30	14	53
18	17	16,8471	7,7650	62,4176	44,1759	23,7282	48,1765	10,5000	17,9882	0,2943	176,7007	254,36676	0,0861	0,0374	0,3310	0,1500	0,2303	0,0692	0,0297	0,0816	0,0003	0,0600	0,2903	0,1724	0,1253	0,0000	0,0000	0,1253	3,84	0,58	142	2,62	0,44	12	55
19	14	20,2643	8,9163	64,3500	35,6499	0,0000	47,7143	10,1214	16,9643	0,2041	152,1764	196,74261	0,0927	0,0416	0,2468	0,1494	0,1911	0,1108	0,0534	0,0698	0,0002	0,0636	0,2746	0,2424	0,1772	0,0151	0,0079	0,1772	4,40	0,62	24	2,16	0,36	11	55
20	12	24,2167	11,4386	109,0083	65,7320	100,0127	60,3333	11,0833	16,6583	0,4694	379,3150	556,49004	0,0530	0,0137	0,1639	0,0999	0,1131	0,0575	0,0300	0,0542	0,0198	0,0497	0,1629	0,2724	0,2149	0,0195	0,0081	0,2149	4,00	0,59	53	1,89	0,30	15	55
21	24	24,3953	8,6703	84,8375	40,3927	73,0129	56,6667	10,9875	17,3708	0,4637	377,0042	500,06998	0,0631	0,0281	0,3325	0,1612	0,1893	0,0897	0,0463	0,0897	0,0269	0,0722	0,2515	0,2544	0,1888	0,0000	0,0000	0,1888	3,60	0,56	82	2,16	0,36	15	57
22	12	26,8093	11,6616	90,0000	49,4100	13,6720	56,9833	9,8333	16,2333	0,3024	296,9280	331,67269	0,0966	0,0415	0,3284	0,1931	0,2346	0,1665	0,0763	0,0946	0,0320	0,1072	0,3419	0,2602	0,1879	0,0000	0,0000	0,1879	3,36	0,54	169	2,18	0,36	11	58
23	16	32,0653	12,7263	105,8250	57,8863	143,7323	62,7500	11,4000	18,0063	0,6074	495,5816	709,94643	0,1455	0,0496	0,1823	0,0557	0,1443	0,1021	0,0486	0,0293	0,0638	0,1144	0,2397	0,3764	0,1547	0,0000	0,0000	0,1547	3,47	0,55	101	2,30	0,38	10	60
24	16	20,1438	7,7151	69,4000	38,1700	5,0731	51,9375	11,9553	18,6998	0,3026	196,7659	247,72407	0,0568	0,0294	0,3406	0,1778	0,2022	0,0835	0,0347	0,1446	0,0560	0,0906	0,2928	0,3284	0,1360	0,0000	0,0000	0,1360	3,58	0,56	43	1,90	0,30	15	65
25	12	40,5667	18,4173	238,3750	138,8375	206,7035	66,6667	11,7083	18,6983	0,8943	693,4280	1377,43284	0,0343	0,0165	0,1657	0,1054	0,1218	0,1230	0,0540	0,2088	0,0808	0,1348	0,2567	0,2804	0,1537	0,0000	0,0000	0,1537	3,14	0,50	166	1,86	0,30	13	70

Tabela D.2 - VALORES MEDIDOS DOS PARAMETROS MEDIDOS DA PARCELA 2

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36
1	12	12,6867	5,3580	25,7917	14,1854	0,0000	36,4167	6,2000	10,1583	0,0898	65,6454	87,6888	0,1903	0,0789	0,6544	0,3540	0,4309	0,0315	0,0152	0,0273	0,0102	0,0254	0,4563	0,1604	0,1144	0	0	0,1144	3,84	0,58	2	4,28	0,62	1,22	38
2	5	13,5900	5,6274	18,6800	9,6949	0,0000	37,4000	6,3400	9,9400	0,0601	36,9944	52,3188	0,1929	0,0779	0,3345	0,2766	0,3546	0,0429	0,0208	0,0280	0,0084	0,0292	0,3838	0,2044	0,1511	0	0	0,1511	3,86	0,58	2	4,28	0,62	1,22	38
3	11	17,4273	7,6331	42,2091	25,4099	12,6797	35,2727	6,5455	10,9727	0,0927	67,4238	113,1486	0,1450	0,0605	0,2940	0,1680	0,2292	0,0538	0,0317	0,0482	0,0139	0,0456	0,2748	0,1594	0,1192	0	0	0,1192	3,66	0,56	46	4,04	0,60	1,18	38
4	9	16,7867	7,5618	54,5444	30,8176	0,0000	46,2222	9,4667	13,4889	0,1512	117,4086	155,7879	0,0927	0,0715	0,2005	0,1109	0,1284	0,0184	0,0079	0,0110	0,0033	0,0112	0,1396	0,2564	0,1741	0	0	0,1741	3,45	0,54	89	3,55	0,55	1,19	37
5	18	41,3667	18,6297	102,2889	57,3941	35,6898	61,3889	11,9722	17,9333	0,5157	411,5787	523,4800	0,1525	0,0711	0,3005	0,1749	0,2460	0,0365	0,0173	0,0222	0,0072	0,0245	0,2705	0,1594	0,1216	0	0	0,1216	3,02	0,49	188	3,50	0,55	95	37
6	11	24,9273	10,3947	102,6182	53,9772	68,2169	48,8182	9,5364	16,6364	0,2885	176,5787	309,1675	0,0743	0,0398	0,2211	0,1115	0,1473	0,0405	0,0196	0,0263	0,0182	0,0279	0,1852	0,2604	0,1766	0	0	0,1766	3,09	0,51	168	3,76	0,58	118	37
7	3	44,1000	19,3188	135,8667	76,6288	29,1863	65,3333	11,0333	16,8667	0,8271	301,0877	426,2186	0,1545	0,0439	0,3673	0,1539	0,1978	0,0849	0,0368	0,0644	0,0327	0,0694	0,2672	0,1642	0,1207	0	0	0,1207	3,16	0,52	167	3,56	0,56	98	37
8	13	35,0615	17,3204	142,8285	99,7605	122,0189	95,0000	10,3753	15,0000	0,2560	197,1028	284,0382	0,0936	0,0333	0,4094	0,1674	0,2008	0,0670	0,0235	0,0800	0,0287	0,0532	0,2540	0,1884	0,1445	0	0	0,1445	3,44	0,54	212	3,92	0,54	123	37
9	15	16,8933	7,0107	51,7800	27,2398	92,5549	43,4000	10,3753	18,0700	0,6360	311,1784	943,0429	0,0944	0,0228	0,2226	0,1291	0,1619	0,0581	0,0350	0,0634	0,0227	0,0477	0,1996	0,1802	0,1286	0	0	0,1286	3,62	0,54	72	3,70	0,56	141	36
10	9	39,8444	19,4042	119,9667	66,3581	53,0376	63,0000	10,1556	19,3778	0,6001	365,1719	503,9718	0,0764	0,0317	0,2376	0,1389	0,1717	0,0579	0,0233	0,0608	0,0281	0,0514	0,2231	0,1402	0,1043	0	0	0,1043	3,46	0,54	49	3,78	0,58	125	36
12	13	14,6385	6,4958	46,6077	28,8036	0,0000	43,7692	10,4231	15,5385	0,1678	126,1623	161,4653	0,0442	0,0186	0,1154	0,0638	0,0827	0,0176	0,0296	0,0073	0,0276	0,0572	0,1393	0,1842	0,1361	0	0	0,1361	3,55	0,55	46	3,78	0,58	130	36
13	15	36,4600	16,9639	150,9000	87,2202	0,0000	61,1333	13,6400	16,6467	0,4671	401,7095	505,8936	0,0570	0,0280	0,3718	0,1677	0,2067	0,0433	0,0191	0,0323	0,0122	0,0313	0,1658	0,1842	0,1372	0	0	0,1372	3,52	0,55	39	3,75	0,57	110	34
14	11	28,4364	13,9907	137,9182	81,0959	68,8214	84,3636	11,3182	17,7455	0,7417	521,6895	685,9932	0,0870	0,0280	0,1541	0,0767	0,1245	0,0433	0,0191	0,0323	0,0122	0,0313	0,1658	0,1842	0,1372	0	0	0,1372	3,52	0,55	39	3,75	0,57	110	34
15	13	11,4769	5,0269	31,1208	16,8106	0,0000	40,6923	9,3615	13,7769	0,1208	88,1719	111,0094	0,1328	0,0437	0,4478	0,2714	0,3151	0,0334	0,0015	0,0022	0,0038	0,0022	0,3173	0,1802	0,1299	0	0	0,1299	3,47	0,55	109	4,00	0,60	185	34
16	12	11,9583	5,7161	56,7583	33,3739	0,0000	40,9167	8,2333	13,4500	0,1285	98,7845	139,0407	0,1327	0,0572	0,2981	0,1826	0,2386	0,0166	0,0076	0,0085	0,0029	0,0103	0,2500	0,2122	0,1949	0	0	0,1949	3,42	0,54	109	4,00	0,60	185	34
17	10	16,5000	7,4415	89,9400	49,4670	0,0000	57,4000	9,2500	15,1700	0,2751	200,4944	307,4813	0,0471	0,0216	0,3925	0,1986	0,2202	0,1512	0,0711	0,1957	0,0657	0,1288	0,3470	0,2522	0,1216	0	0	0,1216	3,36	0,54	187	3,72	0,56	160	33
18	12	15,3083	6,3530	34,7667	18,2384	0,0000	47,8833	12,7000	13,2167	0,1710	120,7442	145,3383	0,0988	0,0392	0,4079	0,2231	0,2963	0,0345	0,0117	0,0349	0,0082	0,0189	0,2782	0,3162	0,1404	0	0	0,1404	3,31	0,53	168	3,63	0,56	113	33
19	15	37,6000	18,2736	129,9000	73,9131	61,3386	65,7533	9,0400	14,8933	0,4068	311,5453	485,7413	0,0907	0,0398	0,1851	0,1083	0,1411	0,0354	0,0162	0,0842	0,0375	0,0537	0,1949	0,2802	0,1146	0	0	0,1146	3,26	0,52	169	3,63	0,56	116	34
20	8	17,7250	7,4268	42,0675	23,6111	0,0000	48,3750	9,4000	18,2125	0,2074	168,1476	198,1855	0,1687	0,0584	0,8271	0,4069	0,4653	0,0380	0,0153	0,0453	0,0129	0,0282	0,4935	0,1562	0,0625	0	0	0,0625	3,28	0,54	203	3,72	0,56	142	34
21	17	14,2647	6,7329	46,1941	27,6241	0,0000	47,8824	8,4785	12,6706	0,2341	183,3397	217,1673	0,1692	0,0585	0,6031	0,3703	0,4286	0,0281	0,0073	0,1356	0,0377	0,0450	0,4739	0,4602	0,1688	0	0	0,1688	3,51	0,55	198	3,66	0,56	127	34
22	17	20,1059	7,8813	90,8235	30,1862	0,0000	53,1176	8,5176	12,4988	0,2078	160,4187	198,4894	0,2238	0,0910	0,7894	0,4768	0,5678	0,0069	0,0030	0,0038	0,0010	0,0040	0,4739	0,4602	0,1740	0	0	0,1740	3,63	0,56	193	3,69	0,56	113	34
23	12	33,7533	16,8241	135,4750	85,8912	0,0000	61,2500	9,8000	15,3280	0,5383	435,9355	538,6507	0,1246	0,0576	0,3567	0,1269	0,2744	0,0292	0,0123	0,0068	0,0027	0,0160	0,2884	0,2762	0,1880	0	0	0,1880	4,04	0,60	30	3,88	0,58	127	35
24	13	30,1615	-13,9648	110,7538	65,8885	0,0000	58,9231	10,5615	15,6164	0,4328	319,2731	398,1364	0,1269	0,0576	0,4452	0,2765	0,3401	0,0123	0,0068	0,0027	0,0011	0,0016	0,3417	0,2482	0,1075	0	0	0,1075	3,71	0,57	73	4,00	0,60	119	38
25	10	23,8400	9,9890	81,6900	40,5182	0,0000	55,6000	8,7900	15,9300	0,3359	247,6864	298,1935	0,1343	0,0439	0,3372	0,1743	0,2182	0,0045	0,0018	0,0026	0,0006	0,0023	0,2205	0,2482	0,0973	0	0	0,0973	3,38	0,54	115	4,04	0,60	118	40

Tabela D.3 - VALORES MEDIOS DOS PARAMETROS MEDIDOS DA PARCELA 3

XT	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36
1	5	38,3600	16,2646	132,5500	76,8848	44,2054	76,6000	11,9000	20,2600	0,6391	721,3089	838,6636	0,0234	0,0117	0,3284	0,1550	0,1827	0,1350	0,0625	0,0276	0,0082	0,0707	0,2374	0,2842	0,1037	0	0	0,1037	3,20	0,52	-1,46	3,72	0,56	1,46	28
2	17	13,7529	5,2949	42,7682	24,2181	18,4083	49,2929	10,3412	16,0941	0,2635	169,0304	216,9517	0,1100	0,0495	0,3903	0,2143	0,2638	0,0372	0,0185	0,3229	0,1062	0,1227	0,3985	0,2762	0,1033	0	0	0,1033	3,82	0,38	43	3,63	0,56	112	28
3	14	32,8857	13,4174	139,6357	72,0155	20,1328	55,2696	12,7571	17,6143	0,3561	288,7506	397,8876	0,1414	0,0503	0,3656	0,1711	0,2214	0,0200	0,0081	0,0040	0,0015	0,0066	0,2310	0,2522	0,0807	0	0	0,0807	3,38	0,54	151	3,61	0,56	137	30
4	11	12,1545	4,8497	13,1818	7,3005	0,0000	43,5691	8,5000	12,0273	0,1764	142,4632	154,8133	0,1208	0,0498	0,2890	0,1818	0,2316	0,0200	0,0063	0,0040	0,0022	0,0106	0,2421	0,1962	0,0822	0	0	0,0822	3,50	0,54	215	3,46	0,55	77	30
5	6	32,7500	16,1498	119,5333	71,4809	48,1884	54,9867	8,6667	15,2167	0,3843	338,1036	473,9187	0,0971	0,0352	0,1930	0,1123	0,1476	0,0404	0,0166	0,0340	0,0134	0,0300	0,1175	0,3162	0,0971	0	0	0,0971	2,90	0,48	1,62	3,84	0,58	159	31



Tabela D.4 - VALORES MEDIOS DOS PARAMETROS MEDIDOS NA PARCELA 4

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36
1	10	28,6700	13,3515	128,9500	76,6705	0,0000	65,2000	11,0600	18,1300	0,3467	470,0534	560,0854	0,1391	0,0431	0,3305	0,3028	0,3459	0,0264	0,0100	0,0142	0,0040	0,0140	0,3589	3,6004	0,2295	0,0000	0,0000	0,2295	3,04	0,50	188	3,46	0,54	100	70
2	10	42,7500	19,6600	161,0900	92,2716	104,0987	79,9000	13,7300	19,9100	0,9737	780,0259	896,0512	0,1004	0,0371	0,3472	0,1875	0,2246	0,0261	0,0117	0,0114	0,0032	0,0149	0,2386	3,3880	0,1592	0,0000	0,0000	0,1592	3,04	0,52	193	3,62	0,56	115	71
3	24	20,9533	10,2917	70,1708	41,4028	28,2304	51,9533	12,0708	17,7708	0,3507	227,5577	317,4805	0,0653	0,0235	0,4294	0,2362	0,2597	0,0308	0,0102	0,0194	0,0070	0,0171	0,2768	4,4800	0,1488	0,0000	0,0000	0,1488	3,90	0,54	198	3,68	0,56	135	71
4	17	39,8235	15,1329	131,2118	76,1028	74,4645	68,0000	11,7529	19,0353	0,5334	381,4021	547,1024	0,0708	0,0347	0,3412	0,2184	0,2531	0,0307	0,0431	0,1733	0,0641	0,1072	0,3603	4,4880	0,1610	0,0000	0,0004	0,1610	3,52	0,54	143	3,80	0,58	132	71
5	17	29,8647	13,4391	114,8647	66,8215	47,0453	72,3329	13,0941	19,8235	0,6780	455,7667	592,6414	0,1062	0,0392	0,1326	0,0782	0,1165	0,0212	0,0091	0,0062	0,0018	0,0069	0,1263	6,4480	0,2916	0,0164	0,0085	0,2916	3,76	0,57	86	3,80	0,58	131	70
6	13	28,9164	15,8432	95,4395	56,3087	45,2410	66,3946	11,9538	18,9000	0,4460	343,5442	460,7255	0,1213	0,0522	0,4460	0,2542	0,3064	0,0257	0,0121	0,0375	0,0150	0,0271	0,3355	6,5200	0,1768	0,0050	0,0026	0,1768	4,00	0,60	28	3,73	0,57	130	70
7	20	20,1650	9,2759	53,0200	32,8724	3,9601	39,4000	10,1400	14,7500	0,1823	138,0402	184,1465	0,1074	0,0462	0,3816	0,2366	0,2828	0,0466	0,0224	0,0298	0,0101	0,0225	0,3624	4,4480	0,1434	0,0025	0,0013	0,1434	3,82	0,58	135	3,79	0,58	126	70
8	11	34,6455	12,1959	146,5182	46,8858	25,6943	77,2727	8,0845	15,7508	0,5906	468,2240	543,0000	0,1122	0,0438	0,3818	0,2405	0,2843	0,1070	0,0535	0,0224	0,0246	0,0781	0,3624	4,4480	0,1434	0,0037	0,0019	0,1434	3,82	0,58	69	3,88	0,58	141	70
9	13	18,6154	8,7492	37,1077	21,8533	0,0000	41,1538	10,6923	14,5000	0,1670	108,2463	142,7372	0,1760	0,0698	0,3890	0,2101	0,2699	0,0422	0,0224	0,0230	0,0689	0,0323	0,3624	4,4440	0,1440	0,0016	0,0008	0,1440	3,82	0,58	60	3,74	0,57	130	70
10	9	39,1889	19,2026	111,9444	62,6989	356,3638	75,0000	12,9444	19,3667	1,0373	654,0573	1292,3726	0,1269	0,0482	0,4419	0,2363	0,3045	0,0224	0,0050	0,0294	0,0097	0,0193	0,4169	3,3660	0,1246	0,0000	0,0000	0,1246	3,46	0,54	92	3,56	0,56	134	70
11	10	17,0400	6,6406	76,9700	24,6304	93,2251	50,0000	7,8600	16,6400	0,3687	236,2461	360,7972	0,3012	0,1054	0,1027	0,2522	0,3977	0,0234	0,0096	0,0210	0,0097	0,0193	0,2404	3,3660	0,1246	0,0000	0,0000	0,1246	3,39	0,53	124	3,52	0,54	119	70
12	14	36,3543	15,6366	138,2500	80,1850	166,1682	75,0000	9,6214	19,0143	0,7413	584,0676	846,0573	0,1189	0,0452	0,2659	0,1569	0,2021	0,0362	0,0284	0,0479	0,0139	0,0392	0,2404	3,3660	0,1246	0,0000	0,0000	0,1246	3,39	0,53	124	3,52	0,54	119	70
13	11	24,7727	10,1568	58,3545	38,3545	6,3987	51,0000	11,1182	18,6545	0,2244	169,4998	218,1513	0,0903	0,0377	0,2544	0,1501	0,1878	0,0009	0,0219	0,0578	0,0173	0,0392	0,2271	2,4440	0,1098	0,0000	0,0000	0,1098	3,68	0,56	94	3,94	0,58	114	71
14	15	71,0933	29,1463	340,7600	201,0484	853,7694	85,9333	13,3133	21,7533	1,9572	1613,4542	2697,3538	0,0751	0,0285	0,3367	0,1919	0,2205	0,0355	0,0167	0,0332	0,0086	0,0293	0,2458	3,3640	0,1565	0,0000	0,0000	0,1565	3,52	0,55	127	3,82	0,58	134	72
15	17	33,8824	12,1976	106,3547	57,4370	80,3711	56,0588	11,2118	19,3682	0,4062	339,2519	489,2576	0,0778	0,0288	0,1946	0,1149	0,1436	0,0309	0,0214	0,0514	0,0123	0,0337	0,1773	4,4440	0,1421	0,0451	0,0235	0,1421	3,23	0,52	159	3,82	0,58	139	70
16	17	23,1412	6,9424	76,2233	42,6892	66,2783	53,2941	10,8294	18,2941	0,3282	268,1385	394,0454	0,0494	0,0163	0,3449	0,1828	0,1991	0,0610	0,0299	0,0394	0,0117	0,0414	0,2404	3,3280	0,1345	0,048	0,0077	0,1345	3,37	0,52	142	3,74	0,57	130	69
17	11	54,9182	19,7705	225,9909	112,9909	197,3022	84,9091	12,2727	21,3273	1,2688	845,0585	1172,6259	0,1137	0,0500	0,3386	0,2402	0,1469	0,0670	0,0342	0,0320	0,0102	0,0444	0,2404	3,3280	0,1345	0,0000	0,0000	0,1345	3,37	0,52	142	3,74	0,57	130	69
18	18	22,1278	9,2937	68,6333	38,4347	12,0470	43,1111	10,8444	17,7333	0,1936	112,9105	172,6259	0,0920	0,0287	0,3386	0,1693	0,1980	0,0374	0,0345	0,0440	0,0145	0,0490	0,2404	3,3280	0,1345	0,0000	0,0000	0,1345	3,50	0,54	118	3,80	0,57	150	69
19	15	21,7533	9,1364	109,3733	60,1553	30,3214	55,6667	11,1933	17,7800	0,3747	237,6595	337,2727	0,1269	0,0403	0,3015	0,2638	0,3061	0,0374	0,0180	0,0183	0,0057	0,0236	0,2297	3,5600	0,2240	0,0000	0,0000	0,2240	3,28	0,52	0	3,66	0,57	109	67
20	15	27,2067	10,1395	85,4657	46,1920	33,6293	52,4000	10,9800	17,3267	0,3405	226,6521	316,7690	0,1265	0,0519	0,3338	0,2003	0,2921	0,0341	0,0121	0,0200	0,0088	0,0209	0,2721	3,1200	0,1310	0,0028	0,0014	0,1310	3,24	0,52	100	3,79	0,58	131	65
21	12	42,6917	17,1967	148,2700	79,1158	148,5704	71,3333	12,7417	20,6633	0,5988	426,3369	671,2217	0,1284	0,0392	0,4321	0,2506	0,2969	0,0341	0,0130	0,0146	0,0066	0,0195	0,3064	3,3720	0,1525	0,0000	0,0000	0,1525	3,20	0,52	199	3,72	0,56	142	65
22	18	44,2944	20,3794	121,3444	67,6529	64,9670	57,0556	13,4111	20,0222	0,3929	284,8265	438,9956	0,0671	0,0282	0,2709	0,1436	0,1718	0,0346	0,0156	0,0236	0,0071	0,0226	0,1944	3,2680	0,1345	0,0000	0,0000	0,1345	3,40	0,54	35	3,33	0,53	79	65
23	13	70,4077	26,0508	224,6615	113,4760	195,1132	81,4615	12,0623	20,8615	1,2259	631,3427	1131,8949	0,2543	0,1088	0,1966	0,1062	0,2130	0,0673	0,0316	0,0632	0,0259	0,0575	0,2705	4,6600	0,1932	0,0000	0,0000	0,1932	3,33	0,53	111	3,48	0,54	99	65
24	11	24,9182	9,9673	80,5091	48,3055	187,6166	66,7273	11,5636	19,3000	0,4646	370,4630	616,3523	0,2360	0,0661	0,3692	0,1946	0,2607	0,0662	0,0171	0,0176	0,0051	0,0222	0,2629	3,3680	0,0773	0,0103	0,0085	0,0628	3,26	0,52	187	3,36	0,54	79	64
25	12	66,6593	22,9528	194,4167	103,0408	64,1945	72,6667	12,1000	20,7917	1,6504	1572,3648	1762,7005	0,1103	0,0386	0,2897	0,1348	0,1734	0,0566	0,0367	0,0942	0,0253	0,0620	0,2354	4,4200	0,1470	0,0000	0,0000	0,1470	3,32	0,52	140	3,46	0,54	100	64





**APÊNDICE E**

**MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS DADOS DAS PARCELAS**











## APÊNDICE F

Tabela F.1 - PARÂMETROS CONSIDERADOS NO ESTUDO

---

Número da Subparcela (X1);

Estrato superior - frequência das árvores (X2); peso verde das folhas (X3); peso seco das folhas (X4); peso verde dos galhos finos (X5); peso seco dos galhos finos (X6); peso seco dos galhos grossos (X7); circunferência do fuste a 1,30cm do solo (X8); altura comercial do fuste (X9), altura total da árvore (X10); volume do fuste (X11); peso seco do fuste (X12); e peso seco total das variáveis de fitomassa do estrato superior (X13);

Estrato intermediário - peso verde das folhas das arvoretas (X14); peso seco das folhas das arvoretas (X15); peso verde do lenho das arvoretas (X16); peso seco do lenho das arvoretas (X17); peso seco total das variáveis de fitomassa das arvoretas (X18); peso verde das folhas de palmeiras (X19); peso seco das folhas de palmeiras (X20); peso verde do "lenho" das palmeiras (X21); peso seco do "lenho" das palmeiras (X22); peso seco total das variáveis de fitomassa das palmeiras (X23); e peso seco total das variáveis de fitomassa do estrato intermediário (X24);

Estrato inferior - peso verde do litter leve (X25); peso seco do litter leve (X26); peso verde do litter pesado (X27); peso seco do litter pesado (X28); e peso seco total das variáveis de fitomassa do estrato inferior (X29);

Parâmetros espectrais - TM R4,3 (X30); TM NDVI4,3 (X31); TM PV3,4,5,R,NDVI (X32); HRV R3,2 (X33); HRV NDVI3,2 (X34); e HRV PV1,2,3,R,NDV (X35);

Parâmetro de altimetria ou cota (X36).

---